

## Nauka w starożytnym świecie śródziemnomorskim

STAROŻYTNE społeczeństwa personifikowały bogów i ubóstwiały naturę. Nie było to irracjonalne, ponieważ zawsze staramy się zrozumieć nieznaną przez analogię do rzeczy, które znamy lepiej. Jakie zjawiska oferowały lepszy model zachowania natury i bogów niż dynamika rodziny ludzkiej? Tak więc w babilońskiej historii stworzenia (drugie tysiąclecie p.n.e.) Marduk staje się głównym bogiem, gdy inni bogowie namawiają go do zabicia jego władczej babki, Tiamat. Rozcina jej ciało na dwie części i ustawia jedną część jako ziemię, a drugą jako niebo. W podobny sposób grecki poeta Hezjod opisał genealogię bogów w swojej Teogonii. Ocean, rzeki, Słońce i Księżyc są przedstawiane niemal jako przemysł: główną historią jest dojście Zeusa do władzy poprzez obalenie jego ojca, Kronosa (Saturna), tak jak Kronos obalił swojego ojca, Uranosa (Niebo). Kluczowymi tematami w obu historiach są rozmnażanie płciowe jako twórcza siła natury i konflikt pokoleń jako siła destrukcyjna, ale także sposób zmiany. Ale Hezjod napisał inny dydaktyczny poemat, Dzieła i dni, który łączy pracę rolnika i żeglarza z rytmem roku. Hezjod wykorzystuje letnie i zimowe przesilenia, równonocę oraz wschody i zachody wybitnych gwiazd, aby poznać porę roku. Na przykład poranny zachód Plejad (kiedy Plejady są widoczne zachodzące na zachodzie tuż przed wschodem Słońca na wschodzie) jest sygnałem późnej jesieni i czasem orki i siewu. Tak więc teocentryczny pogląd na naturę mógłby istnieć tuż obok praktycznej wiedzy naukowej.

### Starożytny Egipt

Egipcjanie wyobrażali sobie niebo jako boginię Nut, która rozciągała się nad Bogiem Ziemi, Gebem. Słońce było niesione każdego dnia od horyzontu do horyzontu w łodzi. Egipcjanie używali zegarów cieniowych do określania czasu za panowania Seta I (ok. 1300 p.n.e.). Dzień był podzielony na dwanaście części, a noc na dwanaście. Przefiltrowane przez późniejszą tradycję grecką, było to źródło naszego dwudziestoczterogodzinnego podziału dnia i nocy. Do określania czasu w nocy i do określania pory roku Egipcjanie używali dekanatów, trzydziestu sześciu grup gwiazd rozmieszczonych wokół sfery niebieskiej. Około raz na dziesięć dni można było zobaczyć nowy dekanat wschodzący na wschodzie tuż przed wschodem słońca. A w ciągu danej nocy godziny można było określić poprzez wschody kolejnych dekanatów. Postacie Nut i dekanatów są czasami znajdowane namalowane na wewnętrznych stronach pokryw trumien. To kolejny sposób, w jaki systematyczna astronomia może zostać połączona z religią i rytuałem. Ważnym tekstem wczesnej nauki egipskiej jest matematyczny papyrus Rhinda (nazwany na cześć XIX-wiecznego szkockiego kolekcjonera). Tekst ten zawiera notatkę podpisaną przez skrybę o imieniu Ahmose, który informuje nas, że napisał go w trzydziestym trzecim roku panowania króla Awserre (XVI wiek p.n.e.), ale że przepisał go z dzieła skomponowanego za panowania króla Nymatre (XIX wiek p.n.e.). Problemy zilustrowane w papiirusie Rhinda obejmują arytmetykę ułamków, podział danej liczby bochenków chleba między dziesięciu mężczyzn zgodnie z ustalonymi zasadami nierównych udziałów oraz rozwiązywanie równań liniowych, takich jak  $x + 1/5(x)x = 21$  (choć Egipcjanie nie używali notacji algebraicznej). Mnożenie jest traktowane przez kolejne podwajanie. Tak więc, aby pomnożyć 17 przez 13, skryba może zapisać następujące liczby:  $13 \cdot 2 = 26$ ,  $26 \times 13 = 338$ ,  $4 \times 13 = 52$ ,  $52 \times 13 = 676$ ,  $16 \times 13 = 208$ , a następnie dodać pierwszą i ostatnią. Inne problemy obejmują obliczanie powierzchni i objętości. Egipska zasada znajdowania pola koła polega na wzięciu kwadratu  $8/9$  średnicy. Ponieważ nasz współczesny wzór można wyrazić jako  $\text{Pole} = \pi d^2/4$ , egipska zasada odpowiada użyciu  $256/81$  dla pi. Daje to pi około 3,16, w porównaniu z naszym 3,14 — przybliżeniem wystarczająco dobrym do każdego celu w drugim tysiącleciu p.n.e. W piśmie hieroglificznym ułamek  $1/2$  miał swój własny symbol specjalny, podobnie jak  $2/3$ . Jednak wszystkie inne ułamki wyrażano, umieszczając mały owal nad znakiem liczby. Współcześni uczeni zazwyczaj oznaczają je kreską górną.

Tak więc, jeśli 5 reprezentuje egipski znak „pięć”, symbol  $\overline{5}$  oznacza „jedną piątą”. Są to ułamki jednostkowe - ułamki z licznikiem 1. (Później owal został zastąpiony kropką.) Oprócz  $2/3$  Egipcjanie

używali wyłącznie ułamków jednostkowych, więc inne ułamki byłyby rozwijane za pomocą tych symboli. Ułamek, który zapisalibyśmy jako  $7/8$ , egipski skryba napisałby jako  $\overline{2\ 4\ 8}$  (tj.  $1/2 + 1/4 + 1/8$ ).

## Matematyka i astronomia babilońska

Matematyka mezopotamska jest dobrze udokumentowana w tekstach z okresu starobabilońskiego (początek drugiego tysiąclecia p.n.e.). Wiele z nich to teksty dydaktyczne i ćwiczenia praktyczne ze szkół skrybów. Kluczową cechą matematyki babilońskiej jest jej system liczbowy, który wykorzystuje notację o podstawie sześćdziesiątej (z pewnymi cechami o podstawie dziesiętkowej). Medium pisma była tabliczka gliniana, która była odciskana lub ryta trzciniowym rylcem. Ten rodzaj pisma nazywany jest pismem klinowym („klinowatym”) ze względu na charakterystyczny kształt odcisków wykonanych w glinie. Liczby od 1 do 9 były reprezentowane przez odpowiadającą im liczbę pionowych klinów:  $\overline{1}$ ,  $\overline{2}$ ,  $\overline{3}$ ,  $\overline{4}$ ,  $\overline{5}$ ,  $\overline{6}$ ,  $\overline{7}$ ,  $\overline{8}$ ,  $\overline{9}$ . Znaki od 10 do 50 były tworzone za pomocą poziomych klinów:  $\overline{10}$ ,  $\overline{20}$ ,  $\overline{30}$ ,  $\overline{40}$ ,  $\overline{50}$ . Tak więc 45 byłoby reprezentowane przez  $\overline{10}\overline{35}$ . W ten sposób można było przedstawić dowolną liczbę między 1 a 59. Babilończycy stosowali również konwencję wartości pozycyjnych, podobną do naszej. Gdy piszemy  $73$ , 3 oznacza trzy jednostki; 7 siedem dziesiątek. Podobnie, dla babilońskiego skryby,  $\overline{1}\overline{24}\overline{45}$  mogło to oznaczać  $24 \times 60 + 45$  (= 1,485). Ale nie było odpowiednika przecinka dziesiętnego, więc ten sam zbiór symboli mógł również oznaczać  $\overline{1}\overline{24}\overline{45}$  ( $= 24 \times 60 + 45 \times 60 = 89,100$ ) - lub nawet  $\overline{1}\overline{24}\overline{45}$  ( $= 24 + 45/60 = 24,75$ ), ponieważ ułamki zapisywano w ten sam sposób. Skryba musiałby zrozumieć z kontekstu, o jaką liczbę chodzi. Współcześni uczeni używają średnika do oddzielania jednostek od części ułamkowej liczby, a przecinki oddzielają kolejne miejsca sześćdziesiątkowe. Tabliczki mnożenia i tabliczki odwrotności liczb (przydatne do dzielenia) są powszechnymi materiałami. Ponadto szkoły lubiły „problemy fabularne”, które mogły być bardziej skomplikowane niż cokolwiek, z czym skryba spotkałby się w prawdziwym życiu. Obejmowały one problemy, które rozwiązywalibyśmy za pomocą algebry, w tym stosowanie wzoru kwadratowego. Mała tabliczka z okresu starobabilońskiego przedstawia kwadrat podzielony przez przekątne, z doskonałym przybliżeniem do  $\sqrt{2}$  zapisanym na nim jako  $\overline{1};24,51,10$  (w notacji dziesiętnej, 1.41421296...). Przybliżenie babilońskie jest poprawne do sześciu cyfr znaczących. Inna tabliczka z okresu starobabilońskiego zawiera tabelę informacji o liczbach całkowitych (nazwijmy je a, b i c) powiązanych przez  $a^2 + b^2 = c^2$ . Zachowana część tabliczki faktycznie wymienia wartości c, b i  $c^2/a^2$ . To pokazuje zrozumienie (choć nie dowód) twierdzenia Pitagorasa dla trójkątów prostokątnych tysiąc lat przed Pitagorasem. Tę interpretację potwierdza babiloński tekst szkolny z zadaniem fabularnym dotyczącym drabiny opartej o ścianę. Około 20 procent opublikowanych tabliczek matematycznych pochodzi z okresu starobabilońskiego. Zarówno dla wcześniejszych, jak i późniejszych okresów zapis jest znacznie bardziej fragmentaryczny. Jednak matematyka babilońska wydaje się być dość statyczna od okresu starobabilońskiego aż do połowy pierwszego tysiąclecia. Kluczowe wydarzenia w okresie perskim (538–324 p.n.e.) i Seleucydów (po podboju Aleksandra) nie dotyczyły matematyki, ale astronomii. Tutaj ustalone metody matematyczne pozwoliły na znaczący postęp w zrozumieniu i przedstawieniu zjawisk astronomicznych. W Mezopotamii astronomia miała znacznie wcześniejszy początek niż w świecie greckim, ponieważ posiadała trzy zalety, których brakowało w Grecji. Po pierwsze, astronomia miała funkcję społeczną, ponieważ wierzono, że bogowie wysyłali ostrzeżenia do króla za pomocą znaków niebieskich. Na przykład, gdy Jowisz dotarł do Plejad, oznaczało to rok, w którym bóg burzy ześle spustoszenie. Pisarze w świątyniach regularnie obserwowali i wysyłali wiadomości do króla, cytując swoje obserwacje i interpretując ich znaczenie. Starożytni Grecy nie byli mniej przesądni niż jakikolwiek inny starożytny naród — wróżyli przyszłość poprzez konsultacje z wyroczniami lub interpretowali lot ptaków — ale nie mieli tradycji wróżenia za pomocą znaków niebieskich. To nastąpiło później, po kontakcie ze wschodnią

mądrością. Po drugie, w Mezopotamii istniała biurokracja — kapłani w świątyniach — której powierzono zajmowanie się astronomią. W naszej kulturze powszechne jest lekceważenie biurokratów. Ale w Babilonii astronomia rozkwitła właśnie dlatego, że istniała biurokracja, której można było powierzyć to zadanie. I wreszcie, w Mezopotamii istniała technologia przechowywania zapisów — gliniana tabliczka, która jest praktycznie niezniszczalna, o ile jest przechowywana w suchości, oraz biblioteki świątynne, w których tabliczki można było przechowywać przez pokolenia i przepisywać, gdy uległy uszkodzeniu. Zapisy skrybów dotyczące wydarzeń niebieskich są dziś nazywane „dziennikami astronomicznymi”. Najstarsze zachowane dzienniki pochodzą z VII wieku p.n.e., ale prawdopodobnie zaczęły się w VIII wieku.

W typowym wpisie do pamiętnika skryba zapisywał dla każdej części nocy interesujące go wydarzenia niebieskie: wschody i zachody Księżyca, wyłonienie się planety z okresu niewidzialności, początek lub koniec ruchu wstecznego itd. Babilońskie obserwacje, dokonywane bez użycia skomplikowanych instrumentów, nie są szczególnie dokładne. Ale posiadanie danych z kilku stuleci jest o wiele ważniejsze niż dokładność. Pierwsze metody przewidywania zachowania planet wykorzystywały powtarzające się cykle. Teraz, w przypadku planet, wydarzenia nie powtarzają się z roku na rok. Wenus podróżuje na wschód wokół zodiaku, ale czasami zatrzymuje się względem gwiazd tła, zmienia kurs na około miesiąc, zatrzymuje się ponownie, a następnie wraca do swojego zwykłego ruchu na wschód. Te ruchy wsteczne nie występują co roku. Ale w ciągu ośmiu lat Wenus przejdzie przez pięć cykli wstecznych, a następnie wzór ten powtórzy się niemalże z dnia na dzień. Inne planety mają inne okresy. Babilończycy odkryli, że Mars okrąży zodiak dwadzieścia pięć razy i wykonuje dwadzieścia dwa retrogradacje w ciągu czterdziestu siedmiu lat. Odkrycie tych cykli umożliwiło opracowanie dokumentu zwanego „tekstem roku docelowego”. Załóżmy, że chcemy przewidzieć wszystkie zjawiska planetarne na rok 2007, który byłby naszym rokiem docelowym. Sprawdzilibyśmy, co Wenus robiła w roku 2007 (osiem lat przed rokiem docelowym), co Mars robił w roku 1968 (czterdzieści siedem lat przed rokiem docelowym) i tak dalej. Pod koniec IV wieku p.n.e. skrybowie opracowali o wiele bardziej wyrafinowaną teorię planetarną. W tych tak zwanych matematycznych teoriach planetarnych przewidywania nie są dokonywane za pomocą prostych powtarzających się wzorców, jak w tekstach roku docelowego. Zamiast tego, wyrafinowane reguły arytmetyczne są stosowane do każdej planety, aby poradzić sobie z jej nierównomiernym ruchem wokół zodiaku. Każde zdarzenie w cyklu planety traktowane jest jako osobny obiekt. Weźmy na przykład „pierwszą stację” — kiedy planeta zatrzymuje się, tuż przed wejściem w ruch wsteczny. Jeśli przyjrzymy się pierwszym stacjom Jowisza, odkryjemy, że nie są one równomiernie rozmieszczone wokół zodiaku. W ten sposób skrybowie stworzyli teorię, w której istnieje szybka strefa i wolna strefa dla Jowisza. W szybkiej strefie pierwsze stacje są równomiernie rozmieszczone,  $36^\circ$  od siebie. A w wolnej strefie pierwsze stacje są rozmieszczone bliżej siebie, w odstępach  $30^\circ$ . Pisarz mógł stworzyć „efemerydę” — listę kolejnych pierwszych stacji Jowisza, podającą zarówno datę kalendarzową, jak i lokalizację zdarzenia w zodiaku, na przestrzeni wielu lat. W bardziej wyrafinowanych wersjach teorii zodiak był podzielony na wiele stref prędkości dla każdej planety. A w jeszcze bardziej wyrafinowanej wersji prędkość była postrzegana jako zmieniająca się w sposób ciągły, w „liniowym zygzakowatym wzorze”, a nie w serii skoków. Duża liczba tabliczek glinianych zachowała efemerydy z ostatnich trzech stuleci p.n.e. Inne tabliczki, zwane „tekstami proceduralnymi”, wyjaśniają zasady obliczeń. Teksty proceduralne są jednak tak zwięzłe, że mało prawdopodobne jest, aby ktokolwiek mógł nauczyć się, jak korzystać z teorii, korzystając wyłącznie z tekstu proceduralnego. Zamiast tego powinniśmy wyobrazić sobie bezpośrednią naukę w szkołach skrybów, przy czym teksty proceduralne służą jako przypomnienia szczegółów. Niektóre tabliczki zawierają kolofony, w których właściciel tabliczki podał swoje imię. Mógł on tytułować się X, kapłanem Bela, synem Y, synem Z. (Bel to inne imię Marduka). W ten sposób możliwe było skonstruowanie drzew genealogicznych niektórych skrybów. Istnieje wiele wersji teorii dotyczących Księżyca i planet,

rociągniętych się na cały okres, dla którego zachowały się tabliczki. Wygląda więc na to, że niektórzy skrybowie nie byli zwykłymi harówkami, ale kreatywnymi eksperymentatorami, którzy być może zajmowali się konstruowaniem nowych teorii tylko dla przyjemności, jaką im to dawało i możliwości intelektualnej zabawy. Różnice w stosunku do greckiej astronomii z mniej więcej tego samego okresu są uderzające. Po pierwsze, teorie babilońskie nie są geometryczne. O ile możemy stwierdzić, nie podejmowano żadnych wysiłków, aby zwizualizować modele mechaniczne lub geometryczne. Zamiast tego reguły prędkości są stosowane arytmetycznie. Po drugie, nie istniało coś takiego jak babiloński Arystoteles — Babilończycy radzili sobie świetnie bez rozbudowanej filozofii natury. I wreszcie, metody babilońskie wprost stawiają czoła nierównomierności ruchu. W greckich wersjach teorii planet nierównomierność ruchu była zwykle maskowana potrzebą oddania hołdu doktrynie równomierności.

### **Grecka filozofia przyrody**

W VI wieku p.n.e. w części greckiego świata zaczęło się coś nowego — w cienkiej linii osad wzdłuż zachodniego wybrzeża Azji Mniejszej. Tradycyjnie uważa się, że Tales z Miletu (ok. 580 p.n.e.) wynalazł filozofię, wraz z geometrią i astronomią. Oczywiście, odzwierciedla to jedynie zamiłowanie późniejszych greckich pisarzy do przypisywania każdego odkrycia jednemu konkretnemu mędrcom. Niemniej jednak ważna tradycja filozoficzna rozpoczęła się wraz z nim i jego następcami, Anaksymandrem i Anaksymenesem, w Milecie. W V wieku Ateny stały się najważniejszym miejscem do uprawiania filozofii, a także do nauczania i uczenia się o niej. Kluczową cechą ruchu filozoficznego było pragnienie usunięcia bogów ze środka rzeczy — zmiany reguł wyjaśniania. Ksenofanes z Kolofonu skarżył się, że starzy poeci (Homer i Hezjod) przypisywali bogom rzeczy haniebne, takie jak kłamstwo, kradzież i cudzołóstwo, i wyśmiewał swoich współczesnych za wiarę, że bogowie mają ciała i noszą ubrania takie jak oni sami. Słynnie zauważył, że bogowie Etiopów mają płaskie nosy i ciemną skórę, podczas gdy bogowie Traków mają rude włosy i niebieskie oczy. A gdyby było i konie miały ręce i potrafiły rysować, konie wyobrażałyby sobie bogów, którzy wyglądają jak konie, a było jak było. Filozofowie szukali wskazówek dotyczących pochodzenia świata w obserwowalnych zjawiskach naturalnych — takich jak wysychanie wody przez Słońce, opadanie ciężkich ciał lub tendencja gliny do wyrzucania na zewnątrz z wirującego koła — a nie w kapryśkach bogów. I wyciągali śmiało wnioski ze wskazówek, które oferuje natura. Na przykład Anaksymander twierdził, że istoty ludzkie nie zawsze były tym, czym są teraz, i musiały narodzić się z innego rodzaju istot. Jego argument jest prosty: ludzkie niemowlęta mają zbyt długi okres zależności, aby przetrwać. Filozofia tego okresu charakteryzuje się otwartością na myślenie spekulatywne, połączoną z naciskiem na ścisłe rozumowanie i argumenty oparte na dowodach. Przejawia się również konkurencyjna natura greckiego społeczeństwa. Pewien filozof wymieni swoich poprzedników z imienia, polemizuje z nimi i argumentuje za własnym stanowiskiem. Kluczowa debata toczyła się wokół konkurujących twierdzeń o trwałości i zmianie. Heraklit z Efezu (ok. 500 p.n.e.) zajął jedno biegunowe stanowisko, podkreślając płynność: wszystko płynie, nic nie jest stałe. Jak słynnie zauważył, nie można wejść dwa razy do tej samej rzeki. Heraklit wierzył, że świat (mając na myśli wszechświat) narodził się z ognia i spłaca swój dług ogniowi — całe światy przychodzą i odchodzą, gdy jeden świat następuje po drugim. Przeciwnie stanowisko zajął Parmenides z Elei (ok. 470 p.n.e.), który podkreślał podstawową trwałość rzeczy. Dla niego zmiana jest jedynie iluzją. Niemożliwe jest, aby cokolwiek powstało z niebytu, ani aby cokolwiek, co istnieje, przeszło w niebyt. Homer i Hezjod śpiewali o rzeczach, które były, rzeczach, które są i rzeczach, które będą. Ale dla Parmenidesa zasadniczą rzeczywistością jest trwałość świata: i oto wszystko, co można powiedzieć: jest. Doprowadzony do ostateczności, pogląd ten podważa możliwość jakiegokolwiek autentycznej zmiany w świecie. Znaczną część późniejszej filozofii greckiej można rozumieć jako próbę znalezienia kompromisu między stanowiskami Heraklita i Parmenidesa. Inny kluczowy argument toczył się między monistami, którzy opowiadali się za jedną podstawową zasadą (aby wyjaśnić trwałość i jedność natury), a pluralistami (którzy potrzebowali wielu elementów, aby wyjaśnić zmianę). Tales jest

dobrym przykładem monisty, ponieważ twierdził, że wszystko jest wodą. Jeśli ktoś miałby twierdzić, że jeden element jest fundamentalny, woda ma sens, ponieważ każda żywa istota jej potrzebuje. Jednak późniejsi przeciwnicy bronili ognia, jak Heraklit, lub powietrza, jak Anaksymenes. Anaksymenes miał kilka dobrych argumentów: twierdził, że nasze dusze są zrobione z powietrza. A to z kolei wyjaśniałoby, w jaki sposób jedna istota ludzka może emocjonalnie i intelektualnie wpływać na inną. Jedna osoba mówi, głos zakłóca powietrze, które z kolei może zakłócać duszę innej istoty ludzkiej. „Tak jak nasze dusze, będąc powietrzem, trzymają nas razem, tak oddech i powietrze obejmują świat”. Anaksymenes uważał, że Ziemia powstała w procesie podobnym do filcowania, w którym powietrze zostało ściśnięte. Co więcej, Ziemia pozostaje w centrum rzeczy, ponieważ spoczywa na powietrzu, jak płaska pokrywa, która nie przecina powietrza pod nią. W czasach Empedoklesa (V wiek p.n.e.) osiągnięto kompromisowe stanowisko. Empedokles opowiedział się za czterema żywiołami: ziemią, powietrzem, wodą i ogniem. Dało to dobre rozwiązanie problemu zmiany, ponieważ podstawowe żywioły zapewniają ochronienie trwałości, ale połączenia i rozpady żywiołów mogą odpowiadać za zmianę. Do tych czterech materialnych zasad Empedokles dodaje dwie niematerialne: miłość i niezgodę, lub jak moglibyśmy powiedzieć, siły przyciągania i odpychania. (Miłość i niezgoda nie trwały długo, ale cztery elementy Empedoklesa stały się szeroko, choć nie powszechnie, akceptowane.) Empedokles próbował więc również pójść na kompromis w drugiej debacie, na temat zasad materialnych i niematerialnych. Podstawowymi zasadami Talesa i Heraklita (woda lub ogień) były elementy materialne. Wprowadzenie przez Empedoklesa niematerialnych zasad miłości i niezgody wraz z elementami materialnymi dało elastyczny system o dużej mocy wyjaśniającej. Jednak inni filozofowie zaproponowali alternatywne zasady niematerialne. Anaksagoras twierdził, że umysł jest źródłem porządku we wszechświecie. Świat początkowo był nieuformowany, a następnie rozpoczął się obrót narzucony przez umysł, który spowodował rozdzielanie ciężkich i lekkich. Jeszcze inną niematerialną zasadę propagowali pitagorejczycy, którzy twierdzili, że liczba jest podstawową zasadą świata. Wszystkie liczby były generowane przez monadę — jednostkę. Liczbowi przypisano cechy, na przykład parzyste i nieparzyste. Liczby kwadratowe to takie, które można przedstawić jako tablice kamyków w kwadratowym wzorze: ich sekwencja to 1, 4, 16, 25. . . . Liczby trójkątne to takie, dla których kamyki można ułożyć w trójkąt prostokątny i tworzą one sekwencję: 1, 3, 6, 10, 15. . . . I wtedy można było udowodnić twierdzenia, na przykład, że każda liczba kwadratowa jest równa sumie dwóch kolejnych liczb trójkątnych ( $16 = 6 + 10$ ). Liczby nieparzyste były męskie, a parzyste żeńskie. Tak więc sam świat mógł powstać z czystej liczby. Pitagorejczycy podkreślali również cztery kluczowe nauki matematyczne: arytmetykę, geometrię, teorię muzyki i astronomię. Arytmetyka oznacza tutaj nie elementarne obliczenia (które Grecy nazywali „logistyką”), ale raczej badanie właściwości liczb. Filozofia Platona (ok. 429–347 p.n.e.) była silnie inspirowana przez pitagorejczyków. Platon — był to przydomek, ponieważ jego prawdziwe imię brzmiało Arystokles — znalazł własny kompromis między Heraklitem a Parmenidesem. Dla Platona ostateczna rzeczywistość leży w sferze form niematerialnych. Jeśli na przykład widzimy stół, możemy go rozpoznać jako taki, ponieważ uczestniczy w wiecznej formie stołu. Stanowisko Platona zyskuje na wiarygodności, gdy rozważamy obiekty matematyczne. Weźmy przypadek koła. Żadne koło narysowane na papierze nigdy nie jest naprawdę kołem. Tak więc stosunek obwodu do średnicy (liczba, którą nazywamy pi) nie może być określony przez pomiar rzeczywistych okręgów. Ale ta liczba wydaje się istnieć niezależnie od ludzi. Inna cywilizacja, w jakiejś innej galaktyce, musiałaby znaleźć tę samą wartość dla pi, co my. Czy obiekty matematyczne, takie jak trójkąty prostokątne i liczba pi, istnieją niezależnie od nas? Może wydawać się głupie, aby tak powszechny obiekt, jak łóżko lub stół, był reprezentowany przez wieczną formę. W Państwie Platon rzeczywiście używa przykładu łóżka. Ale mógł zmienić zdanie, ponieważ w Parmenidesie jest pewien, że niegodne przedmioty, takie jak włosy, błoto i brud, nie mają form. Wierzy, ale nie jest do końca pewien, czy istnieje forma człowieka, ognia lub wody. Ale dla dobra i piękna, a także dla takich zjawisk matematycznych jak jedność, mnogość i podobieństwo, jest on pewien, że formy te muszą istnieć. W

Państwie Platon przedstawia alegorię jaskini. Ludzie są przykuci łańcuchami w ciemnej jaskini, a ich głowy są zwrócone w stronę wewnętrznej ściany. Za nimi płonie ogień, a posągi ludzi i zwierząt są noszone tam i z powrotem przed ogniem. Więźniowie w jaskini widzą tylko cienie tych posągów i biorą je za prawdziwe rzeczy. Gdyby więzień był w stanie zerwać łańcuchy i wyjść na światło słoneczne, a następnie wrócić do jaskini, jego współwięźniowie ledwo by uwierzyli, gdy powiedziałby im, że wszystko, co wzięli za rzeczywiste, było jedynie cieniem rzeczywistości. Wręcz przeciwnie, zabiliby go. (To było nawiązanie do losu mentora Platona, Sokratesa, skazanego na śmierć przez Ateńczyków w 399 r. p.n.e.) Dla Platona celem filozofii jest przybliżenie nam zrozumienia wiecznych form — nawiązanie kontaktu z wiecznie prawdziwym, a nie zmiennym i jedynie pozornym. W Państwie Platon przedstawia wykształcenie niezbędne dla „strażników” — filozofów-władców jego idealnego państwa. Arytmetyka, geometria, astronomia i teoria muzyki (stara pitagorejska czwórka) są przepisane, ponieważ rozwijają nasze umysły i dusze, zmuszając nas do rozmyślania nad rzeczami, które są i nie mają udziału w stawaniu się. Ale te nauki matematyczne nie są tak ważne same w sobie; raczej przygotowują nas do uprawiania wyższej filozofii — badania dobra i sprawiedliwości itd. Wpływ Platona na rozwój greckiej nauki był znaczący na dobre i na złe. Z jednej strony podkreślał znaczenie matematyki, która była kluczowa dla takich nauk jak astronomia i harmonia. I podkreślał rozróżnienie między pozorem a rzeczywistością — zatem nauka może potrzebować szukać rzeczywistości poniżej widocznych powierzchni rzeczy. Z drugiej strony Platon deprecjonował wartość obserwacji, ponieważ opiera się ona na naszych wadliwych zmysłach. Nalegał, aby astronomię uprawiać nie poprzez patrzeć w niebo, ale rozwiązywanie problemów, jak w geometrii. Nie powinno dziwić, że najważniejsi greccy astronomowie szukali swoich filozoficznych podstaw nie u Platona, ale u Arystotelesa, który był o wiele bardziej przychylny obserwacji. Arystoteles, podobnie jak jego nauczyciel Platon, zaakceptował cztery ziemskie elementy Empedoklesa. Elementy te same w sobie są zakorzenione w cechach, czterech w liczbie: gorący, zimny, mokry, suchy. Na przykład woda jest zimna i mokra, podczas gdy ogień jest gorący i suchy. Oczywiście, element prawie nigdy nie byłby widziany w stanie czystym. Możemy sobie wyobrazić wodę, którą widzimy, jako składającą się głównie z wody elementarnej. Dodanie do niej ognia może przekształcić ją w parę. Ponadto greccy filozofowie czasami rozróżniali zasadę i element. Tales uważał wodę za pierwotną i niegenerowaną, więc dla niego była to podstawowa zasada. Podobnie Empedokles uważał swoje cztery elementy za wieczne i nazywał je „korzeniami”. Ale Arystoteles uważał, że elementy mogą się wzajemnie przekształcać, więc dla Arystotelesa są one jedynie elementami, a nie pierwszymi zasadami. Teoria elementów Arystotelesa ściśle wiąże się z teorią ruchów naturalnych. Ruch naturalny obiektu to ruch, który obiekt ten wykonałby, gdyby pozostawiono go samemu sobie. Tak więc ciężkie rzeczy, wykonane głównie z pierwiastka ziemi, spadają promieniowo w dół w kierunku środka wszechświata. Ale ogień porusza się promieniowo w górę, jak każdy może zobaczyć. Ale wtedy staje się jasne, że rzeczy niebieskie — Słońce, Księżyc, gwiazdy i planety — nie mogą być zrobione z czterech ziemskich elementów. Na początek, niebiosy pozostają niezmiennie od pokoleń. Co więcej, niebiosy poruszają się nie promieniowo, ale kołowo: każdego dnia gwiazdy wschodzą na wschodzie, przecinają niebo i zachodzą na zachodzie. Arystoteles zatem wywnioskował istnienie piątego elementu zwanego eterem, który stanowi wszystkie rzeczy niebieskie. Podstawową właściwością eteru jest absolutna niezmiennność, a jego naturalny ruch jest kołowy. Zatem dla Arystotelesa kompromis między stanowiskami Heraklita i Parmenidesa jest geograficzny: królestwo Heraklita znajduje się tutaj, na dole, gdzie cztery żywioły podlegają nieustannym zmianom. Ale świat górny, od Księżyca aż do sfery gwiazd stałych, jest królestwem parmenidejskiej niezmienności. Arystoteles oferuje również teorię przyczynowości opartą na czterech różnych rodzajach przyczyn. Rozważmy konstrukcję stołu. Przyczyną materialną stołu jest materiał, z którego jest zrobiony, być może drewno. Przyczyną formalną jest „stołowość” — posiadanie poziomej powierzchni na wygodnej wysokości nad podłogą. Przyczyna formalna Arystotelesa wyraźnie wiele zawdzięcza formom Platona. Przyczyną sprawczą jest czynnik, który powoduje zmianę, być może

rzemieślnik, który buduje stół. Ale dla Arystotelesa najważniejsza jest przyczyna ostateczna, czyli cel, dla którego nastąpiła zmiana — być może życzenie klienta, aby zamówić wykonanie stołu. W takim przypadku łatwo jest zidentyfikować wszystkie cztery przyczyny. Ale w przypadku ruchów naturalnych (np. spadania cząstek) niektóre z czterech przyczyn mogą się połączyć w jedną. W przypadku swobodnie spadającego ciała nie ma ani przyczyny sprawczej, ani formalnej. Możemy zidentyfikować przyczynę materialną w elementarnej ziemi i, oczywiście, przyczynę celową, ponieważ ziemia dąży do realizacji swojego potencjału, aby znaleźć się w centrum kosmosu. Nacisk Arystotelesa na znaczenie przyczyn celowych — to znaczy celu — w naturze jest antropomorficznym aspektem jego filozofii. Czasami ten sposób wyjaśniania nazywa się „teleologicznym” (od greckiego telos, cel lub przeznaczenie). Chociaż kaprysy bogów zostały usunięte jako czynniki sprawcze, sama natura ma cel. Dzisiaj, gdy w codziennym życiu ludzie mówią o przyczynie jakiegoś zdarzenia, mogą mieć na myśli dwie rzeczy. Gdy pytamy, dlaczego przyjaciel musiał zginąć w wypadku drogowym, możemy pytać, jaka awaria mechaniczna uniemożliwiła działanie hamulców samochodu lub możemy pytać, jaki cel miała ta tragiczna śmierć. Na początku nauki nie było sposobu, aby z góry wiedzieć, jaki rodzaj pytania ma większe szanse na uzyskanie produktywnych odpowiedzi. Wyrzeczenie się przyczyn celowych w nauce (na rzecz przyczyn sprawczych) nastąpiło dopiero w XVII wieku. Łatwo byłoby jednak przecenić znaczenie teorii przyczynowości Arystotelesa. Starożytni inżynierowie byli doskonale przyzwyczajeni do myślenia o przyczynach sprawczych podczas konstruowania maszyn, takich jak katapulty. A nawet wśród filozofów nie wszyscy akceptowali wyjaśnienia teleologiczne. Znaczącym przykładem są atomiści, Leukippos, Demokryt i Epikur. Dla nich ostateczną rzeczywistością są atomy pędzące w nieskończonej pustej przestrzeni, pogląd, który nie pozostawia miejsca na cel. Filozofia atomowa, uważana przez jej krytyków za dość przerażającą, była postrzegana przez Epikura jako coś, co może uwolnić nas od strachu przed bogami i śmiercią. Kiedy uświadomimy sobie, że w chwili śmierci nasze atomy (w tym atomy naszej duszy, która również jest materialna) po prostu wracają do kosmosu, zrozumiemy, że śmierć nie ma z nami nic wspólnego. Lukrecjusz, rzymski poeta, który spopularyzował epikureizm w swoim *De rerum natura* (O naturze rzeczy), przedstawił wiele przekonujących argumentów za istnieniem niewidzialnie małych ciał. Kiedy otwieramy fiolkę perfum, po pewnym czasie zapach można wyczuć w całym pokoju. Wskazuje on również na stopniowe kurczenie się prawych dłoni posągów, gdy przechodnie chwytają je na szczęście przez okres lat. Lukrecjusz zaatakował teleologiczne wyjaśnienie, argumentując, że części naszych ciał istniały zanim istniał dla nich jakiś cel. Język istniał zanim powstał język, więc filozofowie myślą się, twierdząc, że język powstał, abyśmy mogli mówić. Dla atomistów nie ma celów ani ostatecznych przyczyn w naturze .

### **Matematyka grecka**

Greccy matematycy dowodzili twierdzeń w VI i V wieku p.n.e., ale nie zachowały się żadne kompletne prace matematyczne z tak wczesnego okresu. Mamy natomiast wzmianki późniejszych greckich matematyków o osiągnięciach najwcześniejszych geometrów. Sytuacja geopolityczna zmieniła się ogromnie w IV wieku p.n.e., kiedy podboje Aleksandra Wielkiego położyły kres epoce greckiego miasta-państwa i oddały ogromny obszar świata pod kontrolę Macedonii. Imperium Aleksandra przetrwało zaledwie osiem lat, ponieważ zmarł na gorączkę w Babilonie w 323 roku p.n.e. Jego generałowie zaczęli się kłócić o części, a gdy kurz opadł, zainstalowało się kilka greckojęzycznych dynastii macedońskich. Jedno ważne imperium zostało założone w Egipcie przez Ptolemeusza I Sotera. Tak więc greckojęzyczna dynastia macedońska rządziła Egiptem od końca IV wieku do połowy I wieku p.n.e., kiedy Egipt został przyłączony do Cesarstwa Rzymskiego. Aleksander był wielkim założycielem miast — dziesiątek z nich w całym jego imperium, a wszystkie nazywały się Aleksandria. Większość z tych miast nigdy nie osiągnęła wielkiego sukcesu, ale Aleksandria w Egipcie, przy zachodnim ujściu Nilu, stała się jednym z najważniejszych miast we wschodniej części Morza Śródziemnego. Pierwsi królowie dynastii, Ptolemeusz I Soter i jego syn, Ptolemeusz II Filadelfos, byli patronami sztuki i nauki. Założyli i

utrzymywali instytucję zwaną Muzeum — ponieważ była poświęcona Muzom — oraz bibliotekę. Stypendyści Muzeum mieszkali i pracowali na koszt państwa. Wielu późniejszych greckich naukowców miało jakiś związek z Aleksandrią. Niektórzy mieszkali i pracowali tam, niektórzy odwiedzali, niektórzy korespondowali z kolegami, którzy mieszkali w Aleksandrii. Drugie duże greckojęzyczne królestwo zostało założone przez Seleukosa I Nikatora, obejmujące większą część starego imperium perskiego, od Syrii do granic Indii. Królestwo to obejmowało Mezopotamię, więc nie dziwi fakt, że okres najbardziej intensywnego kontaktu między nauką babilońską a grecką przypada na okres Seleucydów. W Aleksandrii, około 300 r. p.n.e., Euklides stworzył swoje Elementy geometrii. Praca ta odniosła tak wielki sukces, że w dużej mierze zniszczyła poprzedników, ponieważ matematycy przestali kopiować starsze prace. Z tego powodu trudno jest szczegółowo odtworzyć historię greckiej matematyki przed Euklidesem. Mamy jednak kilka kuszących uwag późniejszych komentatorów. Na przykład w V wieku n.e. Proklos napisał Komentarz do Pierwszej Księgi Elementów Euklidesa, który zawiera informacje o poprzednikach Euklidesa. Chociaż „elementy” istniały już przed Euklidesem, jego praca stała się kanoniczna. Książka wyróżnia się logiczną strukturą, która odcisnęła trwałe piętno na formie pisma matematycznego. Definicje i postulaty są podawane, a następnie twierdzenia są dowodzone po kolei, przy czym późniejsze twierdzenia zależą od tych, które zostały już udowodnione. Być może najbardziej kreatywnym ze wszystkich starożytnych matematyków był Archimedes z Syrakuz (ok. 287–212 p.n.e.). Archimedes odbył podróż do Aleksandrii, gdzie spotkał innych geometrów. Jednak niemal całe życie spędził w względnej izolacji Syrakuz. Wiele z jego traktatów geometrycznych ma formę listów otwartych, adresowanych do Conana, Dositheusa lub Eratostenesa w Aleksandrii. Podczas gdy wcześniejsi matematycy — babilońscy, egipscy i greccy — stosowali wygodne przybliżone wartości stosunku obwodu do średnicy koła ( $\pi$ ), Archimedes pokazał, jak można ująć go w górną i dolną granicę. Aby to zrobić, opisał wielokąt o dziewięćdziesięciu sześciu bokach wokół koła i wpisał inny wielokąt o dziewięćdziesięciu sześciu bokach wewnątrz koła. Następnie proste (choć długie) rozumowanie geometryczne doprowadziło do wniosku, że  $\pi$  jest mniejsze niż  $3 \frac{1}{7}$ , ale większe niż  $3 \frac{10}{71}$ . Najbardziej niezwykłym aspektem matematyki Archimedesesa było obliczenie przez niego pól pod konkretnymi krzywymi matematycznymi, takimi jak parabola. W tej jednej gałęzi matematyki nie posunęła się poza Archimedesesa aż do XVII wieku.

### **Geometryzacja Kosmosu**

Najstarsze znane opisy nieba, uznawanego za sferę niebieską, to Zjawiska i Lustro Eudoksosa z Knidos. „Zjawiska” (lub raczej „Phainomena”) to imiesłów czasownika „pojawiać się” i zwykle odnosi się do niebiańskich wyglądów. Druga księga została nazwana Lustrem, ponieważ miała na celu przedstawienie obrazu kosmosu w słowach. Eudoksos opisał położenie konstelacji na sferze i omówił ważne okręgi niebieskie: równik niebieski, zwrotnik Raka, zwrotnik Koziorożca, ekliptykę itd. Ani Zjawiska Eudoksosa, ani jego Lustro nie przetrwały, ale około 230 r. p.n.e. zainspirowały poetę, Aratosa z Soli, do stworzenia Zjawisk w formie wiersza. W naszych czasach byłoby nudno uczyć się chemii organicznej, powiedzmy, z długiego poematu dydaktycznego. Ale w starożytności, kiedy poezja była centralną częścią edukacji, poemat byłby o wiele szerzej czytany i częściej kopiowany niż suche dzieło naukowe w prozie. Łacińskie tłumaczenia Aratosa przez Cyclerona, Germanika Cezara i Awienusa sprawiły, że grecka sfera stała się znana w Rzymie. Zjawiska Aratosa wywarły silny wpływ na artystyczne przedstawienia sfery i jej konstelacji. Z czasów starożytnych przetrwały trzy nienaruszone globusy niebieskie, z których największy i najbardziej znany to globus Farnese, marmurowa kula o średnicy około 65 cm, podtrzymywana przez posąg Atlasa. Jego sposób przedstawienia konstelacji jest zgodny z Aratosem. Na przykład na globusie Farnese konstelacja, którą nazywamy Herkulesem, jest pokazana po prostu jako Engonasin (kłęczący mężczyzna), ponieważ identyfikacja z bohaterem nastąpiła wkrótce po czasach Aratosa. Najstarszym greckim tekstem, który twierdzi, że Ziemia jest kulą i oferuje przekonujące dowody, jest O niebie Arystotelesa. Arystoteles uważa argumenty fizyczne lub



filozoficzne za najsilniejsze. Dlatego najpierw wywnioskował kulistość i centralność Ziemi ze swojej teorii ruchów naturalnych. Naturalnym miejscem dla elementarnej ziemi jest środek kosmosu. Poszukiwanie środka przez poszczególne cząsteczki ziemi powoduje zatem zaokrąglony kształt. Co więcej, gdyby Ziemia mogła zostać w jakiś sposób usunięta ze środka kosmosu, wróciłaby do środka. Ale Arystoteles nie gardzi dodawaniem dowodów z obserwacji. Wskazuje, że podczas zaćmienia Księżyca cień Ziemi jest widoczny na Księżycu, a krawędź cienia zawsze ma kształt kołowy. Ponadto Ziemia nie może być bardzo duża, ponieważ jeśli podróżuje się na południe, zaczynają być widoczne nowe gwiazdy. Arystoteles kończy, mówiąc, że niektórzy matematycy zmierzili obwód Ziemi i uzyskali 400 000 stadiów. Stadion była jednostką odległości używaną w greckim geodezji i geografii. Stadion o różnych długościach były używane w różnych czasach i miejscach (stadion zawsze miał 600 stóp, ale rozmiar stopy mógł się różnić). Możemy być jednak pewni, że Arystoteles miał na myśli attycki stadion o długości około 185 m. Z tego wynika, że liczba Arystotelesowa odpowiada obwodowi Ziemi wynoszącemu około 74 000 km, co jest nieco za dużo (współczesna wartość wynosi około 40 000 km), ale jest właściwego rzędu wielkości. Arystoteles nie mówi, kim byli ci matematycy ani jak dokonali swojego pomiaru. Najstarszy pomiar obwodu Ziemi, dla którego posiadamy jakiegokolwiek szczegóły, pochodzi z następnego stulecia i został wykonany przez Eratostenesa w Aleksandrii. Eratostenes rozpoczął od wiedzy, że w Syene (współczesny Asuan, nad górnym Nilem) w dniu letniego przesilenia, Słońce stoi prosto nad głową w południe i nie ma cienia. (Syene leży więc na zwrotniku Raka.) Ale w Aleksandrii, tego samego dnia, Słońce w południe znajduje się poniżej pionu o jedną pięćdziesiątą okręgu. (Jedna pięćdziesiątą okręgu to  $7,2^\circ$ , ale Eratostenes pisał w III wieku p.n.e., zanim Grecy przyjęli stopień babiloński). Jeśli przyjmujemy, że Słońce jest tak daleko, że wszystkie promienie padające na Ziemię można traktować jako równoległe, to prosty argument geometryczny prowadzi do wniosku, że obwód Ziemi wynosi  $50 \times 5000 = 250\,000$  stadiów. Geometria jest w pełni dobra, ale okrągłe liczby pokazują, że było to bardziej oszacowanie niż rzeczywisty pomiar. Również z III wieku p.n.e. mamy niezwykle traktat Arystarcha z Samos, O rozmiarach i odległościach Słońca i Księżyca. Arystarch podaje swoje przesłanki, w tym fakt, że cień Ziemi wydaje się być dwa razy większy od średnicy Księżyca. Jedną z bardziej wątpliwych przesłanek jest to, że kąt między Słońcem a Księżycem w czasie kwadry Księżyca wynosi  $87^\circ$  (jak twierdzi Arystarch, w czasie kwadry Księżyca kąt między Słońcem a Księżycem jest mniejszy od kąta prostego o trzydziestą część kąta prostego). Na podstawie siedmiu przesłanek Arystarch udowadnia szereg twierdzeń. Odkrywa na przykład, że odległość Słońca wynosi od osiemnastu do dwudziestu razy odległość Księżyca. Dla współczesnego czytelnika Arystarch może wydawać się, że nakłada granice niepewności na swoje wyniki, aby odzwierciedlić niepewności w jego oryginalnych danych. Nic nie może być dalsze od prawdy. Arystarch miał tę wadę, że pracował przed rozwojem trygonometrii. Tak więc musiał udowodnić, za pomocą jednego dowodu, używając metod Euklidesa, że Słońce jest co najmniej osiemnaście razy dalej od nas niż Księżyc i, za pomocą drugiego dowodu, że Słońce nie jest więcej niż dwadzieścia razy dalej niż Księżyc. Metody Arystarcha zostały udoskonalone przez Hipparcha w II wieku p.n.e. i Ptolemeusza w II wieku n.e. Żadna metoda dostępna starożytnym astronomom nie była w stanie dać dokładnej wartości odległości Słońca - jest ono tak daleko, że kąt  $87^\circ$  przyjęty przez Arystarcha powinien w rzeczywistości wynosić  $87^\circ 51'$ . Jednak w czasach Hipparcha greccy astronomowie mieli całkiem zadowalające pojęcie o odległości i rozmiarze Księżyca.

### **Astronomia planetarna**

Republika Platona kończy się kosmiczną wizją. Bohater imieniem Er ginie w bitwie. Jego ciało leży na polu przez dziesięć dni, ale nie ulega rozkładowi. Kiedy Er powraca do życia, opowiada swoim towarzyszom, co widział, gdy był poza tym światem. Tutaj Platon nawiązuje do znanego widoku kobiety przędzącej przędzę, ponieważ Er zobaczył wrzeciono Konieczności (Anangke, uosobione jako kobieta). Wrzeciono i przędza reprezentują oś wszechświata, podczas gdy wrzeciono (przędzący ciężarek, do

którego przymocowana jest nowo uformowana przędza) reprezentuje sam kosmos. Jednak wrzeciono, które zobaczył Er, nie jest takie jak zwykle wrzeciono. Raczej składa się z ośmiu wrzecion zagnieżdżonych jeden w drugim. Platon mówi, że są jak zagnieżdżone pudełka, jakie można znaleźć (ale możemy pomyśleć o rosyjskich lalkach). Najbardziej zewnętrzne wrzeciono to sfera gwiazd stałych. Wewnątrz zagnieżdżone są wrzeciona pięciu planet oraz Słońca i Księżycy. Tak więc każde ciało niebieskie jest noszone na własnej sferycznej powłoce. Zewnętrzny wir obraca się na zachód (reprezentując codzienny obrót kosmosu), ale wewnętrzne obracają się w nim, na wschód, każde w swoim własnym charakterystycznym czasie (reprezentując ruchy planet wokół zodiaku). Na każdym wirze jedzie Syrena, która śpiewa jedną czystą nutę. Jest to ukłon Platona w stronę pitagorejskiej doktryny harmonii niebieskiej. A wokół całej sprawy krążą trzy córki Konieczności, Mojry, o których wspominał Hezjod w Teogonii. Kloto, prawą ręką, pomaga obracać najbardziej zewnętrzny wir. Atropos, lewą ręką, pomaga obracać wewnętrzne sfery. A Lacheisis, naprzemiennie jedną ręką, dotyka jednej, a potem drugiej. Wydaje się, że jest to odniesienie do trzech ruchów planety — dziennego ruchu na zachód, ruchu na wschód wokół zodiaku i oscylacji odpowiedzialnej za okazjonalny ruch wsteczny. Jest to pierwsze pojawienie się w literaturze „kosmicznej cebuli” — poglądu na wszechświat jako zbiór koncentrycznych sferycznych powłok. Platon stoi tutaj w połowie drogi między nauką a mitem. Z jednej strony geometryzuje kosmos, postulując prosty model wyjaśniający złożone ruchy planet, ale z drugiej strony udrapował swój wizerunek w tradycyjnej mitologii. Niemniej jednak geometrzy traktowali ten model poważnie. Eudoksos z Knidos napisał książkę O prędkościach, w której rozważał planetę, która porusza się na najbardziej wewnętrznej z czterech zagnieżdżonych sfer. Oznacza to, że każda z powłok planetarnych w relacji Platona składa się teraz z czterech zagnieżdżonych sfer. Najbardziej zewnętrzna sfera każdej planety odpowiada za dzienną rotację. Następna sfera odpowiada za ruch na wschód wokół zodiaku. A dwie najbardziej wewnętrzne sfery razem tworzą ruch ósemkowy, tam i z powrotem, który odpowiada za ruch wsteczny. Tak więc w Eudoksosie, Mojry zostały usunięte i zastąpione obracającymi się sferami. Platon i Eudoksos nakładali się w Atenach, więc nie mamy sposobu, aby dowiedzieć się, czy geometra zainspirował filozofa, czy filozof poetyzował modele geometra. Praca Eudoksosa nie przetrwała, ale mamy jej krótką relację w Metafizyce Arystotelesa i była nadal znana Symplicjuszowi w VI wieku n.e. Zagnieżdżone sfery Eudoksosa zostały wkrótce porzucone w teorii planetarnej (choć dominowały w myśli kosmologicznej aż do renesansu). Starożytni krytycy wskazali, że w tym systemie, chociaż planeta jest zawieszona na wielu sferach, ponieważ każda sfera jest koncentryczna z Ziemią, odległość planety od Ziemi nigdy się nie zmienia. Utrudniało to zrozumienie, w jaki sposób niektóre planety zmieniają jasność w trakcie swoich cykli. Mars na przykład jest znacznie jaśniejszy w środku swojego ruchu wstecznego. Około 200 r. p.n.e. Apolloniusz z Perge omawiał teorię picykli i okręgów deferentnych. Nowy pomysł polega na tym, że każda planeta porusza się po okręgu zwanym epicyklem, podczas gdy środek epicyklu porusza się wokół Ziemi po innym okręgu, zwanym deferentnym. Oba te ruchy odbywają się z jednostajną prędkością, zgodnie z naturą rzeczy niebieskich. Ruch wsteczny występuje, gdy planeta znajduje się blisko Ziemi, po wewnętrznej stronie epicyklu. Wtedy bowiem ruch na zachód na epicyklu jest więcej niż wystarczający, aby pokonać ruch na wschód na deferencie. Początkowo model ten miał być jedynie szeroko wyjaśniający i stanowić pole do popisu dla geometrów. Teoria Apolloniusza wyjaśnia, w jaki sposób planeta może poruszać się po zodiaku i czasami poruszać się wstecz, wykonując jednocześnie kombinację jednostajnych ruchów okrężnych. Dobrze wyjaśnia również, dlaczego Mars jest najjaśniejszy w środku ruchu wstecznego. Teoria ta (będąc płaską) była również matematycznie o wiele prostsza niż sferyczny system Eudoksosa. Prosta wersja teorii epicyklu i deferentu omawiana przez Apolloniusza nie była zdolna do ilościowego przewidywania. W teorii Apolloniusza wszystkie łuki wsteczne planety miałyby ten sam rozmiar i byłyby równomiernie rozmieszczone wokół zodiaku. Ale prawdziwa planeta wykazuje większą złożoność: w jednej części zodiaku łuki wsteczne Marsa są krótkie (około 10 długości), podczas gdy w diametralnie przeciwległej części zodiaku mają długość 20. Próby ulepszenia teorii podjęto w II wieku p.n.e.,

umieszczając środek okręgu deferentnego nieznacznie poza środkiem Ziemi. (Astronomowie doskonale potrafili naginać zasady fizyki Arystotelesa, gdy wymagały tego zjawiska). Ale to samo w sobie nie wystarczyło. Kiedy Grecy nawiązali bliski kontakt z astronomią babilońską w okresie Seleucydów, musiało się to wydawać zarówno imponujące, jak i zagadkowe. Babilończycy potrafili ilościowo przewidywać zjawiska planetarne. Było to niemożliwe w greckiej teorii planetarnej około 200 r. p.n.e. Grecy spierali się o ogień i wodę, postulując modele geometryczne i stosując dowody geometryczne, ale bez większego uzasadnienia w danych empirycznych. Charakterystyczną reakcją jest reakcja Teona ze Smyrny (II wiek n.e.), który mówi nam, że zarówno Babilończycy, jak i Grecy odnieśli sukces w uratowaniu (lub wyjaśnieniu) zjawisk, Babilończycy arytmetycznie, a Grecy geometrycznie. Ale, jak mówi, babiloński sposób jest niewystarczający, ponieważ nie opiera się na właściwym zrozumieniu natury. Tak więc nowym celem było stworzenie geometrycznej teorii planet, która działałaby ilościowo. Okazało się to trudne do zrobienia. I tak przez kilka stuleci istniała astronomia niskiej drogi, która istniała obok astronomii wysokiej drogi. Grecy pisarze przesiąknięci geometrią i filozofią pisali podręczniki wyjaśniające ruchy planet za pomocą deferentów i epicykli (przykładem jest Matematyczna wiedza przydatna do czytania Platona Teona ze Smyrny), mimo że teorie te nie były wystarczająco dobre do obliczania zjawisk. Tymczasem greccy astrologowie, którzy potrzebowali szybkich i łatwych sposobów na uzyskanie zodiakalnych pozycji planet w dowolnym dniu, dostosowali arytmetyczną teorię planet Babilończyków. Te dwa sposoby robienia rzeczy istniały nadal obok siebie w II wieku n.e. Decydujący krok podjął Klaudiusz Ptolemeusz w Aleksandrii w II wieku. Studium astronomii planetarnej Ptolemeusza pierwotnie nazywano 13 księgami kompozycji matematycznej (składni) Klaudiusza Ptolemeusza, ale w średniowieczu stało się znane jako Almagest, tytuł powszechnie używany dzisiaj. Praca Ptolemeusza pojawiła się pod koniec twórczego okresu greckiej nauki. A w przypadku teorii deferentu i epicyklu, opierał się na trzystu latach pracy. Ale Ptolemeusz wprowadził również nową ideę. Ponieważ Ptolemeusz pozwala, aby środek epicyklu planety poruszał się z nierównomierną prędkością wokół deferentu. Nierównomierność jest jednak wyrażona w języku równomierności. Ptolemeusz wyobraża sobie trzeci środek, odrębny od Ziemi i od środka deferentu. Ten trzeci środek, który jest środkiem ruchu jednostajnego, w średniowieczu zaczęto nazywać punktem ekwantowym. Gdybyśmy mogli stanąć w punkcie ekwantowym Marsa, zobaczylibyśmy środek epicyklu Marsa poruszający się wokół nas z jednolitą prędkością kątową — około pół stopnia na dzień. Kompletna teoria — epicykl i deferent, z deferentem odsuniętym od środka Ziemi i oddzielnym punktem ekwantowym — jest bardzo udana. Po raz pierwszy stało się możliwe dokładne obliczenie położenia planet na podstawie teorii geometrycznej. Babilończycy osiągnęli wcześniej numeryczną moc predykcyjną, ale używali metod arytmetycznych, a nie geometrycznych. Wprowadzenie punktu ekwantowego przez Ptolemeusza było brutalnym zerwaniem z fizyką Arystotelesa. Za to był krytykowany w średniowieczu. Ale teoria Ptolemeusza naprawdę działa i nie jest bardziej skomplikowana, niż wymagają tego ruchy planet. Tak więc niemal wszystkie praktyczne obliczenia planetarne były nadal wykonywane za pomocą metod Ptolemeusza aż do renesansu. Grecy mechanicy lubili modelować maszynę kosmosu, używając przekładni zębatych jako konkretnych realizacji relacji okresowych, które rządzą cyklami astronomicznymi. (Dobrym przykładem relacji okresowej jest „cykl Metona”, zgodnie z którym 235 miesięcy = 19 lat słonecznych). Tworzenie takich maszyn rozpoczęło się w czasach Archimedesusa i trwało do czasów Ptolemeusza, ponieważ obaj autorzy pisali na ten temat. Przypadkiem posiadamy część jednej z tych maszyn, mechanizmu z Antykithiry, który został odzyskany w 1901 roku ze statku, który zatonął około 60 roku p.n.e. Zachowane fragmenty maszyny zawierają trzydzieści kół zębatych, a uważa się, że pierwotnie było ich około dwudziestu. Gdy mechanizm był nienaruszony, miał mniej więcej wielkość pudełka na buty. Gdy użytkownik przekręcił pokrętko, przekładnie zębate poruszały wskaźnikami, które pokazywały zmieniające się pozycje Słońca i Księżycy w zodiaku, a także wskazywały datę w dwóch różnych kalendarzach — egipskim kalendarzu słonecznym i greckim kalendarzu księżycowo-słonecznym. Inna tarcza wskazywała miesiące i pory dnia

przewidywanych zaćmień. Urządzenie prawdopodobnie wyświetlało również zjawiska planetarne, takie jak ruch wsteczny, ale ta część przekładni nie przetrwała. Data mechanizmu z Antykithiry jest kontrowersyjna. Zaćmienia wyświetlane na maszynie byłyby najdokładniejsze dla serii lat rozpoczynającej się w ciągu kilku dekad po 205 roku p.n.e. Niektórzy uczeni woleliby jednak datę budowy na koniec II wieku, a nawet początek I wieku p.n.e. W obu przypadkach mechanizm z Antykithiry daje nam obraz mechanicznego kosmosu na długo przed czasami Ptolemeusza. Pokazuje nam również, jak wiele można się nauczyć z artefaktów: chociaż mamy greckie teksty, które omawiają koła zębate, urządzenia, o których traktują, są bardzo proste i nikt nie zgadłby na podstawie samych tekstów, że mogła zostać zbudowana maszyna tak złożona, jak mechanizm z Antykithiry.

## **Geografia i kartografia**

Proste plany miast i świątyń są znane z Babilonii już w późnym trzecim tysiącleciu p.n.e. Z około 1500 r. pochodzi mapa miasta Nippur, narysowana mniej więcej w skali. W Egipcie istniała praktyka rysowania map działek ziemi, tak aby można było skorygować zobowiązanie podatkowe właściciela, jeśli ziemia została utracona przez Nil. Anaksymander, filozof z Miletu, próbował narysować mapę całego zamieszkanego świata w VI wieku p.n.e. Ale duże kroki nastąpiły w okresie hellenistycznym. Eratostenes skompilował traktat geograficzny w trzech księgach, który obecnie zaginął. Jednak wiele wiadomo o nim z komentarzy (często krytycznych) Strabona w pierwszych dwóch księgach jego własnej Geografii. Typowa baza informacji składała się z relacji podróżników i czasów żeglugi. Ale Eratostenes uzupełnił te informacje bardziej geometrycznymi metodami. Na przykład jego pomiary wielkości Ziemi były powiązane z jego programem geograficznym. Eratostenes był prawdopodobnie pierwszym, który rysował mapy oparte na siatce przecinających się południków i równoleżników. Opierając się na pracach Dichaearchusa z Mesyny, wybrał jako podstawowy równoleżnik biegnący przez Cieśninę Gibraltarską i góry na północ od Indii. Jego południkiem zerowym był ten biegnący przez Syene i Aleksandrię. Wzdłuż tych dwóch podstawowych okręgów, które przecinały się na Rodos, obliczył odległości między kolejnymi parami kluczowych miejsc. To był szkielet, na którym zbudowano resztę jego układu świata. Kulminacyjnym dziełem starożytnej kartografii jest Geografia Klaudiusza Ptolemeusza. Kluczowym problemem przy tworzeniu mapy świata jest znalezienie metody projekcji, tak aby zakrzywioną powierzchnię kuli można było przedstawić w sposób systematyczny na płaskiej powierzchni. W teoretycznych rozdziałach swojej książki Ptolemeusz opisuje nie jeden, ale dwa sposoby zrobienia tego. Dużą część książki zajmuje gazeter, podający długości i szerokości geograficzne około osiemdziesięciu tysięcy miejsc. Ptolemeusz mierzył szerokości geograficzne tak jak my, na północ lub południe od równika w stopniach. Jego długości geograficzne mierzono od południka przez Wyspy Szczęśliwe (Wyspy Kanaryjskie). Dobrze wykształconemu podróżnikowi nie było trudno zmierzyć szerokość geograficzną miasta, notując wysokość bieguna niebieskiego nad horyzontem lub mierząc długość cienia gnomonu w dniu równonocy. Ale było niewiele rzeczywistych pomiarów szerokości geograficznej, którymi można było się kierować. W przypadku większości miejsc geograf musiał wnioskować o szerokości geograficznej na podstawie relacji miejsca do innych miejsc, które były lepiej znane. Mimo to większość starożytnych szerokości geograficznych nie jest zła. Te, które zostały faktycznie zmierzone (za pomocą cieni), są zwykle dokładne do kilku stopni. Zupełnie inaczej jest z długościami geograficznymi. Jedynym możliwym sposobem na uzyskanie dokładnych różnic podłużnych w starożytności były równoczesne obserwacje zaćmień Księżyca. Na przykład, zaćmienie Księżyca miało miejsce krótko przed bitwą pod Arbelą w 331 r. p.n.e., kiedy Aleksander pokonał Dariusza III Perskiego. Według historyków kampanii Aleksandra, zaćmienie to zaobserwowano tam o piątej godzinie nocy. Ale to samo zaćmienie zaobserwowano w Kartaginie o drugiej godzinie. Tak więc Ptolemeusz wywnioskował różnicę między Arbelą a Kartaginą wynoszącą trzy godziny, czyli 45°. Znacznie zawyżyło to różnicę podłużną (która wynosi około 34°). Ale jednocześnie obserwowane zaćmienia były tak rzadkie, że Ptolemeusz nie miał sposobu, aby skorygować ten błąd. W rezultacie

znacznie zawyżył szerokość kontynentu euroazjatyckiego. To, w połączeniu z przyjęciem przez Ptolemeusza niskiej wartości Posidoniusza 180 000 stadiów dla obwodu Ziemi, później zachęciło Kolumba, ponieważ sprawiło, że zachodni ocean stał się węższy. Dokładne pomiary długości geograficznej stały się możliwe dopiero w XVII wieku. Współcześni historycy spierają się, czy Geografia Ptolemeusza faktycznie zawierała mapy. Ale niektóre z najstarszych zachowanych rękopisów (z około 1300 r. n.e.) zawierają mapy, więc zaprzeczanie im wydaje się przesadnie sceptyczne.

### **Starożytna astrologia**

We wczesnej Babilonii wróżenie niebieskie było ważne dla króla i królestwa, ale właściwa astrologia jeszcze nie istniała — bogowie nie przemawiali w ten sposób do zwykłych ludzi. Najstarsze zachowane babilońskie horoskopy dla zwykłych ludzi pochodzą z około 400 r. p.n.e. Dowody na przenikanie astrologii do greckiej sfery kulturowej pochodzą z II wieku p.n.e. z Egiptu. Zodiak sufitowy zaczął pojawiać się w egipskich świątyniach około 200 r. p.n.e. A grecki papirus astronomiczny („Sztuka Eudoksosa”) zawiera diagram zodiaku z rubryką „Wyrocnie Hermesa/wyrocnie Sarapisa”, co sugeruje, że w świątyniach Sarapisa zaczęto praktykować przepowiadanie zodiakalne. Podręczniki astrologii wkrótce zaczęto pisać po grecku i łacinie. Najstarszy zachowany traktat pochodzi z I wieku n.e. i jest długim łacińskim poematem Maniliusa. Najbardziej systematycznym z zachowanych traktatów jest Tetrabiblos, napisany przez Klaudiusza Ptolemeusza w II wieku n.e. Mamy również setki greckich horoskopów. Niektóre z nich mają formę opracowanych przykładów zawartych w traktatach astrologicznych, takich jak Antologie Vettiusa Valensa. Ale mamy wiele innych, które dotarły do nas prosto z piasków Egiptu — skrawki papirusu odzyskane z wykopalisk. Najstarszy zachowany grecki horoskop pochodzi z I wieku p.n.e., ale większość z nich pochodzi z pierwszych kilku wieków n.e. Grecy w Egipcie opracowali podstawowe doktryny astrologiczne zapożyczone od Babilończyków, odcisnęli na nich swoje piętno, a nawet próbowali uczynić te doktryny zgodnymi z grecką filozofią natury. Oto kilka podstawowych zasad. Po pierwsze, każda planeta ma swoje własne właściwości. Ptolemeusz, najbardziej racjonalistyczny z greckich astrologów, wyjaśnia te moce w kategoriach teorii fizycznej Arystotelesa. Tak więc każda planeta albo ogrzewa, albo chłodzi, albo osusza, albo nawilża. Z tych właściwości Ptolemeusz wywnioskował, że Księżyc, Wenus i Jowisz są dobroczynnymi (pomocnymi) planetami. To one są zarówno ogrzewające, jak i nawilżające — ponieważ są to siły dające życie. Złowrogimi (niszczącymi) planetami są Mars i Saturn. Słońce może być dobroczynne lub złowrogie, co ma sens, ponieważ Słońce jest niezbędne do życia, ale jego nadmiar może być śmiertelny. A Merkury również może pójść w obie strony. Jak dotąd wydaje się to rozsądnym systemem. Doktryna planet dobroczynnych i złowrogich została zaczerpnięta od Babilończyków, ale Ptolemeusz rozszerzył ją, wyjaśniając te właściwości w kategoriach cech Arystotelesa. Ale kiedy Ptolemeusz idzie dalej, dzieli planety na męskie i żeńskie, a te skojarzenia działają jedynie na podstawie greckiego panteonu. Więc Wenus i Księżyc są żeńskie, a reszta męska, z wyjątkiem androgynicznego Merkurego. Teraz każda planeta staje się silniejsza lub słabsza, gdy porusza się wokół zodiaku. Każda planeta ma wywyższenie (znak zodiaku, w którym jej moc jest zwiększona) i depresję (znak diametralnie przeciwny). Każda planeta ma również dom księżycowy i dom słoneczny, w których jej moc jest zwiększona. Ponadto planety oddziałują ze sobą. Planety mają tendencję do walki ze sobą, gdy znajdują się w diametralnie przeciwnych znakach zodiaku. Ale aspekt trygonowy (gdy są oddalone od siebie o około 120°) jest harmonijną relacją, w której planety mają tendencję do wzmacniania się nawzajem. Wreszcie moce planety rosną i maleją w ciągu jednego dnia i nocy, gdy sfera niebieska się obraca. Greccy astrologowie podzielili niebo na dwanaście miejsc. (Niestety, w nowoczesnej astrologii nazywa się je „domami”; przypomnijmy, że właściwie dom odnosi się do jednego ze znaków zodiaku planety.) Najważniejszym miejscem jest horoskop — klin nieba tuż przy wschodnim horyzoncie. Planeta będzie silniejsza, gdy wschodzi („w miejscu horoskopu”). Greckie słowo horoscopos oznacza „znak godzinowy”, od zwyczaju określania pory nocy poprzez patrzenie, który znak zodiaku wschodzi. Znaczenie horoskopu

odzwierciedla fakt, że miejsce to ostatecznie dało nazwę całemu wykresowi lub procesowi, w którym sporządza się prognozę. Innym miejscem mocy jest środek nieba, gdzie planeta znajduje się najwyżej na niebie. Z kolei planeta ma tendencję do bycia słabszą w descendencie, gdy zachodzi na zachodzie. W Tetrabiblos Ptolemeusz podaje zasady dotyczące konkretnych badań. Tak więc, w przypadku pytań dotyczących zajęć klienta, astrolog powinien skupić się na Słońcu i środku nieba. W przypadku badania racjonalnych cech umysłu, należy skupić się na Merkury; w przypadku cech irracjonalnych, na Księżycu. Astrologiczna prognoza może być skomplikowana. Astrolog musiał najpierw ustalić położenie planet w zodiaku w momencie narodzin lub poczęcia, zwykle z papirusowych tablic planetarnych. Następnie musiał rozważyć interakcję każdej planety ze znakami zodiaku, z innymi planetami i z miejscami. Często konsultacje te odbywały się twarzą w twarz, tak jak współczesna osoba konsultowałaby się z księdzem, rabinem lub psychoanalitykiem. Praktykujący mógł skorzystać z tablicy astrologa, wykonanej z drewna, kości słoniowej lub marmuru i wygrawerowanej znakami zodiaku. Na tym on (lub ona, ponieważ Plutarch mówi nam, że w jego czasach rzymskie kobiety również zajmowały się astrologią) mogły umieszczać małe kamienne znaczniki, wygrawerowane imionami i postaciami bogów planetarnych. Uważano, że poszczególne rodzaje kamieni mają szczególne powinowactwo z konkretnymi planetami. Według Romansu Aleksandrowskiego (greckiej powieści przygodowej, w której egipski astrolog rzuca horoskop dla matki Aleksandra Wielkiego), Afrodyta (Wenus) jest reprezentowana przez niebieski kamień lapis lazuli. W starożytności toczyła się debata na temat ważności astrologii, podobnie jak na temat innych form wróżbiarstwa. Ptolemeusz uzasadnia astrologię w początkowych rozdziałach Tetrabiblos. Wskazuje, że w astronomii istnieją dwa rodzaje przewidywań. Po pierwsze, jest astronomia matematyczna, taka jak ta, którą omówił w Almagest, która ma dobre roszczenia do niezawodności. Ale jest też ta mniej pewna metoda prognozowania astrologicznego, chociaż twierdzi, że jej roszczeń nie można całkowicie odrzucić. Ptolemeusz wskazuje na oczywiste wpływy Słońca i Księżyca, których nikt nie zaprzeczy. Twierdzi, że krytycy astrologii są zbyt podatni na błędy kiepskich praktyków lub całkowitych oszustów. Ale nikt nie porzuciłby całej sztuki medycznej z powodu kilku nieudolnych praktyków. Na koniec Ptolemeusz odnosi się do argumentu krytyków, a mianowicie, że astrologia jest w każdym przypadku bezużyteczna, ponieważ (a) jest bezużyteczna, jeśli jest niepoprawna; i (b) jest również bezużyteczna, jeśli jest poprawna, ponieważ nie można uniknąć swojego losu. Ptolemeusz twierdzi, że wiedza o tym, co nas czeka, może być faktycznie przydatna, ponieważ moglibyśmy się wtedy przygotować, aby uniknąć depresji lub nadmiernej euforii, gdy wydarzenie faktycznie nastąpi. Co więcej, wpływy planetarne nie są przymuszające, ale mówią nam o usposobieniach, a te mogą zostać przytłoczone przez wydarzenia. Na przykład, jeśli nastąpi katastrofa statku i jacyś ludzie zginą wszyscy naraz, nie oznacza to, że wszyscy mieli ten sam horoskop. Na koniec ponownie przedstawia analogię do medycyny. Lekarz może postawić diagnozę, a także prognozę, informując pacjenta, jaki będzie prawdopodobny wynik choroby, jeśli nie zostanie podjęta interwencja. Jednak skuteczna interwencja medyczna może zmienić wynik. Dobrym przykładem starożytnego krytyka astrologii jest Cynceron w swojej książce O wróżeniu. Cynceron wskazuje na przykłady bliźniaków, którzy mieli różne losy. Twierdzi, że astrologowie obserwują planety w momencie narodzin, polegając w ten sposób na wzroku, który jest najmniej wiarygodnym ze zmysłów. (W tej krytyce Cynceron źle rozumie sposób pracy astrologa — pozycje planet zostały pobrane z tabel teoretycznych, a nie z obserwacji dokonanej w momencie narodzin; w końcu klient może złożyć wniosek o analizę swojego dziecka, gdy ma ono już kilka lat). Bardziej prawdopodobne jest, że Cynceron twierdzi, że kosmos jest tak ogromny, że wpływy z planet zewnętrznych nie mogą dotrzeć do Ziemi. Na koniec Cynceron twierdzi, że astrologowie ignorują wpływ nasienia ojcowskiego. Każdy wie, że dzieci przejmują swój wygląd i nawyki od rodziców, co nie miałyby miejsca, gdyby były one determinowane przez układ niebios w momencie narodzin. Dzisiaj klasyfikowalibyśmy astrologię jako pseudonaukę, ale nie jest to pomocna kategoria dla zrozumienia starożytnej nauki. Nawet Arystoteles był skłonny postrzegać rzeczy niebieskie jako przyczyny zmian na Ziemi — ruchy niebieskie wznecają ogień i powietrze, a zatem

mogą mieć wpływ na pogodę. Później, wraz z rozwojem stoicyzmu, pojawiła się filozofia bardzo otwarta na doktrynę sympatii lub współodczuwania. Słowo to było używane w muzyce strun, które rezonują ze sobą, tak że dźwięk jednej mógł powodować wibrację drugiej. Stoicy myśleli o wszechświecie jako uwikłanym w łańcuch losu, w którym wszystkie rzeczy podlegają sympatiom. Odkrycie Posejdoniosa, że Księżyc wpływa na pływy morskie, musiało wydawać się głębokim potwierdzeniem tego światopoglądu. Jeśli rzeczy niebieskie i ziemskie są rzeczywiście ze sobą powiązane, to można dostrzec aspekty przyszłości, jeśli potrafi się właściwie odczytać znaki. Stoicyzm był zatem skłonny do uznawania większości form wróżbiarstwa. A gdy Grecy zetknęli się z astrologią babilońską, stoicyzm pomógł jej zyskać przychylność. Fakt, że możemy wskazać kilku przekonujących krytyków, jedynie podkreśla fakt, że astrologia była szeroko akceptowana w świecie grecko-rzymskim od pierwszego wieku p.n.e.

### **Medycyna grecka i rzymska**

Wczesna medycyna grecka obejmowała mieszankę tradycyjnych środków leczniczych, magicznych uroków i próśb o boskie wynalazki. Ale pod koniec V wieku p.n.e. wokół tajemniczej postaci Hipokratesa z Kos wyłoniła się różnorodna medycyna naukowa, inspirowana tradycją filozoficzną. Zachowało się około pięćdziesięciu dzieł. Nie ma sposobu, aby dowiedzieć się, które z nich, jeśli w ogóle, zostały napisane przez samego Hipokratesa, a w starożytności toczył się nawet spór o to, które dzieła były bardziej autentycznie hipokratesowskie. Współcześni uczeni odnoszą się do całego zbioru dzieł jako do korpusu Hipokratesa. Większość zachowanych dzieł pochodzi z końca V i początku IV wieku p.n.e., ale niektóre są hellenistyczne, a niektóre nawet z I i II wieku n.e. Nie trzeba dodawać, że nie odzwierciedlają one jednolitej perspektywy medycyny. Wczesną pracą, która miała trwały wpływ, jest *O naturze człowieka*. Autor twierdzi, że ludzkie ciało zawiera cztery humory — krew, flegmę, żółć żółtą i czarną żółć. Dochodzi do tego punktu, wyciągając lekcję z spierania się filozofów o to, czy wszechświat składa się z ognia, powietrza czy wody. Żaden z tych filozofów nie może wygrać sporu trzy razy z rzędu, co jest pewnym znakiem, że ich wiedza jest błędna. Zgadza się, że świat jest jednością, ale nie potrafią powiedzieć, na czym ta jedność polega. Podobnie lekarze, którzy mówią, że człowiek jest jednością, a zatem twierdzą, że człowiek jest krwią lub żółcią, również się mylą. Gdyby bowiem człowiek był jednością, nigdy nie mógłby odczuwać bólu. A gdyby chorował, mógłby być tylko jedno lekarstwo, co jest dalekie od prawdy. Co więcej, w jaki sposób rozmnażanie mogłoby mieć miejsce z jedności? Według autora Hipokratesa, każdy z czterech humorów wzrasta i maleje w ciągu roku, ale każda osoba, czy chora, czy zdrowa, składa się z tych czterech. Dobre zdrowie wynika z właściwej równowagi między nimi czterema. Tutaj możemy zobaczyć wysiłek wprowadzenia teorii, aby nadać sens ogromnej złożoności ludzkiego doświadczenia ze zdrowiem i chorobą. Ponadto humory są powiązane z cechami gorąca, zimna, wilgoci i suchości. Krew jest gorąca i mokra, podczas gdy czarna żółć jest zimna i sucha. Inne interesujące prace Hipokratesa to *Airs, Waters, Places*, które traktują o konsekwencjach czynników środowiskowych dla zdrowia i choroby, oraz *On Regimen*, które traktują o diecie i ćwiczeniach. W *Epidemics* autor przedstawia relacje z epidemii, które dotknęły różne miasta. Często szczegółowo opisują one pogodę w danym roku, porę roku, w której rozpoczęła się epidemia, oraz objawy choroby, w tym szczegóły wielu historii przypadków. Grecy lekarze i pisarze medyczni słynęli z podziału na sekty (jak filozofowie!), które nie zgadzały się co do prowadzenia medycyny. Dogmatycy (czasami zwani racjonalistami) wierzyli w znaczenie poszukiwania podstawowej teorii i w wartość spekulatywnej myśli. Empiryści odrzucali teorię i nalegali, że tylko doświadczenie w leczeniu pacjentów może dać solidne pojęcie o tym, jakie kuracje prawdopodobnie zadziałają, i że nie trzeba wiedzieć, dlaczego kuracja zadziałała. To były dwa główne obozy, ale inne wchodziły i wychodziły z mody. Wraz z rozwojem filozofii stoickiej i jej naciskiem na *pneumę* - oddech, ale także rodzaj jednoczącej siły, która przenika kosmos - powstał medyczny obóz pneumatystów. Na to również miały wpływ eksperymenty ze sprężonym powietrzem (*pneumatyka*) przeprowadzone przez mechaników

aleksandryjskich. Leczenie medyczne obejmowało szeroki zakres praktyk, w tym stosowanie ziół i leków (niektóre z nich mogły być pomocne, a niektóre bardziej ryzykowne), silniejsze interwencje, takie jak upuszczanie krwi i oczyszczanie, ale także bardziej konserwatywne techniki, takie jak regulacja diety i aktywności. Instrumenty medyczne zachowały się od czasów rzymskich, w tym duży skarb znaleziony w Pompejach. Współczesny specjalista medyczny może łatwo rozpoznać większość starożytnych instrumentów - skalpele, sondy, pęsety, zaciski, wzierniki pochwowe i odbytnicze, retraktory itp. Ale uczonej medycyna nigdy nie miała monopolu. Wynika to wyraźnie z ogromnej liczby inskrypcji de voto znalezionych w starożytnych świątyniach. Często jedna z nich może mieć formę miniaturowej kopii chorej części ciała, czasami z wyrytym imieniem chorej osoby, wraz z podziękowaniem dla boga. W III wieku p.n.e., głównie w Aleksandrii, grecka anatomia i fizjologia rozkwitły za czasów Herophilusa i Erasistratusa. Niewiele wiadomo o ich życiu, a żadna z ich ksiąg nie przetrwała. Jednak znaczną ilość informacji można uzyskać z dyskusji na temat ich pracy prowadzonych przez późniejszych pisarzy medycznych i filozofów. Kluczem do ich badań anatomicznych była sekcja zwłok ludzkich. Praktykowano to rzadko, jeśli w ogóle, w okresie klasycznym, z powodu tabu prawnych lub religijnych. Rozcinanie zwierząt stało się już powszechną praktyką, gdyż pisarze Hipokratesa wspominają o rozcinaniu zwierząt, a Arystoteles szeroko z niego korzystał. Ale nikt tak naprawdę nie odważył się rozcinać ludzkich ciał dla celów medycznych. W późniejszej starożytności rozcinanie ludzi znów było poza nawiasem, więc ten krótki okres w hellenistycznej Aleksandrii okazał się ważny dla badań nad anatomią człowieka. Co więcej, według Celsusa, rzymskiego pisarza medycznego z I wieku n.e., Herophilus i Erasistratus nie tylko rozcinali ludzkie zwłoki, ale także rozcinali żywych ludzi, przestępców dostarczanych z więzienia przez królów Egiptu. Herophilus dokonał pierwszego wyraźnego opisu nerwów, a być może nawet rozróżnił nerwy czuciowe i ruchowe (choć niektórzy przypisują to jego następcy, Erasistratusowi). Odkrył jajniki u zwierząt żeńskich i zauważył ich analogię do jąder u zwierząt męskich. Odkrył jajowody, ale błędnie je zinterpretował, będąc wprowadzonym w błąd przez fałszywą analogię do nasieniowodów u mężczyzn. To jeden ze sposobów, w jaki teorie anatomii kobiet były zdominowane przez modele dostarczane przez anatomie mężczyzn. Odzwierciedla to oczywiście myślenie kultury zdominowanej przez mężczyzn, ale odzwierciedla również fakt, że męski układ rozrodczy jest łatwiejszy do zbadania. Herophilus badał strukturę oka, wprowadzając terminy, które są używane do dziś. W praktyce medycznej nalegał na stosowanie pulsu jako narzędzia diagnostycznego. Nauczyciel Herophilusa, Praksagoras z Kos, był prawdopodobnie pierwszym, który dokonał ogólnego rozróżnienia żył i tętnic, przypisując im różne funkcje. Ale Praksagoras uważał, że naczynia wychodzące z prawej komory serca to żyły, a te wychodzące z lewej komory to tętnice. Nie jest to do końca prawdą, ponieważ tętnica płucna, która wychodzi z prawej komory, jest rzeczywiście tętnicą: Herophilus nazwał ją „żyłą tętnicopodobną”. Herophilus dodał bezpieczniejsze rozróżnienie anatomiczne, zauważając, że warstwy tętnic są znacznie grubsze niż żył. Erasistratus zasłynął z wykorzystywania mechanicznych idei i analogii. Uważał trawienie za proces mechaniczny, podobny do mielenia. Bardziej imponująca była jego dyskusja na temat serca jako rodzaju miecha. Według Erasistratusa, gdy serce się rozszerza, wciąga krew i pneumę, a gdy się kurczy, pompuje krew do żył, a pneumę do tętnic. Rozumiał funkcję zastawek w sercu, zapobiegającą cofaniu się krwi. Jeśli Herophilus był przede wszystkim ostrożnym anatomem, Erasistratus bardziej interesował się fizjologią i był bardziej spekulatywny. Uważał, że żyły zawierają krew, ale tętnice zawierają tylko pneumę przypominającą powietrze. Oczywiście, gdy tętnica jest przecięta, pojawia się krew, ale Erasistratus wyjaśnił to jako komunikację krwi przez niewidzialne połączenia, zwane anastomozami, między żyłami i tętnicami, nieco podobne, ale nie identyczne z naczyniami włosowatymi odkrytymi w XVII wieku. Galen, grecki lekarz z II wieku n.e., był niezwykle produktywnym i wpływowym pisarzem. Po ukończeniu szkolenia medycznego pracował przez cztery lub pięć lat jako chirurg gladiatorów w Pergamonie, ale większość swojej późniejszej kariery spędził w Rzymie. Galen był pod silnym wpływem tradycji Hipokratesa, ale odcisnął na niej swoje własne piętno. Jego zachowane prace obejmują szeroki zakres, od wprowadzających podręczników z takimi tytułami



jak Kości dla początkujących po raporty z jego własnych badań, takie jak O tym, czy krew jest naturalnie zawarta w tętnicach. Galen obalił twierdzenie Erazistratosa, że tętnice nie zawierają krwi, przeprowadzając eksperyment, w którym podwiązał tętnicę powyżej i poniżej miejsca, w którym zamierzał ją przeciąć, a następnie odkrył, że po przecięciu była w niej krew. W serii eksperymentów wielokrotnie przeciął rdzeń kręgowy zwierzęcia, zaczynając od miejsc położonych nisko w kręgosłupie, a następnie przechodząc wyżej i zauważając, które funkcje zostały kolejno utracone. Pod wpływem tradycji sięgającej Platona Galen wierzył w trójczęściową duszę. Ale próbował to powiązać z teoriami anatomii i fizjologii człowieka opracowanymi przez Erazistratosa. Rozumna dusza ma swoją siedzibę w mózgu, który jest źródłem nerwów. (To był duży krok naprzód w stosunku do Arystotelesa, dla którego mózg był znacznie mniej ważny — tylko swego rodzaju grzejnikiem do chłodzenia krwi). Namiętności mają swoją siedzibę w sercu, które jest źródłem tętnic. Apetyty i pragnienia mają swoją siedzibę w wątrobie, która jest źródłem żółci. Według Galena ciało jest odżywiane przez krew żylną, która transportuje produkty trawienia do wszystkich części ciała. Galen nie zgadza się z Erasistratusem, że trawienie jest jedynie procesem mechanicznym — dla niego obejmuje również rodzaj gotowania lub „mikstury”. Ogień w sercu utrzymuje witalne ciepło ciała. Tętnice transportują krew tętniczną i życiodajną pneumę, która jest pobierana z powietrza przez płuca. A nerwy są wypełnione psychiczną pneumą, która odpowiada za czucie i funkcje motoryczne. W starożytnej fizjologii nie było pojęcia, że krew krąży po całym ciele, a następnie wraca w pełnym cyklu. Tak więc dla Galena większość krwi żyłnej jest zużywana w tkankach ciała. Uważał jednak, że niewielka część krwi żyłnej przesącza się przez maleńkie pory w przegrodzie serca, z prawej komory do lewej. Jego argumentem było to, że naczynie doprowadzające krew do prawej strony serca (żyła główna) jest większe niż naczynie odprowadzające krew z prawej strony serca (żyła tętniczo-podobna), więc część napływającej krwi musi jakoś przedostać się przez gęstą przegrodę. Te pory, których Galen przyznał, że nie mógł zobaczyć, tak naprawdę nie istnieją; ale błąd ten został skorygowany dopiero przez Wesaliusza w XVI wieku. W Rzymie za czasów Galena nie było regularnej okazji do sekcji zwłok ludzkich. Píše więc, że lekarz powinien wykorzystać każdą okazję do zbadania zwłok i opowiada o czasie, gdy rzeka w czasie powodzi wydobyła kilka dobrze zachowanych szkieletów, które pośpieszył zbadać. Ponieważ nie miał możliwości przeprowadzenia sekcji zwłok ludzkich, wybrał zwierzęta, które najbardziej przypominały ludzi, i faworyzował małpę berberyjską. Jego wymuszone poleganie na zwierzętach sprawiło, że popełnił pewne błędy w swoich uogólnieniach dotyczących anatomii człowieka. Znaczącym przykładem jest rete mirabile, czyli sieć cienkich tętnic znajdujących się w mózgach niektórych zwierząt kopytnych, którą Galen również błędnie przypisał ludziom. Dla Galena rete mirabile to miejsce, w którym krew tętnicza jest oczyszczana do psychicznej pneuma, która następnie jest rozprowadzana do ciała przez nerwy.

### **Historia naturalna**

W języku greckim historia oznacza naukę przez dociekanie lub opis dociekania. I tak Historia zwierząt Arystotelesa jest systematycznym studium życia zwierząt. Jednym z jego wkładów był system klasyfikacyjny — całkowicie charakterystyczny aspekt greckiej nauki. Arystoteles podzielił zwierzęta przede wszystkim na krwawe i bezkrwawe. Zwierzęta z krwią podzielono następnie na pięć klas: żyworodne czworonogi (czworonogi, które rodzą się żywe), jajorodne czworonogi (czworonogi, które składają jaja, takie jak gady i płazy), ptaki, ryby i walenie (takie jak delfiny). Bezkrwiste zwierzęta zostały pogrupowane jako zwierzęta miękkie (głownogi, takie jak kałamarnice i ośmiornice), zwierzęta o miękkiej skorupie (skorupiaki, takie jak kraby i raki), zwierzęta o twardej skorupie (jądra, takie jak ostrygi i małże, ale także ślimaki) i owady. Grupy te były klasyfikowane na hierarchicznej skali opartej na witalnym cieple. Ale Arystoteles nie zamierzał, aby jego system klasyfikacyjny był sztywny — stosował różne jego formy w różnych częściach swojej pracy — i nigdy nie był zwykłym klasyfikatorem. Przeprowadził wiele sekcji i miał szeroką wiedzę na temat anatomii, rozwoju i zachowania zwierząt. Na przykład, rozcinał jaja ptaków na każdym etapie i podał szczegółowy opis rozwoju zarodka w czasie. W

jego pracach wspomniano około pięćset różnych gatunków. Dla Arystotelesa celem było przyczynowe wyjaśnienie różnorodnych form zwierząt; ale trudno było zmagać się z przyczynami, dopóki nie miało się niezawodnej bazy wiedzy. W późniejszej starożytności zarówno grecka, jak i rzymska publiczność miała nieograniczony apetyt na osobliwości natury i powstała literatura, która zaspokajała ten gust. Znaczącym przykładem jest łacińska Historia naturalna Pliniusza Starszego (Gaius Plinius Secundus). Pliniusz był niewyczerpanym czytelnikiem i notatką, a jego praca jest zupełnie innego rodzaju niż Historia zwierząt Arystotelesa. Pliniusz był kompilatorem, a nie oryginalnym badaczem, który szczycił się ogromną liczbą źródeł, z których korzystał. Jego praca encyklopedyczna obejmuje dziesięć tomów w jednym współczesnym wydaniu. Oddzielne księgi lub rozdziały poświęcone są astronomii, geologii, geografii, ludzkim dziwactwom, rolnictwu, medycynie i kamieniom szlachetnym, wśród wielu innych tematów. Pliniusz zginął w wybuchu Wezuwiusza w 79 r. n.e. Jeśli jego encyklopedia jest połączeniem tego, co wiarygodne, i tego, co niewiarygodne, miał dostęp do wielu dzieł, które obecnie zaginęły, i w ten sposób dostarcza cennych informacji historycznych. Co więcej, we wczesnym średniowieczu jego Historia naturalna była jednym z niewielu dzieł starożytnej nauki, które krążyły na łacińskim Zachodzie i zyskały znaczenie znacznie wykraczające poza jej zalety. Mniej więcej w tym samym czasie co Pliniusz żył grecki pisarz Dioskurydes, który napisał znacznie bardziej wyspecjalizowany opis roślin, produktów zwierzęcych i minerałów, które mogą być przydatne w medycynie. Często cytował go Galen. Dzieło to zostało przetłumaczone na łacinę w VI wieku i jest często znane pod łacińskim tytułem De materia medica. Spektakularnie ilustrowana kopia greckiego manuskryptu została wykonana w Konstantynopolu około 512 r. n.e. i jest obecnie znana jako „Dioskurydes Wiedeński”. Dioskurydes opisał około sześćset różnych roślin. Historycy debatowali, czy ilustracje pochodzą z własnej pracy Dioskurydesa, czy były późniejszym dodatkiem.

### **Nauki w edukacji starożytnej**

Możemy uzyskać pewne pojęcie o miejscu nauk w edukacji liberalnej z wielu różnych źródeł. Strabon, geograf z I wieku n.e., pyta, jakiego rodzaju wcześniejszej edukacji astronomicznej będą potrzebować czytelnicy jego własnych prac. Mówi, że nie muszą znać wszystkich wschodów i zachodów konstelacji, ale nie powinni być tak nieświadomi, aby nigdy nie widzieć globusa z jego okręgami niebieskimi lub nie być nieświadomymi, że zjawiska niebieskie zmieniają się w zależności od położenia geograficznego. Ale, mówi Strabon, jest to rodzaj wiedzy, którą można uzyskać z podstawowych kursów matematyki. Dlatego też swoją Geografię przeznacza nie dla niewykształconych, ale dla tych, którzy ukończyli zwykłe kursy dla ludzi wolnych i studentów filozofii. Możemy więc wnioskować o istnieniu przeglądów astronomii oferowanych studentom jako części ich szkolenia filozoficznego. I rzeczywiście, z okresów hellenistycznego i rzymskiego przetrwało kilka miłych wprowadzeń do astronomii i występują one w różnych filozoficznych odcieniach. Matematyczna wiedza Teona ze Smyrny przydatna do czytania Platona obejmuje sekcje dotyczące arytmetyki pitagorejskiej, astronomii i teorii muzyki. Pierwotnie istniała również sekcja poświęcona geometrii, ale nie przetrwała. Część astronomiczna to kompetentny przegląd większości części greckiej astronomii, w tym teorii epicyklów i deferentów. Ale Teon zawiera również częste odniesienia do prac Platona. Drugim przykładem jest Meteora Kleomedesa, która również traktuje o standardowych kwestiach astronomicznych i jest naszym jedynym źródłem szczegółów pomiaru wielkości Ziemi przez Eratostenesa (choć pomija epicykle i deferenty). Ale Meteora jest również przesiąknięta fizyką stoicką. Na przykład Kleomedes omawia pneumę i informuje nas, że nie może być żadnych luk, żadnych pustych miejsc we wszechświecie. Ale akceptuje nieskończone puste miejsca poza wszechświatem. Te dwa dzieła dają nam zatem wyobrażenie o tym, jak astronomia była omawiana w częściach przygotowawczych programu nauczania filozofii platońskiej lub stoickiej. Trzecim angażującym tekstem jest Wprowadzenie do zjawisk autorstwa Geminusa, pisarza z I wieku p.n.e. Geminus nie wykazuje wyraźnej afiliacji filozoficznej. Jest on bardzo bezpośrednim astronomem, ale lubi cytować postaci literackie, takie jak Homer lub Aratos, w celu

zilustrowania jakiegoś punktu astronomicznego. W IV wieku n.e. Martianus Capella skomponował dzieło zatytułowane Małżeństwo filologii z Merkurym. W tekście Martianusa, podzielonym na dziewięć ksiąg, Filologia, uosobiona jako panna, poślubiona jest Merkurem, bogowi matematyki i pisania. Dwie księgi otwierające dają alegoryczny opis zaręczyn i ślubu. Następnie, w kolejnych siedmiu księgach, każda z nauk humanistycznych, służebnic filologii, po kolei występuje naprzód, aby opowiedzieć wszystko, co ważne, aby wiedzieć o jej sztuce. Otrzymujemy sprawozdania z gramatyki, logiki, retoryki, arytmetyki, geometrii, astronomii i muzyki. Cztery sztuki matematyczne to oczywiście dokładnie te, które Platon zalecał do szkolnego programu nauczania strażników. Oczywiście poziom nauczania w Małżeństwie filologii z Merkurym był podstawowy. Ale w renesansie nauki na dworze Karola Wielkiego (od końca VIII do początku IX wieku) książka ta była podziwiana jako kompendium wszelkiej przydatnej wiedzy. Wraz z powstaniem uniwersytetów, począwszy od około 1200 roku, te same siedem sztuk wyzwolonych odgrywało ważną rolę w programie nauczania. Dlatego też naukowy komponent średniowiecznej edukacji uniwersyteckiej miał głębokie korzenie w edukacji wyzwolonej starożytnych Greków i Rzymian.

### **Nauka w starożytnych Chinach**

Idea natury i badanie zjawisk w celu zastosowania zdobytej wiedzy zarówno do zaspokojenia ludzkiej ciekawości, jak i zaspokojenia ludzkich potrzeb są podstawowymi elementami nauki rozumianej we współczesnym społeczeństwie. W Chinach okres między V wiekiem p.n.e. a II wiekiem n.e. był kluczowy dla kształtowania się wiedzy naukowej i jej zastosowania do natury, jak i do społeczeństwa ludzkiego. Z jednej strony możemy zapoznać się z zapisem starożytnych przekazywanych tekstów, aby opowiedzieć o wczesnej historii nauki w Chinach. Jednocześnie od XX wieku dowody archeologiczne i nowo odkryte rękopisy uzupełniają przekazywane źródła tekstowe, aby dać nam nowe zrozumienie starożytnej chińskiej wiedzy o świecie przyrody. Trzy obszary wiedzy są najbardziej istotne dla historii nauki: kosmogonia (badanie pochodzenia wszechświata) i kosmologia; astrologia i kalendarz; i medycyna. Obszary te można rozszerzyć o matematykę, muzykę i geografję. Jednakże wcześniej wymienione obszary były centralne w powstaniu modelu natury, który współczesne badania zachodnie określają jako chińską kosmologię korelatywną lub myśl korelatywną. W pierwszym wieku naszej ery paradygmat myśli korelatywnej był dobrze ugruntowany i pozostał dominującym paradygmatem w chińskiej nauce przez cały okres przednowoczesny. Krótko mówiąc, dwie idee kształtowały dojrzały etap myśli korelatywnej. Po pierwsze, życiową substancją występującą wszędzie i we wszystkim było qi, dosłownie „para” w znaczeniu czegoś ulotnego, ale materialnego. Po drugie, formowanie się świata i jego ciągłe działanie nastąpiło, gdy qi przechodziło procesy oparte na cyklach yin i yang oraz cyklach wuxing lub „pięciu agentów” (odnoszących się do gleby, drewna, metalu, ognia i wody). Ciało i ciało polityczne były powiązane z naturą w myśli korelatywnej, która wyjaśniała fizjologię człowieka i była podstawą teorii medycznej, a także wyjaśniała stabilną instytucję rządu. Od czasu swojego powstania, myślenie korelatywne dostarczało naturalistycznych wyjaśnień zjawisk, ale nie reprezentowało powstania nauki, która definiowała się w pozycji wobec idei i praktyk religijnych lub okultystycznych. Począwszy od wczesnego użycia yin i yang w wróżbiarstwie w związku z heksagramami Klasyki Przemian (Yijing), yin yang nigdy nie stało się teoretyczną zasadą pozbawioną wartości wróżbiarskiej; pozostał również związek między pięcioma agentami a astrologicznymi lub kalendarzowymi systemami wróżbiarskimi, które podtrzymywały swoje okultystyczne znaczenie w tym samym czasie, gdy były stosowane w myśleniu korelatywnym. Tak więc paradygmat myślenia korelatywnego był czymś więcej niż teorią natury, a jego trwałość była wynikiem szerokiego rozumienia natury i kultury, które obejmowało wszystko, od zjawisk w naturze po politykę, religię i życie codzienne. W przypadku nauk o niebie (astrologia), ziemi i ludzkości (medycyna) myślenie korelatywne było explanansem stosowanym do zjawisk w naturze, explanandum. Istniała tendencja do tworzenia idealizujących wyjaśnień i podkreślania cech wspólnych, które łączyły różne zjawiska, a nie specyfiki odrębnych zdarzeń w

naturze. Niemniej jednak myślenie korelatywne pielęgnowało ciekawość, obserwację i metody empiryczne w sposób, który dawał precyzyjną wiedzę o naturze, czasami prowadząc do odkryć i technologii przed innymi cywilizacjami świata. Na przykład heksagonalna morfologia płatków śniegu została po raz pierwszy zaobserwowana w Chinach w II wieku p.n.e., częściowo dlatego, że sześciokątna struktura „kwiatka śniegu” kontrastowała ze zwykłą pięciokątną strukturą innych kwiatów w naturze; a papier był produkowany w Chinach już w III wieku p.n.e. Podczas gdy paradygmat myślenia korelatywnego służy jako rama dla historii nauki w Chinach, starożytne chińskie idee natury są zbyt bogate, aby sprowadzić je do pojedynczego, monolitycznego wyniku. Ponadto zaangażowanie w kształtowanie się myślenia korelatywnego różnych grup ludzi, którzy mieli powody, aby szczególnie interesować się naturą, różnorodność wytworzonych idei i ich zastosowania stanowią ważne elementy społecznej i kulturowej historii nauki i technologii. W starożytnych Chinach głównymi postaciami w tej historii nie byli filozofowie moralni i polityczni epoki klasycznej, od Kongzi (Konfucjusza) pod koniec VI wieku do Hanfeiziego i Xunziego pod koniec III wieku p.n.e. Nawet ludzie, dla których Dao (Droga) w świecie i społeczeństwie ludzkim była uniwersalną zasadą — koncepcją, która od III wieku p.n.e. była niezmiennie kojarzona z legendarną postacią Laozi i księgą Klasyka Drogi i Cnoty (Daode jing) — nie traktowali samej natury jako głównego przedmiotu swoich badań. To wróżbici, astrologowie, kalendarzownicy, lekarze i pokrewni specjaliści jako pierwsi obserwowali wzorce w naturze i stosowali swoją wiedzę do praktycznych rezultatów. Kilku z nich zostało przekazanych historii, w tym astrologowie i lekarze, którzy przypadkiem zyskali sławę na dworze jednego z regionalnych władców, ale w większości byli anonimowi. Punktem wyjścia dla tego opisu nauki w starożytnych Chinach jest V wiek p.n.e., który pokrywa się z początkiem okresu znanego jako Walczące Państwa (481–221 p.n.e.). Z wielu powodów ten wiek oznacza ważny okres przejściowy w starożytnej cywilizacji chińskiej. W V wieku p.n.e. rywalizacja o władzę polityczną między władcami państw w regionie wyznaczonym przez Żółtą Rzekę na północy i Jangcy na południu, z państwem Qin na zachodnim krańcu i Qi na północno-wschodnim wybrzeżu, stymulowała spekulacje w wielu obszarach. W IV wieku p.n.e. rozkwitła kultura rękopisów, a teksty pisane stały się jednym ze standardów definiowania zasobu wiedzy w społeczeństwie, w którym wysoko ceniono umiejętność pisania i tworzenia rękopisów. W 221 roku p.n.e. Qin podbił inne państwa, aby ustanowić swoje imperium, zastąpione w 206 roku p.n.e. przez dynastię Han (206 p.n.e.–220 n.e.). W II wieku n.e. ustalono główne cechy form wiedzy związanej z nauką, a światopogląd oparty na myśleniu korelatywnym został powszechnie zaakceptowany. Podobnie jak w przypadku badań nad nauką w innych starożytnych cywilizacjach, musimy dostosować nasz pogląd na naukę jako nowoczesną formę wiedzy teoretycznej i stosowanej, aby dostosować ją do kultury i społeczeństwa starożytnych Chin. Wróżbiarstwo, które obejmuje astrologię, stało za rozwojem systematycznych schematów wyjaśniających wzorce w naturze. Dokładna obserwacja ruchów Słońca, Księżyca, gwiazd i planet, a także innych zjawisk zachodzących w przestrzeni między niebem a ziemią, nie doprowadziła do podziału między astrologią opartą na wróżbiarstwie a tym, co nazwalibyśmy astronomią. W medycynie innowacje w stosowaniu leków w dużej mierze zawdzięczały idei, że leki oczyszczają szkodliwe czynniki wywołujące choroby, w tym demony. Oczywiście byli ludzie, którzy wyrażali poglądy na temat rozróżnienia między światem ludzkim, naturą i światem duchowym. Xunzi i Hanfeizi w III wieku p.n.e. nalegali na prymat świata ludzkiego i krytykowali idee, które myliły granice. Lekarze, którzy opracowali Wewnętrzny klasyk Żółtego Cesarza (Huangdi neijing), datowany mniej więcej na I wiek p.n.e., stanowczo opowiadali się za „naturalnymi” medycznymi koncepcjami choroby, odrzucając jednocześnie demony i magiczne lub religijne idee. Niemniej jednak ich argument był konieczny częściowo dlatego, że korelatywne myśli, które przyjęli, były wykorzystywane przez innych do uzasadniania okultystycznych poglądów.

### **Niektóre postacie historyczne i kształtowanie się wiedzy naukowej**

Pomysły i działania zaczynają się od ludzi. Przydatne jest przejrzanie skąpych informacji o specjalistach, którzy zastosowali swoją wiedzę o naturze, aby służyć ludzkim potrzebom, i o tym, w jaki sposób ich wiedza była przekazywana. Nie przypisuję żadnej historycznej roli mężczyznom opisanym poniżej w rozwoju poszczególnych idei. Raczej widzę ich jako przedstawicieli procesu kształtowania się wiedzy w starożytnej chińskiej nauce, który przebiegał równoległe z rozwojem filozofii politycznej i moralnej. Historiografia dynastii Han przedstawiała Zi Wei z państwa Song jako jednego ze specjalistów z V wieku p.n.e. w „obliczeniach nieba” i przypisywano mu książkę zatytułowaną *Star Director Zi Wei of Song* (*Song Sixing Zi Wei*). Źródła *Walczących Królestw* potwierdzają, że Zi Wei był astrologiem na dworze Song, który przewidział złowrogie pojawienie się Marsa w konstelacji Xin (Serce) w 480 r. p.n.e.; przypisywana mu książka nie przetrwała dynastii Han. W czasach dynastii Han najśłynniejszymi astrologami *Walczących Królestw* byli Shi Shen z Wei i Gan De z Qi (alternatywnie Chu). Podobno opracowali katalogi gwiazd w IV wieku p.n.e., w których zapisywali obserwacje niebieskie z pomiarami wzdłuż równika niebieskiego. Ich prace zaginęły, ale fragmenty przetrwały w średniowiecznych źródłach chińskich. Współczesna analiza danych dotyczących gwiazd wskazuje, że obserwacja prawdopodobnie miała miejsce w I wieku p.n.e., ale inne dowody potwierdzają, że byli aktywni w IV wieku p.n.e. Dla lekarzy Kronika Zuo (*Zuo zhuan*; najprawdopodobniej napisana w IV wieku p.n.e.) zawierała wydarzenie datowane na VI wiek p.n.e., kiedy to Lekarz He zdiagnozował u władcy Jin chorobę spowodowaną nadmiarem seksualnym. Jego diagnoza obejmowała teoretyczną dyskusję na temat „sześciu qi” w niebie, które odpowiadały za smak, kolor, dźwięk i chorobę. Pierwsze dwa qi to yin i yang we wczesnym znaczeniu „cienia” (yin) i „światła słonecznego” (yang). Dyskusja lekarza He jest często cytowana jako najwcześniejszy przykład dyskursu kosmologicznego, w którym występują terminy qi i yin yang. Inny lekarz, Wen Zhi, zastąpił z wyleczenia króla Min z Qi na początku III wieku p.n.e. kosztem własnego życia. Wyleczenie choroby poprzez wywołanie wybuchu gniewu u króla Min było jedynym sposobem leczenia, a władca nie wybaczył obraźliwego zachowania lekarza. Nowe dowody na istnienie Wen Zhi ujrzaly światło dzienne w rękopisach medycznych z III–II wieku p.n.e. odkrytych w grobowcu Mawangdui 3, Hunan, w 1973 r. Tekst zawiera dziesięć nauk na temat higieny makrobiotycznej (w tym kultywowanie oddechu, ćwiczenia, dietetyka i techniki seksualne). Dziewiąty opisuje Wen Zhi pod koniec IV wieku p.n.e. instruującego króla Wei z Qi o śnie jako kluczu do dobrego samopoczucia fizycznego i długiego życia. Ponadto Wen Zhi mówi władcy, że jego wiedza medyczna wypełnia trzysta zwojów rękopisów. Poza naukami rękopisu Mawangdui, żadne z pism Wen Zhi nie zostało przekazane. Rola tekstów pisanych była kluczowa w przekazywaniu wiedzy naukowej od specjalistów do uczniów i w rozprzestrzenianiu idei do szerszego grona czytelników wśród elity. Mamy szczęście, że mamy szczegółowy opis z II wieku p.n.e. lekarza Chunyu Yi na temat jego własnego szkolenia medycznego, w tym otrzymywania tekstów, co wydaje się być zgodne z życiem. Według Chunyu Yi jego ojciec nie był lekarzem. Młody Chunyu uwielbiał przepisy medyczne i otrzymywał teksty od swojego pierwszego nauczyciela, Gongsun Guanga. Jednym z tekstów, które przekazał Chunyu, były „przepisy na transformacje yin yang”, które Chunyu skopiował i zwrócił, obiecując, że „nie ośmieli się lekkomyślnie przekazać ich innym”. Kiedy Chunyu został przyjęty na ucznia przez Yang Qinga, Yang Qing postanowił przekazać swoją wiedzę medyczną Chunyu, a nie swoim synom. Teksty, które otrzymał Chunyu, obejmowały „księgi naczyń Żółtego Cesarza i Bian Que” (mai „naczynia” to fizjologiczna struktura w ciele zawierająca krew i qi; Bian Que był legendarnym lekarzem). Po trzyletnim okresie szkolenia Chunyu w końcu rozpoczął samodzielną praktykę medyczną: „Leczyłem innych ludzi — badałem dolegliwości, osądzałem śmierć i życie i uzyskiwałem naprawdę doskonale wyniki”. Biografia Chunyu zawiera inne szczegóły jego medycznych idei i praktyki, które przypominają medycynę z około I wieku p.n.e. Wewnętrzny Klasyczny Żółtego Cesarza, z ważnymi różnicami. Obecnie rękopisy medyczne z grobu nr 3 w Awangdui oraz para współczesnych rękopisów medycznych z grobu nr 247 w Zhangjiashan w Hubei stanowią dodatkowe dowody na istnienie idei i praktyk medycznych w okresie III i II wieku p.n.e. Na koniec zostawiam postać Zou Yana z III wieku p.n.e. Zou Yan zasługuje na

szczególną uwagę, ponieważ w niektórych współczesnych badaniach został scharakteryzowany jako założyciel chińskiej myśli naukowej, co, jeśli jest dokładne, sugeruje rolę Zou Yana podobną do roli, jaką odegrał filozof, taki jak Arystoteles, w historii starożytnej greckiej nauki. Jednak pozycja Zou Yana jako filozofa w III wieku p.n.e. pozostaje nieudowodniona. Jego istnienie jest praktycznie niezauważone we współczesnych źródłach historycznych; wspominał o nim tylko Hanfeizi, potępiając Zou Yana za szerzenie fałszywej wiary w wróżbiarstwo i astrologię. To nie jest Zou Yan opisany w historiografii Han, gdzie Zou Yan jest opisany jako wpływowa postać intelektualna w Qi ok. 250 p.n.e.; i przypisuje mu się wykorzystanie teorii yin yang i pięciu agentów do spekulacji indukcyjnych na temat zjawisk w naturze, w tym kosmologii i cykli zmian politycznych w oparciu o pięciu agentów. Historyczność Zou Yana i jego obecność w Qi nie budzą wątpliwości. Pomimo potępienia Hanfeiziego, możliwe jest nawet, że jego działania stanowiły punkt zwrotny w akceptacji idei kosmologicznych w głównym nurcie filozoficznym i politycznym. W III wieku p.n.e. klimat intelektualny ulegał zmianie, ponieważ idee oparte na qi, yin yang i pięciu agentach były coraz częściej stosowane do istot ludzkich i instytucji ludzkich, a ludzkie działania były modelowane na wzorcach w naturze w relacji mikrokosmosu i makrokosmosu. Filozofia, zwłaszcza filozofia polityczna, zmierzała w kierunku kosmologii, a idee związane z naturą nie były już wiedzą głównie astrologów, wróżbitów i lekarzy. Niemniej jednak za życia Zou Yan prawdopodobnie bardziej kojarzył się z astrologami i kalendarzystami niż z filozofami.

### **Kosmogonia**

Pochodzenie kosmosu, twórcze działania, które doprowadziły do jego powstania, jego materialne i niematerialne składniki, czy jego pierwotne stworzenie mogło zostać powtórzone, a także spekulatywne wykorzystanie kosmogonii do poznania natury, a także świata ludzi i duchów, są widoczne w starożytnych chińskich tekstach. Kosmogoniczne relacje lub intrygujące fragmenty relacji występują w przekazywanych źródłach, do których możemy teraz dodać nowe relacje ze starożytnych rękopisów. Aby mieć punkt odniesienia dla różnorodności dowodów, zaczniemy od drugiego wieku i eseju „Boski Model” („Lingxian”) autorstwa Zhang Henga. Zhang Heng był literatem-intelektualistą wykształconym w ortodoksyjnej klasycy, a jednocześnie biegły w sztukach technicznych, które obejmowały astrologię i kalendarz. Kilkakrotnie piastował stanowisko astrologa dworskiego. „Boski Model” Zhang Henga to podsumowanie współczesnej wiedzy o kosmosie, w tym nowo dominującej teorii „sferycznego nieba” Hunta, zgodnie z którą kosmos składał się z dwóch głównych części: niebo było obracającą się sferą, a arth znajdował się wewnątrz sfery, jej płaska powierzchnia była ustalona w dolnym środku. Gdy sfera nieba się obracała, różne ciała niebieskie znajdujące się na niej przelatywały nad ziemią (ruch gwiazd, jakby były ustalone na sferze, był odróżniany od ruchu Słońca, Księżyca i planet). Oto fragment kosmogonii Zhang Henga z „Boskiego Modelu”: Przed wielką czystością — w głębokiej jasności i ciemnej ciszy, w odizolowanej pustce i niejasnej ciszy — nie było ono zdolne do stworzenia swojego obrazu. Jego wnętrze było pustką, jego zewnątrz było nicością. Trwając w ten sposób przez długi czas, była to oceaniczna bezgraniczność. Niewątpliwie więc było to korzeniem Drogi. Korzeń Drogi był już ustanowiony, a z nicości powstało bycie. Najpierw wykiełkowała wielka czystość, a jej kiełkowanie jeszcze się nie objawiło. Dopasowane qi miało identyczny kolor, chaos nie był oddzielony. Tak więc Traktat o Drodze [Klasyka Drogi i Cnoty Laozi] mówi: „Istnieje rzecz stworzona chaotycznie. Została stworzona przed niebem i ziemią”. Jej qi i ciało były absolutnie niezdolne do stania się formą, jej ruch był absolutnie niezdolny do zmierzenia. Kontynuując to przez długi czas, była to gigantyczna ogromność. Niewątpliwie był to pień Drogi. Pień został już wytworzony i była rzecz, która stała się kompletnym ciałem. Następnie pierwotne qi się rozdzieliło. Sztywne i giętkie najpierw oddzielone, czyste i zamglone zajmowały różne pozycje. Niebo zostało uformowane na zewnątrz, ziemia została ustalona wewnątrz. Niebo uosabia yang, dlatego jest okrągłe i porusza się. Ziemia uosabia yin, dlatego jest równa i nieruchoma. Ruch jest tym, jak ustanawia i obdarza, bezruch jest tym, jak się łączy i przekształca. Esencja była gromadzona, gromadzona i łączona razem, a w tworzeniu

wszelkiego rodzaju istniała aktualność. To był szczyt nieba. Bez wątpienia był to owoc Drogi. Kluczowe przejście w kosmogonii „Boskiego Modelu” następuje od wu „nicości” do ciebie „bytu” w zdaniu „z nicości byt został wygenerowany”. Wu i ty byliście kontrastującą parą w starożytnych chińskich ideach dotyczących materialnych warunków istnienia. Ty odnosiłeś się do „bytu” w znaczeniu „istnienia, czegoś istniejącego”, a wu „nieistnienia, nicości” było negatywną formą ciebie. Wu nie było rozumiane jako abstrakcyjne pojęcie czystej negacji, ale raczej jako niezbędne uzupełnienie istnienia, stąd idea, że negacja ciebie poprzedzała cię w czasie i była tym, co cię wygenerowało, jest wspólna dla wielu chińskich opowieści kosmogonicznych. Dokładny moment, w którym qi było obecne w procesie kosmogonicznym, nie jest jasny w „Boskim Modelu”. Słowo to zostało po raz pierwszy wspomniane na etapie „wielkiej czystości”, gdy qi było niezróżnicowane w stanie chaosu („chaos” tłumaczy się jako hundun, otaczające zamknięcie z potencjałem bycia pojemnikiem dla kosmosu, ale którego wnętrze jest niepoznawalne). Następnie istnieje wybitna rola w tworzeniu dla „pierwotnego qi”, które rozdzieliło się, aby wytworzyć niebo yang na zewnątrz zgodnie z teorią „sferycznego nieba” i wytworzyć ziemię yin wewnątrz kuli. Dwa kolejne aspekty kosmogonii Zhang Henga są godne uwagi. Po pierwsze, „Boski Model” cytuje Klasykę Walczących Królestw Drogi i Cnoty jako dowód stanu chaosu, który poprzedzał powstanie nieba i ziemi. Słowo Droga (Dao) pojawia się w kosmogonicznych relacjach w rękopisach Walczących Królestw omówionych poniżej. Jednakże rękopisy nie są dłużne koncepcji Drogi w Klasyce Drogi i Cnoty, a jej znaczenie jako źródła kosmogonicznych idei w okresie Walczących Królestw pozostaje niejasne. W czasach dynastii Han Droga była rozumiana jako kosmiczna Droga zgodnie z nowymi osiągnięciami w myśleniu korelatywnym. Na przykład w „Boskim Modelu” kosmogonia jest przedstawiona jako rozwój Drogi w trzech etapach: korzeń Drogi, pień Drogi i owoc Drogi. Obecnie mamy kilka kosmogonicznych opisów Walczących Królestw w nowo odkrytych manuskryptach i jeden opis w manuskrypcie dynastii Han, który można lepiej opisać jako kosmologiczny. Każdy opis odzwierciedla inne intelektualne obawy; a razem świadczą o spekulacjach sprzed konsolidacji korelatywnej myśli w pierwszym i drugim wieku n.e. Przedstawiam szczegóły dwóch opisów Walczących Królestw. Pierwszy z nich znajduje się w manuskrypcie złożonym z czternastu oprawionych bambusowych listków wydobytych z grobowca Guodian I Hubei w 1993 r. Przybliżona data pochówku 300 r. p.n.e. opiera się na porównaniu z innymi grobowcami w regionie. Tytuł przypisany manuskryptowi pochodzi z pierwszego zdania pierwszego listka: Grand One Generated Water (Taiyi sheng shui). Grand One Generated Water jest znaczący przede wszystkim jako najstarszy chiński przykład kosmogonii wody. Współczesne badania tekstu są podzielone w kwestii Taiyi (Wielkiej Jedności). Istnieją dowody z IV wieku p.n.e., że Grand One jest nazwą najwyższego bóstwa w religii Walczących Królestw i istnieje dobry powód, aby czytać Grand One Generated Water jako kosmogonię religijną, w której Grand One zainicjowało stworzenie. Niemniej jednak nie powinniśmy pomijać dwóch możliwości: że w czasie, gdy Grand One Generated Water zostało skomponowane, imię najwyższego bóstwa zostało zastosowane w nowym znaczeniu, aby opisać proces naturalistyczny, a nie stworzenie kosmosu przez bóstwo; lub że taiyi („wielki jeden”) było już akceptowanym terminem na naturalistyczną pierwszą zasadę, a kosmogonia nie była związana z ideami religijnymi. Kosmogonia w Grand One Generated Water przebiega etapami, w których poprzedni etap generuje następny etap. Po wygenerowaniu Grand One woda ponownie połączyła się z Grand One, aby wygenerować niebo, a następnie niebo ponownie połączyło się z Grand One, aby wygenerować ziemię. Gdy niebo i ziemia istniały jako pierwsza para, kolejne etapy stworzenia to: niebo i ziemia wygenerowały shenming „oświecenie duchowe”; oświecenie duchowe wygenerowało yin yang; yin yang wygenerowało cztery pory roku; cztery pory roku wygenerowały zimno i gorąco; zimno i gorąco wygenerowały mokro i sucho; mokro i sucho wygenerowały rok. Istnieje kilka charakterystycznych cech kosmogonii Wielkiej Jednej. Po pierwsze, niebo i ziemia wyłaniają się z początkowej interakcji Wielkiej Jednej i wody bez etapów ciemności i chaosu, które charakteryzują kosmogonię Zhang Henga. Następnie, yin i yang są etapem stworzenia, ale nie definiują nieba i ziemi.

W tym punkcie istnieje ważny dowód później w tekście, gdzie znajduje się inna definicja nieba i ziemi: „Na dole jest gleba i nazywa się ją ziemią; na górze jest qi i nazywa się ją niebem”. Zamiast utożsamiać ziemię z yin i zamglonym qi, a niebo z yang i czystym qi — a następnie spekulować na temat etapu, na którym różnica w qi spowodowała ich rozdzielenie — qi jest materiałem, który składa się z nieba, podczas gdy gleba jest innym materiałem, który składa się z ziemi. Szukając bardziej ogólnie idei yin yang i pięciu agentów w rękopisie, nie znajdujemy ich (ani woda, ani gleba nie są traktowane jako należące do pięciu agentów). W kosmogonicznym ujęciu woda pojawiła się najpierw w procesie kreacji zainicjowanym przez Wielkiego Jedynego; yin yang są generowane przez duchowe oświecenie i z kolei generują cztery pory roku. Później w tekście qi nieba i gleba Ziemi nie są powiązane z yin yang. Innym kosmogonicznym zapisem jest manuskrypt złożony z trzynastu bambusowych listków, który obecnie znajduje się w zbiorach Muzeum Szanghajskiego. Tytuł Everness Preceding (Hengxian) jest napisany na odwrocie trzeciego listka i byłby widoczny, gdy rękopis został zwinięty. Everness Preceding był jednym z wielu manuskryptów na bambusowych listkach, które pojawiły się na rynku antyków w Hongkongu w 1994 roku. Ponad 1500 listków lub fragmentów listków, w większości wciąż zabrudzonych błotem i wodą z miejsca, w którym zostały wykopane, zostało nabytych przez Muzeum Szanghajskie. Muzeum Szanghajskie zakończyło konserwację listków w 1997 roku. Ich pochodzenie pozostaje niejasne (mogły zostać zabrane z grobowca w prowincji Hubei podobnego do grobowca Guodian I), ale testy przeprowadzone na próbkach bambusa i cechy manuskryptów potwierdzają ich autentyczność jako późnych artefaktów Walczących Królestw. Podobnie jak Grand One Generated Water, Everness Preceding można przypisać przybliżoną datę 300 r. p.n.e. Porównując Everness Preceding do Grand One Generated Water, pierwszą rzeczą, na którą należy zwrócić uwagę w jego kosmogonicznym opisie, jest stwierdzenie, że „zamglone qi wytworzyło ziemię, a czyste qi wytworzyło niebo”. Yin yang nie występuje w manuskrypcie, ale Everness Preceding jest obecnie pierwszym kosmogonicznym opisem formowania się ziemi i nieba z zamglonego i czystego qi. Inne podobieństwa do później przekazanych źródeł obejmują: nicłość poprzedzała byt; qi było obecne przed pojawieniem się ziemi i nieba; a warunki ciszy, pustki i półmroku poprzedzały pojawienie się ziemi i nieba. Everness Preceding nie odnosi się do yin yang i pięciu idei agentów, ani nie ma dowodów na to, że Droga nawiązuje do Klasyki Drogi i Cnoty. Stworzony kosmos jest określany raz jako tiandao „droga nieba” (termin ten jest również używany w późniejszej części tekstu Grand One Generated Water), a „niebo” występuje raz w podobnym znaczeniu. Przeważnie tekst odnosi się do świata po stworzeniu jako tianxia, dosłownie „pod niebem”, co było standardowym terminem dla świata, w tym ludzkości, w filozoficznym i politycznym dyskursie Walczących Państw. Pomiędzy dwoma kosmogonicznymi opisami Walczących Państw, Everness Preceding składa mocniejsze oświadczenie o politycznym znaczeniu kosmogonii i kosmologii i jest mniej związany z kalendarzem niż Grand One Generated Water. Wspólnym elementem obu kosmogonii jest formowanie kosmosu dla dobra zamieszkującej go cywilizacji ludzkiej. Manuskrypt Han z kosmologicznym opisem został odkryty w 1998 roku w grobowcu Kongjiapo 8 w Hubei i datuje się na drugą połowę II wieku p.n.e. Treść rękopisu jest hemerologiczna i odnosi się do innych przykładów rękopisów starożytnej chińskiej hemerologii (odnoszących się do różnych systemów określania korzystnych lub niekorzystnych czasów i miejsc do angażowania się w działania w ciągu roku kalendarzowego). Sekcja zatytułowana „Rok” („Sui”) znajduje się na końcu rękopisu. Wśród rękopisów zapisów kosmogonii i kosmologii „Rok” jest wyjątkowy, ponieważ nadaje znaczenie pięciu agentom i stosuje kosmologię opartą na pięciu agentach do hemerologii i kalendarza. „Rok” nie dotyczy stworzenia, ale przywrócenia porządku kosmicznego po zniszczeniu pierwotnego porządku. Zaczynając od drewna na wschodzie, każdy agent jest instalowany we właściwym kierunku ze swoim właściwym symbolicznym kolorem. Gdy pięciu agentów przywróci kosmos, funkcja kosmosu dla ludzkości zostaje zrealizowana: W związku z tym nazwano to regulacją, aby ustalić cztery kierunki i zharmonizować yin yang. Wówczas żeńskie i męskie były zgodne. Następnie słońce zostało dopasowane do księżyca, a księżyc do roku, z których każdy ma dwanaście okresów czasowych. Chociaż „Rok” dotyczy kosmologii



z perspektywy hemerologii, możemy odczytać jego nacisk na pięć agentów jako alternatywę dla priorytetu przyznanego yin yang w późniejszej kosmogonii i kosmologii dynastii Han. Ponadto opis ten obejmuje związki między kosmogonią, kosmologią, kalendarzem i uporządkowanym światem ludzkości przed dojrzałym etapem myślenia korelatywnego kilka wieków później.

### **Obserwacja i struktura nieba przed dynastią Han**

Pomysł na kosmologię i kalendarz wyrosły z obserwacji ruchów ciał niebieskich i wykorzystania obserwacji do tworzenia modeli, które z kolei były stosowane do zjawisk w ogólności. Podstawowe cechy astrologii opartej na obserwacji są częścią zrozumienia tła myśli korelatywnej dynastii Han. Artefakty i rękopisy Walczących Królestw, Qin i Han dostarczyły licznych danych potwierdzających charakterystykę astronomii chińskiej Josepha Needhama jako „biegunowej i równikowej” oraz „arytmetyczno-algebraicznej”: biegunowej i równikowej, ponieważ niebo było zorganizowane wokół Gwiazdy Polarnej, która promieniowała na zewnątrz do pierścienia dwudziestu ośmiu konstelacji xiu „gwiazdno-łoża” położonych w pobliżu równika niebieskiego (droga Słońca została odnotowana, ale nie był to centralny fakt informujący o schematach przestrzennych i czasowych przed dynastią Han); arytmetyczno-algebraiczne, ponieważ głównym celem obserwacji było wykrywanie regularności niebieskich i wyrażanie ich w kategoriach numerycznych kalendarza. Podstawowa koncepcja struktury nieba poprzedza okres Walczących Królestw. W okresie Walczących Królestw astrologowie i specjaliści od kalendarza nadali tej koncepcji specyfikę za pomocą precyzyjnych obserwacji i teoretycznego opracowania. Ich wyjaśnienia dotyczące makrokosmicznego działania nieba i ziemi prawdopodobnie najbardziej przyczyniły się do ukształtowania idei, że wszystkie zjawiska i działalność człowieka są powiązane w mikrokosmicznej synchronizacji; to znaczy, że ich rola w kształtowaniu korelatywnej myśli była pionierska. Forma i funkcja nieba jako obracającego się dysku położonego nad ziemią uwidoczniły się w ruchu konstelacji Beidou (Północny Wóz; odpowiadający gwiazdom Wielkiego Wozu w Wielkiej Niedźwiedzicy) w regionie bieguna północnego i dwudziestu ośmiu gwiazdnych łożach. Misa Wozu była połączona z drążkiem, a uchwyt wskazywał jak wskazówka zegara na pozycje na pierścieniu określone przez gwiazdne łoże. Najstarszym przykładem tej idei i najstarszym potwierdzeniem nazw wszystkich dwudziestu ośmiu gwiazdnych łoż jest wzór na pokrywie lakierowanej walizki na ubrania z grobowca Lorda Yi z Zeng w Suixian, Hubei, datowany na drugą połowę V wieku p.n.e. Pierścień gwiazdnych łoż został rozmieszczony w czterech pałacach (północ, wschód, południe, zachód) po siedem gwiazdnych łoż w każdym i powiązanych z przewodniczącymi duchami: lakierowana pokrywa walizki na ubrania przedstawia smoka (wschód) i tygrysa (zachód). Na pokrywie znajduje się zapis daty przy gwiazdnej łożu Kang (Gullet): jiyin trzeciego dnia. Jia pochodzi z sekwencji dziesięciu tiangan „niebiańskich temów”, a yin z sekwencji dwunastu dizhi „ziemskich gałęzi”. W połączeniu dziesięć today i dwanaście gałęzi tworzyło cykl sześćdziesięciu binomów, które były używane do liczenia dni w cyklu sześćdziesięcioletnim (binom sześćdziesięcioletni był dodatkiem do liczbowego zliczania dni w każdym miesiącu księżycowym). Gałęzie były również używane do wyznaczania podziału równika niebieskiego na dwanaście równych stacji związanych ze Słońcem. Zaczynając od pierwszej gałęzi zi, która oznaczała północ i przesilenie zimowe (umieszczone na dole okręgu), gałęzie były ponumerowane zgodnie z ruchem wskazówek zegara, przechodząc od północy na wschód (równonoc wiosna w mao), południe (przesilenie letnie w wu) i zachód (równonoc jesień w you). Dwanaście gałęzi przypisanych do stacji wyznaczało również zgodną z ruchem wskazówek zegara sekwencję miesięcy. Ta sekwencja była odwrotnością ścieżki Słońca przez stacje, która jest przeciwna do ruchu wskazówek zegara. Oznaczenie daty na pokrywie świadczy o związku między dwudziestoma ośmioma gwiazdnymi łożami a dwunastoma stacjami, a także o wczesnym użyciu uchwytu Wozu do oznaczania zgodnej z ruchem wskazówek zegara sekwencji dwunastu miesięcy. Obserwowany regularnie o zmierzchu, uchwyt obracał się zgodnie z ruchem wskazówek zegara przez jedną dwunastą pierścienia stacji zgodnie z gałęziami i miesiącami kalendarza. Wśród różnych kalendarzy Walczących Królestw niektóre ustawiały

pierwszy miesiąc roku cywilnego na zi, co odpowiadało początkowi roku tropikalnego z zimowym przesileniem; inne ustawiały pierwszy miesiąc roku cywilnego na yin, aby zbiegał się z początkiem wiosny. Stała korelacja między gałęziami stacji a gwiazdnymi łożami umieściła Kang (Gullet) w stacji oznaczonej jako chen. W zależności od używanego kalendarza, sześćdziesięcioletni dzień cyklu „jiayin trzeciego dnia” zapisany przez Kanga (Gullet) na pokrywie oznaczał trzeci dzień piątego miesiąca (jeśli pierwszy miesiąc był zi) lub trzeci miesiąc (jeśli pierwszy miesiąc był yin) danego roku. Zdarza się, że jiayin przypadał jako trzeci dzień piątego miesiąca (lub trzeciego miesiąca) w 433 r. p.n.e., tym samym roku, który został poświęcony na dzwonie z inskrypcją w grobowcu. Niektórzy uczeni twierdzą, że data na dzwonie nie powinna być traktowana jako dowód daty śmierci i pochówku Lorda Yi, która mogła nastąpić nieco później; a 402 r. p.n.e. to kolejny rok, w którym sześćdziesięcioletni binome jiayin ponownie przypadał jako trzeci dzień odpowiedniego miesiąca. Dekoracyjna i informacyjna jednocześnie, lakierowana pokrywka clothes-ase służy jako punkt odniesienia z V wieku p.n.e. dla standardowej reprezentacji struktury kosmicznej w formie „dwóch sznurów” i „czterech haków” zamkniętych w okręgu (odniesienie do sznurów i haków pojawia się po raz pierwszy w tekstach z II wieku p.n.e.). Sznury to krzyż utworzony z linii od zi (północ) do wu (południe) i od mao (wschód) do you (zachód). Haki rozciągają się na rogach na obwodzie okręgu zdefiniowanym przez centralny krzyż: chou i yin po obu stronach w północno-wschodnim narożniku, chen i si w południowo-wschodnim narożniku, wei i shen w południowo-zachodnim narożniku, xu i hai w północno-zachodnim narożniku. Projekt sznura-haka reprezentował podstawową strukturę utrzymującą kosmos razem i zapewniającą ramy dla zachodzących procesów kosmicznych. Końce sznurów i haków, które przecinają obwód okręgu, były ponumerowane dwanaście, co odpowiada dwunastu gałęziom

### **Kosmologia, astrologia i kalendarz dynastii Han**

Jak wiedzą wszyscy, którzy obserwują niebo, niebo i kalendarz nie są na zawsze stałe. Odkryte do tej pory materiały archeologiczne wyróżniają się tym, że przedstawiają schematyczny model nieba wyprowadzony z obliczeń astrologicznych i kalendarzowych kosztem precyzji obserwacyjnej. Źródła historyczne okresu dynastii Han są szczególnie cenne jako dowód trwałego dążenia do precyzji obserwacyjnej i spekulacji kosmologicznych, co ma odpowiedni wpływ na kalendarz. Chociaż centrum aktywności często znajdowało się wśród urzędników na dworze dynastii Han, warto zauważyć, że dwór nie zmonopolizował przepływu wiedzy i odkryć. Reforma kalendarza zarządzana przez cesarza Wu w 104 r. p.n.e. i pojawienie się teorii „sferycznego nieba” He Hunta gdzieś między I wiekiem p.n.e. a I wiekiem n.e. są interesujące zarówno ze względu na przedstawione idee, jak i osoby w nie zaangażowane. Reforma kalendarza zarządzana przez cesarza Wu miała na celu stworzenie nowego kalendarza, który zainaugurowałby nowy początek pierwszego dnia pierwszego roku nowej ery panowania zwanej Wielką Incepcją (taichu). Sima Qian — który skompilował pierwszą kompleksową historię, *Scribe's Records (Shiji)* — był nadwornym skrybą/astrologiem i członkiem grupy, której zlecono stworzenie nowego kalendarza. Urzędnicy dworscy dokonywali pomiarów dwudziestu ośmiu łoż gwiazdnych za pomocą gnomonów i zegarów wodnych, aby zmierzyć czas przejścia gwiazdy determinującej łożę przez linię widzenia ustaloną przez gnomon. Pozwoliło im to obliczyć rozciąganie stopniowe każdej łoży w odniesieniu do obrotu nieba. Następnie obliczali fazy Księżyca, aby poprawić kolejność miesięcy księżycowych i określić roczny cykl słoneczny przesileni i równonocy. Jednak urzędnicy dworscy napotkali trudności w swoich obliczeniach i poprosili o pomoc. Na dwór sprowadzono ponad dwudziestu dodatkowych mężczyzn, w tym „specjalistów od kalendarzy spośród ludu”. Kiedy kalendarz został ukończony, główną zasługę za tę pracę przypisano dwóm osobom z zewnątrz: Tang Du, zidentyfikowanemu jedynie jako fangshi „dżentelmen od przepisów” (nazwa ta zwykle odnosiła się do specjalisty w metodach okultystycznych), który zmierzył łoża gwiazdne; oraz Luoxia Hong z Ba Commandery na południowym zachodzie (obecnie Syczuan), który dokonał arytmetycznych obliczeń cykli kalendarzowych. Prawdopodobnie istniały skupiska specjalistów w

całym królestwie Han, którzy lokalnie angażowali się w działania, o których jesteśmy słabo poinformowani z powodu dworskiego nastawienia naszych źródeł. Żywotność lokalnej wymiany idei jest widoczna w niektórych nowo odkrytych rękopisach. Podczas gdy kosmologia, astrologia i kalendarz coraz bardziej służyły politycznym i ideologicznym celom dworu Han, a dwór był ważnym ośrodkiem wymiany idei, środowisko społeczne specjalistów nie zostało podporządkowane środowisku dworu ani dwór nie kontrolował rozwoju wiedzy. Prawdopodobnie wiedza i działania Tang Du wykraczały poza jego wiedzę z zakresu astrologii i kalendarza, obejmując inne umiejętności, które przyniosły mu miano dżentelmena od przepisów kulinarnych w jego regionie. Idea huntiańskiego „sferycznego nieba” zastąpiła starszy pogląd na niebo jako gai „parasol” umieszczony nad ziemią w czasie, gdy Zhang Heng skomponował „Boski Model” w II wieku n.e. Pojęcie nieba jako okrągłego parasola trzymanego przez centralny drążek nad kwadratowym podwoziem wozu ziemi zostało poświadczane nie później niż w III wieku p.n.e. Jako idea kosmologiczna parasol był dyskiem, na którym umieszczono gwiazdy, Słońce, Księżyc i planety w pewnej odległości od kwadratowej ziemi. Widoczny ruch gwiazd nad głową był dyskiem nieba obracającym się zgodnie z ruchem wskazówek zegara wokół bieguna, osi kosmicznej znajdującej się w pobliżu Gwiazdy Polarnej; Słońce, Księżyc i planety miały podążać ścieżką przeciwną do ruchu wskazówek zegara na dysku. Podobieństwo do modelu sznura i haka opartego na Wozie i gwiazdnych łożach jest oczywiste. W modelu parasolowym brakuje jasnej koncepcji ekliptyki, ścieżki Słońca przez niebo, która nie jest jednoznacznie poświadczona w chińskich źródłach wcześniejszych niż I wiek n.e. Świadomość znaczenia ścieżki Słońca wzdłuż ekliptyki dla dokładniejszego pomiaru roku słonecznego zbiegła się z dodatkowymi dowodami nowego sferycznego modelu nieba. Jednym z najważniejszych dokumentów dotyczących wczesnej historii idei sferycznego nieba, stosowania ekliptyki i stosowania instrumentu pierścienia armilarnego do obserwacji pozycji wzdłuż ekliptyki (zamiast starszej metody gnomonu i zegara wodnego) jest dyskurs przedstawiony dworowi Han w 92 r. n.e. przez Jia Kui. Przedmiotem sporu było ciągłe niezadowolenie z niedokładności kalendarzowych sięgających kalendarza Wielkiego Zapoczątkowania z 104 r. p.n.e. Jia Kui zauważył, że obecne obliczenia skrybów/astrologów dworskich były niedokładne, ponieważ ich pomiary Słońca i Księżyca opierały się na „czerwonej drodze” (równik niebieski), podczas gdy dokładne pomiary oparte na „żółtej drodze” (ekliptyka) były już uzyskiwane przez człowieka o imieniu Fu An i innych. Nie wiemy nic o Fu An poza wzmianką Jia Kui o nim, ale wyraźnie nie był on jednym z dworskich skrybów/astrologów, których Jia Kui krytykował za to, że nie przyjęli idei ekliptyki, która już przyniosła weryfikowalne wyniki. W 103 r. n.e. dwór w końcu nakazał wyprodukowanie „brązowego instrumentu ekliptycznego” — instrumentu pierścienia armilarnego — do celów obserwacyjnych, ale dworscy skrybowie/astrologowie niewiele z niego korzystali. Sytuacja na dworze poprawiła się, gdy Zhang Heng objął stanowisko skryby/astrologa za cesarza An (107–125) i cesarza Shun (126–144). Pisma Zhang Henga zawierały szczegółowe opisy sferycznego nieba i instrumentów pierścienia armilarnego. W 92 r. n.e. Jia Kui pisał z perspektywy kogoś, kto znał i akceptował ideę sferycznego nieba i był zaznajomiony z instrumentami pierścienia armilarnego. W swoim wykładzie wspominał, że Geng Shouchang, minister rolnictwa cesarza Xuana (74–49 p.n.e.), użył „instrumentu diagramowego” w 52 r. p.n.e. do dokonywania pomiarów, które nadal opierały się na równiku niebieskim, a nie ekliptyce. Ten instrument mógł być tak prosty, jak dysk przedstawiający płaszczyznę równika niebieskiego, wyposażony w coś ułatwiającego obserwację. Gdyby był bardziej rozbudowany, mógłby być wczesną formą instrumentu pierścienia armilarnego z jednym pierścieniem dla równika niebieskiego. Główną różnicą między instrumentami tego typu a starszym gnomonem było to, że pierwszy mógł być używany do pomiaru kątów i odległości między ciałami niebieskimi w przestrzeni trójwymiarowej, podczas gdy gnomon był używany do obserwacji tranzytów ciał niebieskich nad głową i do wykonywania pomiarów azymutalnych stopni, które oddzielają ciała niebieskie w okręgu. Pod koniec pierwszego wieku Jia Kui nadal twierdził o wyższości idei sferycznego nieba ze względu na jej większą dokładność w pomiarze ruchu Słońca i Księżyca. W drugim wieku sferyczne niebo wpłynęło na kosmologiczne i matematyczne

idee w Zhou Gnomon (Zhou bi), dziele napisanym przez nieznanych specjalistów działających poza dworem Han. Jeśli na dworze trwały kontrowersje dotyczące lepszego pomysłu — sferycznego nieba lub nieba parasolowego — zostały one rozwiązane w czasie, gdy Zhang Heng pełnił funkcję dworskiego skryby/astrologa. Jednak kosmologia i kalendarz nie były odizolowane od innych intelektualnych i duchowych nurtów na dworze. Podstawowe elementy teorii natury opartej na zunifikowanej koncepcji qi, yin yang i pięciu agentów były już na miejscu w pierwszym wieku n.e. Wiele jej szczegółów zakładało korelacje między rzeczami i zjawiskami, które wynikały ze starszych idei kosmologicznych, a przyjęcie sferycznego nieba nie wyparło.

### **Qi, Yin Yang i pięciu agentów**

Podsumowanie idei Han w pierwszym wieku naszej ery jest najlepszym podejściem do dyskusji na temat starszych idei dotyczących qi, yin yang i pięciu agentów przed ich konsolidacją w kompleksowej teorii natury. W pierwszym wieku qi było uważane za substancję, która była wszędzie w kosmosie; odpowiadało za czynniki leżące u podstaw występowania zjawisk i za medium, w którym zjawiska występowały. Z perspektywy współczesnych idei możemy dyskutować o materialności lub niematerialności qi i jego funkcji. Dla ludzi Han qi było nieredukowalną podstawą, od której zależało wszystko inne, od „powietrza”, którym oddychali („pneuma” i „oddech” są używane do tłumaczenia qi) po dynamiczny aspekt procesów kosmologicznych (można dyskutować, czy „energia” jest właściwym tłumaczeniem). Yin yang i pięciu agentów służyło do klasyfikowania cech qi, tak jak zostało zidentyfikowane w cyklach czasu, w konfiguracjach przestrzeni lub w procesie życiowym poszczególnych organizmów. Ponadto, jeśli przed okresem Han yin yang i pięciu agentów nie wyłoniło się jeszcze jako bliźniacze koncepcje dualizmu i organizacji pentadycznej w kosmosie, gdy kosmologia korelacyjna połączyła się wokół idei qi, yin yang i pięciu agentów, każdy termin nabrał nowego, szerszego znaczenia koncepcyjnego. Dojrzały etap myśli korelacyjnej Han został opisany jako abstrakcyjny, co oznacza, że cykle uniwersalnego qi zostały wyjaśnione przez odniesienie do dualizmu yin yang i organizacji pentadycznej pięciu agentów. Jeśli skupimy się na pojawieniu się rządzącej teorii dla wszechogarniającego systemu kosmologicznego i jego zastosowaniach w nowych formach spekulacji, możemy powiedzieć, że yin yang i pięciu agentów oznaczało aspekty cyklicznych zmian w kosmosie, jak przedstawiono w teorii. W astrologicznej i kalendarzowej teorii, teorii medycznej lub teorii politycznej dynastii Han yin yang i pięciu agentów pełniło funkcję sygnifikatorów, wyjaśniając, jak działa qi. Uzyskana w ten sposób wiedza była następnie stosowana w danej sprawie, czy to w prognozowaniu zdarzeń, diagnozie medycznej, czy polityce rządowej. Status myślenia korelatywnego jako teorii wszystkiego oraz wykorzystanie yin yang i pięciu agentów jako klasyfikatorów i sygnifikatorów miały tendencję do podkreślania ich teoretycznej użyteczności, jednocześnie minimalizując ich identyfikację z konkretnymi bytami i ich związek z właściwościami specyficznymi dla tych bytów. W przypadku pięciu agentów — drewna, ognia, wody, gleby, metalu — nacisk na organizację pentadyczną i cykle był prawdopodobnie czynnikiem w preferowaniu przez dynastię Han terminu wuxing, a nie starszego terminu Zou Yana wude „pięć cnót” (rozumiejąc de jako „cnotę” w sensie wewnętrznej mocy czegoś). „Ruch” był jednym ze standardowych znaczeń xing i podkreślałby ideę cyklicznego ruchu pięciu agentów. We współczesnych badaniach teorii wuxing tłumaczenie „pięć faz” stało się konwencjonalne, podkreślając pojęcie przechodzenia przez sekwencję cyklicznie powtarzających się etapów. Jednak w przedhanowym rozumieniu terminu wuxing, jak poświadczono w rozdziale „Wielkiego Modelu” („Hongfan”) Klasyki Dokumentów (Shujing), xing oznaczało odrębne „procesy”, które były charakterystyczne dla pięciu substancji rozpatrywanych pojedynczo, a nie ideę cyklicznie powtarzających się etapów. Bardziej konkretne rozumienie pięciu substancji, które stanowią wuxing, było utrzymywane w okresie dynastii Han i pozostało częścią kosmologii korelatywnej w późniejszych wiekach. Sekcja zatytułowana „Pięciu Zdobywców” („Wusheng”) w hemerologicznym manuskrypcie Kongjiapo jest najbardziej wyraźną demonstracją konkretnego zastosowania pięciu

substancji. Aby mieć sprzyjające warunki do podróży, osoba ta miała przy sobie substancję, która podbijała substancję skorelowaną z kierunkiem podróży: niosła wodę, podróżując na południe, aby pokonać ogień południa, niosła ziemię owiniętą w tkaninę, podróżując na północ, aby pokonać wodę północy itd. Nie ma idealnego tłumaczenia xing w terminie wuxing. Użycie słowa „agent” (w znaczeniu „substancja powodująca zmianę”) i użycie „pięciu agentów” do przetłumaczenia wuxing rozpoznaje materialny aspekt teorii wuxing, którego brakuje w tłumaczeniach „faza” i „pięć faz”. Nie możemy odtworzyć historycznego rozwoju idei qi, yin yang i pięciu agentów w dokładnych szczegółach. Pierwszą rzeczą, na którą należy zwrócić uwagę w sytuacji sprzed dynastii Han, jest to, że qi, yin yang i pięć agentów nie połączyły się jeszcze ani nie były akceptowane jako powszechna wiedza. Idee te rzadko pojawiały się w tekstach filozofów III w. p.n.e. lub były omawiane krytycznie, jak na przykład w potępieniu Zou Yana i innych specjalistów od wróżbiarstwa i astrologii przez Hanfeiziego. Jednakże przeglądanie dostępnych dowodów konsekwentnie wskazuje na Walczące Państwa jako okres przejściowy od idei, które powstały w środowisku specjalistów (wróżbitów, astrologów, kalendarzystów, lekarzy i innych) do bardziej rozpowszechnionego i nowego poglądu na świat przyrody, który doprowadził do powstania korelatywnej myśli Han. Zaczniemy od qi. Pomysł, że qi i krew razem były niezbędnymi składnikami ludzkiego życia, jest wiarygodnie udokumentowany tylko w źródłach z IV wieku p.n.e., kiedy to qi odnosiło się już do wszechobecnej substancji świata zjawisk. Nie jest jasne, czy qi było początkowo słowem oznaczającym opary atmosferyczne (chmury, parę itp.), które zostało uogólnione, aby objąć źródło ludzkiej witalności i wszystko inne, czy też qi było terminem oznaczającym podtrzymującą życie substancję otrzymywaną z pożywienia, napojów i powietrza lub oddechu, która została rozszerzona na świat przyrody. W IV wieku p.n.e. słowo to było już stałym elementem dyskursu o naturze; bez nowych dowodów, kwestia etymologicznego pochodzenia jest bezprzedmiotowa. Podczas gdy coraz bardziej akceptowane jest nietłumaczenie qi w językach zachodnich, współczesne użycie tego słowa w języku chińskim i innych językach często zniekształca starożytne znaczenie. „Pneuma” i „oddech” to najczęściej używane tłumaczenia, podkreślające związek qi z ludzką witalnością; „para” sprzyja skojarzeniu z substancjami lotnymi i wszechobecnymi na całym świecie. Klasyka Zmian, pierwotnie księga wróżbiarska, odegrała kluczową rolę w kształtowaniu dualizmu yin yang. Obecnie wiemy, że najstarsza forma diagramu mantycznego związana z wrózeniem wyłącznika i Zmianami opierała się na rejestrowaniu liczb pochodzących z sortowania todyg wyłącznika. W czwartym wieku p.n.e. ciągłe i przerywane linie zastępowały już liczby, tworząc sześcioliniowe heksagramy, jakie znamy w Zmianach. Procesy prowadzące do reinterpretacji Zmian jako księgi mądrości i kosmologii były już w toku pod koniec IV wieku p.n.e., w którym to czasie linie heksagramu były już kojarzone z yin (linia przerywana) i yang (linia ciągła). Komentarz Attached Statements (Xici) z III wieku p.n.e. jest najstarszym przekazanym tekstem, który twierdzi, że Zmiany objęły kosmos w ramach swojego systemu yin yang i że Zmiany dostarczyły ludzkości wiedzy o działaniu kosmosu. Oprócz potwierdzenia koncepcji yin yang, intencją Attached Statements było wykazanie, że same Zmiany były prawdziwą manifestacją koncepcji; innymi słowy, Attached Statements miały na celu obalenie innych roszczeń do yin yang i ustanowienie Zmian jako fundamentu kosmologii. Argument Attached Statements należy do debaty na temat kosmologii z III wieku p.n.e., kiedy idee yin yang i pięciu agentów były podejmowane przez różnych specjalistów i stały się częścią szerszej dyskusji intelektualnej. Możemy zaczerpnąć wiele wczesnych idei na temat pięciu agentów z fragmentów Kroniki Zuo. Oprócz używania terminu wuxing w znaczeniu „pięciu procesów”, gleba, drewno, metal, ogień i woda były również identyfikowane jako wucai „pięć materiałów” i były rozumiane jako zasoby ziemi, które były wyczerpywalne. Termin wuxing odnosił się do materiałów z perspektywy ich charakterystycznych cech; każdy „coś robi” lub był przykładem „procesu”. Zgodnie z rozdziałem „Grand Model” Klasyki Dokumentów, woda „moczy i opada”, ogień „płonie i unosi się”, drewno „wygina się i prostuje”, metal „dostosowuje się do zmian”, a gleba „jest zasiewana i zbierana”. Kolejność pięciu procesów w rozdziale „Wielki Model” i ich przestrzenny układ w Kronice Zuo sugerują

koordynację z punktami kardynalnymi wokół centrum: woda i ogień (pierwszy i drugi w „Wielkim Modelu”) utworzyły oś północ-południe, drewno i metal (trzeci i czwarty w „Wielkim Modelu”) oś wschód-zachód, a gleba (piąta w „Wielkim Modelu”) znajdowała się w centrum. Dopiero po rozszerzeniu korelacji wuxing na pory roku (niepoświadczone w Kronice Zuo) starszy układ przestrzenny mógłby służyć jako podstawa sekwencji generacji wuxing. Ostateczny rozwój był potrzebny, zanim gleba, drewno, metal, ogień i woda mogły funkcjonować jako rubryki szerokiej klasyfikacji kosmologicznej: koncepcja wuxing nie tylko jako zasobów materialnych z ich charakterystycznymi procesami, ale raczej jako definiujących sygnifikatorów cyklu uniwersalnego qi. Nie ma dowodów na to, że miało to miejsce przed czasami Zou Yana i jego teorią wzajemnego podboju wude „pięciu cnót”. Przekazywane źródła konsekwentnie kojarzą termin wude z Zou Yanem, a nowy termin mógł zostać przyjęty w celu wzmocnienia koncepcji gleby, drewna, metalu, ognia i wody jako posiadających „cnoty”, które wykraczały poza substancje i ich procesy i które można było zastosować do innych zestawów pięciu w kosmologii. Zou Yan zaproponował również cykl zmian politycznych, który rozpoczął się od Żółtego Cesarza, który „obserwował wzrost qi gleby” i wzorował swoje rządy na symbolicznych korelacjach gleby. W każdej kolejnej epoce nowy władca rozpoznawał wznoszenie się kolejnej cnoty w sekwencji podboju: Yu założył dynastię Xia, gdy zaobserwował wznoszenie się qi drewna (drewno podbija ziemię); Tang założył dynastię Shang, gdy zaobserwował wznoszenie się qi metalu (metal podbija drewno); król Wen założył dynastię Zhou, gdy zaobserwował wznoszenie się qi ognia (ogień podbija metal). Następca dynastii Zhou musiał koniecznie rozpoznać znaki wznoszenia się qi wody (woda podbija ogień), a w rzeczywistości woda stała się symbolem dynastii Qin po 221 r. p.n.e. Pod koniec III wieku p.n.e. korelatywna klasyfikacja wuxing rozszerzała się, narzucając się na sześć starszych korelacji qi i rozszerzając zakres zjawisk, które włączała. W koncepcji wuxing był równoległy do yin yang: oba dostarczały sposobu klasyfikowania zjawisk na podstawie cech qi. W tym momencie możemy rozumieć wuxing jako „pięciu agentów” w cyklu zdefiniowanym przez qi, który był szeroko stosowany do zjawisk. Jednak nie istniała jeszcze zunifikowana kosmologia korelatywna yin yang i pięciu agentów, ani nowe idee nie oddzielały się od wróżbiarstwa i innych form praktyk okultystycznych. W niektórych obszarach spekulacji na temat świata przyrody idee yin yang zostały już włączone, podczas gdy idee pięciu agentów dopiero zaczynały być stosowane. Jednym ze znaków, że paradygmat myślenia korelatywnego opartego na qi, yin yang i pięciu agentach osiągnął dojrzały etap w pierwszym wieku naszej ery, jest definicja odpowiednich grafów w Wyjaśnieniu podstawowych grafów i analizie grafów złożonych (Shuowen jiezi), opracowanym przez Xu Shena w pierwszym wieku (pierwszy słownik analizujący skład grafów i definiujący słowa, które one reprezentują). Xu Shen zidentyfikował wykresy dla drewna, ognia, metalu i wody jako „agentów” xing związanych odpowiednio z kierunkami wschodu, południa, zachodu i północy; a definicje wykresów dla ich skorelowanych kolorów były również powiązane z kierunkami. Użył idei pierwotnego qi podczas definiowania wykresu dla słowa di „ziemia”, a sama definicja była podsumowaniem kosmogonii: „Kiedy pierwotne qi po raz pierwszy się oddzieliło, część świetlna, czysta i yang stworzyła niebo; ciężka, zamglona i yin część stworzyła ziemię”. Podstawowe idee myślenia korelatywnego musiały być powszechnie akceptowane, aby Xu Shen użył ich jako definicji, i wpłynęły one na rozwój w wyspecjalizowanych dziedzinach wiedzy, jak również w społeczeństwie jako całości. Ocena argumentów (Lunheng) Wang Chonga oferuje inną perspektywę myślenia korelatywnego w pierwszym wieku. Światopogląd Wang Chonga opierał się na współczesnej myśli korelatywnej: akceptował ideę pierwotnego qi; uważał rozdział „Wielkiego Modelu” z Klasyki Dokumentów za podstawowy tekst doktryny pięciu agentów; a jego myślenie o ludzkości i naturze było generalnie ukształtowane przez idee yin yang. Jednak Wang Chong był konsekwentny w swoim przekonaniu, że natura działała bez szczególnego uwzględnienia ludzkiej aktywności i był krytyczny wobec tego, co uważał za nadmierną dosłowność w stosowaniu idei yin yang i pięciu agentów przez niektórych intelektualistów i ignorancją populację. Na przykład Wang Chong krytykował omenologię opartą na myśli korelatywnej i

przekonaniu, że zjawiska w naturze były celowymi działaniami, poprzez które natura nagradzała lub karała ludzi za ich zachowanie. Podobnie wyśmiewał ludzi stosujących w teorii wuxing substancje związane z metalem, drewnem, wodą, ogniem i glebą, aby chronić się przed krzywdą, co według Wang Chonga było sprzeczne z ideą wuxing (bez wątplenia miał na myśli przypadki takie jak stosowanie substancji podczas podróży w hemerologicznym manuskrypcie Kongjiapo). „Ocena argumentów” to cenny dowód poglądów jednego intelektualisty-uczonego na temat współczesnej myśli korelatywnej w społeczeństwie, a mimo to Wang Chong nie angażował się w teoretyczną dyskusję na temat kosmologii, astrologii, medycyny ani innych dziedzin wiedzy, w których paradygmat myśli korelatywnej wpływał na idee i działania astrologów, lekarzy i innych specjalistów.

## Medycyna

Ukształtowanie się medycyny naukowej między IV a I wiekiem p.n.e. zostało osiągnięte przez yi, tłumaczone tu jako „lekarz”. Słowo to było stosowane do szeregu osób praktykujących medycynę i czasami oznaczało „szamana”, ale Lekarz He w Kronice Zuo reprezentuje rodzaj uczonego lekarza, który w IV wieku p.n.e. uważał, że qi jest niezbędnym pojęciem dla fizjologii i patologii człowieka. Po wymienieniu sześciu qi nieba, Lekarz He powiązał je z sześcioma rodzajami chorób i chorób związanych z nadmiarem qi. W dyskusjach na temat medycyny w III i II wieku p.n.e. niektórzy lekarze coraz bardziej podkreślali, że teorie qi są jedyną słuszną podstawą praktyki medycznej, a lekarze ci coraz częściej potępiali praktyki medyczne, które nie były zgodne z nowym ideałem. „Naczynia” Mai transportujące krew i qi były oczywistą strukturą do klasyfikowania qi w mikrokosmosie ludzkiego ciała. W drugim wieku p.n.e. Chunyu Yi wyraził teoretycznie rozbudowaną koncepcję ciała medycznego w swoim opisie „modelu naczyń”: Nazwy dolegliwości są w większości podobne i niepoznawalne. Tak więc starożytni mędrzy stworzyli dla nich model naczyń, za pomocą którego można było rozpocząć pomiar wymiarów i objętości, ustalić kompas i kątownik, zawiesić ciężarki i równowagę, nałożyć tusz do sznurka do znakowania i połączyć yin i yang. Rozróżnili naczynia u ludzi i nazwali każde z nich. Pasując do nieba i ziemi, (naczynia) łączą się w człowieku, tworząc trójcę. Tak więc rozróżnili następnie sto dolegliwości, rozróżniając je między sobą. W koncepcji Chunyu Yi ciało nie zostało po prostu ukształtowane na obraz kosmosu — każda jego funkcja była konkretnie zsynchronizowana z działaniem kosmosu. Obliczenia niezbędne do określenia harmonijnego działania qi w kosmosie yin yang zostały zastosowane do ludzkiego ciała przez starożytnych mędrca, w wyniku czego „odkryli” i nadali nazwy naczyniom. Nowa teoria fizjologiczna, przypisywana wynalazkowi mędrca, potwierdziła w medycynie kosmologiczną trójcę nieba, ziemi i ludzkości oraz dostarczyła nowy model patologii oparty na diagnozowaniu stanu qi w układzie naczyń, a nie na poleganiu na dowolnych nazwach dolegliwości. Lekarz był zarówno uzdrowicielem, jak i kosmologiem. The Yellow Emperor's Inner Classic stanowi streszczenie nowej medycyny naturalistycznej z mniej więcej pierwszego wieku p.n.e. Oryginalny tekst nie przetrwał, ale mamy trzy średniowieczne wersje, które zachowują części starożytnego klasyku: Plain Questions (Suwen), Numinous Pivot (Lingshu) i Grand Simplicity (Taisu). W Klasycznym kanonie Żółtego Cesarza teorie yin yang i pięciu agentów zostały w pełni zintegrowane z fizjologią i patologią. Co więcej, biorąc pod uwagę definicję zdrowia jako utrzymania harmonijnego krążenia qi w ciele, a choroby jako dysfunkcji qi, idealną terapią zalecaną w klasycznym kanonie była akupunktura: igły wbijane w strategiczne punkty ciała w celu skorygowania dysfunkcyjnego qi w układzie naczyń. Anuskrypty medyczne z II wieku p.n.e. z grobowca Mawangdui 3 i grobowca Zhangjiashan 247 dostarczają nowych dowodów na wiedzę medyczną, która była aktualna w czasie powstawania Wewnętrznego kanonu Żółtego Cesarza. Dla celów dyskusji możemy zidentyfikować trzy główne kierunki rozwoju medycyny między Walczącymi Państwami a dynastią Han. Po pierwsze, podręczniki kucharskie, takie jak Mawangdui Recipes for Fifty-Two Ailments (Wushier bingfang), świadczą o praktycznej wiedzy medycznej na temat kategorii chorób, leków i innych form terapii (w tym fumigacji, drobnych zabiegów chirurgicznych i magicznych zabiegów), która została odziedziczona po wcześniejszej medycynie i nadal

rosła pod względem ilości i wyrafinowania w wiekach po dynastii Han. Do chwili obecnej nie ma dowodów na istnienie dzieła materia medica wcześniejszego niż przekazany tekst Boskiego Agrarian's Classic of Materia Medica (Shennong bencao jing), który można datować na I lub II wiek n.e. Jednak stosowanie leków w niedawno odkrytych rękopisach podręczników kucharskich dostarcza ważnych dowodów na powstanie literatury materia medica. Po drugie, mamy teksty z Mawangdui i Zhangjiashan, które opisują system jedenastu naczyń w ciele i wiążą poszczególne choroby ze stanem qi w określonych naczyniach. Zalecanym leczeniem korygującym dysfunkcję było przyżeganie uszkodzonego naczynia. Naczynia klasyfikowano jako naczynia yin i yang, stosując nomenklaturę poświadczoną później w Wewnętrznym Klasycznym Dziele Żółtego Cesarza (które jednak proponowało dwunastonaczyniowy model fizjologiczny, znacznie bardziej rozbudowany pod względem teoretycznym); pięć idei agentów było całkowicie nieobecnych w opisach naczyń w rękopisach.

Ponadto nie wspomniano o akupunkturze. Powszechnie przyjmuje się, że teksty teorii naczyń z Mawangdui i Zhangjiashan stanowią wcześniejszy etap rozwoju teorii i praktyki akupunktury, który jest opisany w Wewnętrznym klasycznym tekście Żółtego Cesarza, a przyżeganie poprzedzało akupunkturę jako terapeutyczne zastosowanie teorii naczyń. Po trzecie, istnieją teksty z Mawangdui i Zhangjiashan na temat makrobiotycznej samokultury — znanej w przekazywanych źródłach jako yangsheng „pielęgnowanie życia” — ze szczegółowymi informacjami na temat diety, kultury oddechu, ćwiczeń i seksu. Praktyki te miały na celu zwiększenie witalności i wydłużenie życia. Ponieważ życie ludzkie zależało od stanu qi jednostki, samokultury była zasadniczo kultury qi. Na podstawie świadectwa Wewnętrznego klasycznego tekstu Żółtego Cesarza uważano, że teoria naczyń pierwotnie rozwinęła się w kontekście teorii patologicznych, a system naczyń służył jako podstawa diagnozy choroby i leczenia. Teksty z Mawangdui i Zhangjiashan wskazują, że teoria naczyń mogła rozwinąć się najpierw w związku z makrobiotyczną samokultury, a następnie została zastosowana do patologii. Teksty z Mawangdui i Zhangjiashan dotyczące naczyń i kauteryzacji należały do tej samej tradycji tekstowej; kilka z nich to kopie tego samego tekstu, takie jak teksty skopiowane w manuskrypcie z Zhangjiashan zatytułowanym Vessel Book (Maishu). Biorąc pod uwagę bliskość w czasie (grobowce są oddzielone najwyżej o kilka dekad) i przestrzeni (w II wieku p.n.e. istniała łatwa komunikacja między południowym Hubei a północnym Hunan), wydaje się prawdopodobne, że manuskrypty z takimi tekstami krążyły w starożytnym południu Chin wśród specjalistów i osób niebędących specjalistami (żaden z mężczyzn pochowanych w dwóch grobowcach nie był lekarzem). Jednocześnie paralele tekstowe z częściami Wewnętrznego Klasyku Żółtego Cesarza pokazują, że treść tekstów manuskryptów reprezentuje starsze idee; to znaczy, teksty rękopisów przywracają poprzedników idei Wewnętrznego Klasyka Żółtego Cesarza. W przypadku systemu naczyń, teksty rękopisów opisują jedenaście naczyń, sześć naczyń yang i pięć naczyń yin, podczas gdy Wewnętrzny Klasyk Żółtego Cesarza opisuje dwanaście, sześć naczyń yang i sześć naczyń yin. Ponadto, w Wewnętrznym Klasyku Żółtego Cesarza naczynia yin i yang były połączone w układzie krążenia, który obejmował narządy wewnętrzne, a same naczynia były postrzegane jako jingmai „naczynia przewodowe”, termin, który podkreślał układ krążenia jako odpowiednik cykli kosmologicznych. Akupunktura zastosowana do punktu na jednym naczyniu wpływała na cały układ. Natomiast jedenaście naczyń w tekstach rękopisów stanowiło oddzielne kanały dla qi w ciele. Kauteryzacja zastosowana do naczynia wpływała na qi w tym naczyniu. Jeden tekst, znaleziony zarówno w Mawangdui, jak i Zhangjiashan, rozróżnia sześć naczyń yang, które zawierają qi nieba, od pięciu naczyń yin, które zawierają qi ziemi; a naczynia yin są „naczyniami śmierci” (co oznacza, że dolegliwości związane z naczyniami yin prawdopodobnie będą śmiertelne). Podczas gdy na początku teoria naczyń w medycynie nie była związana z yin yang i pięcioma ideami agentów, jej późniejszy sukces miał wiele wspólnego z rozwojem myślenia korelatywnego. Gdy yin yang i pięciu agentów stanowiły podstawę do zrozumienia wszystkich zjawisk, teoria naczyń ułatwiła włączenie myślenia korelatywnego do medycyny, zapewniając idealną



schematyczną reprezentację, która umożliwiła szerokie zastosowanie yin yang i pięciu agentów w ciele człowieka. Był to kontekst „modelu naczyń” Chunyu Yi; a Wewnętrzny Klasyczny Żółty Cesarz był podstawą teorii medycznej i akupunktury w późniejszych wiekach. Jednak w medycynie dynastii Han istniały inne idee fizjologiczne. Tekst w Zhangjiashan Vessel Book identyfikuje sześć składników ciała, z których każdy pełni istotną funkcję: kość jest filarem podtrzymującym ciało, mięśnie są spoiwem, krew nawilża, naczynia zapewniają kanały w ciele, mięso jest „przyczepem”, który nadaje ciału masę, a qi jest „wydechem”, który je ożywia. Każdy składnik ma charakterystyczną jakość bólu, która jest podstawą do zidentyfikowania źródła choroby. Naczynia i qi to dwa z sześciu składników, same w sobie nie są podstawową strukturą ciała. Jednak nawet w rękopisach Mawangdui i Zhangjiashan widać wyraźnie, że teoretyczny nacisk był już położony na qi i naczyniach, które je zawierają. W czasach Wewnętrznego klasycznego Żółtego Cesarza wszelkie idee dotyczące innych składników ciała zostały wchłonięte przez teorię naczyń; teoria fizjologiczna była teorią naczyń. Teoria naczyń zdefiniowała na nowo zdrowie i chorobę, uzależniając każde z nich od stanu qi, które miało płynąć równomiernie w ciele bez przeszkód lub szkodliwych zewnętrznych ingerencji (na przykład przez chorobotwórczy wiatr). Teksty rękopisów i Wewnętrzny klasyczny Żółtego Cesarza rozumiały chorobę jako dysfunkcję qi w naczyniach, która prowadziła do innych powikłań fizjologicznych i ostatecznie do choroby jako identyfikowalnego stanu. Terapia korygowała dysfunkcję i przywracała organizmowi jego pierwotny harmonijny stan, eliminując w ten sposób oznaki choroby. Akceptacja teorii naczyń podważyła starszą koncepcję, że choroba była wywoływana przez czynniki lub patogeny, często z zewnętrznego źródła, które zachorowały swoją ofiarę (lub pacjenta). Demony lub patogeny o bardziej naturalnym pochodzeniu były podobne, ponieważ były bytami powodującymi pewne możliwe do nazwania dolegliwości; terapia leczyła dolegliwości poprzez eliminację bytów, które je powodowały. Z punktu widzenia teorii naczyń takie dolegliwości były jedynie przejawami głębszej dysfunkcji w systemie naczyń i nie miały niezależnego istnienia (to był punkt sceptycyzmu Chunyu Yi co do polegania na „nazwach dolegliwości”, które były „niepoznawalne”). Co więcej, długotrwałe leczenie medyczne tych dolegliwości było bezużyteczne, ponieważ nie zostało zaprojektowane w celu korygowania dysfunkcyjnego qi. Ujmując to w kategoriach współczesnych badań w historii medycyny, mamy przypadek konfliktu między ontologicznym wyjaśnieniem choroby (które utrzymuje, że dolegliwości mają własne istnienie) a wyjaśnieniem fizjologicznym, przy czym teoria naczyń jest chińskim odpowiednikiem patologii humoralnej i innych rodzajów wyjaśnień fizjologicznych w medycynie zachodniej. Rękopisy medyczne z Mawangdui i Zhangjiashan świadczą o współistnieniu poglądów ontologicznych i fizjologicznych w III i II wieku p.n.e., przy czym „Recipes for Fifty-Two Ailments” jest głównym przedstawicielem pierwszego, a teksty teorii naczyń – drugiego. Tekst „Księgi naczyń” na temat sześciu składników pasowałby do ontologicznego poglądu na chorobę. Inny tekst „Księgi naczyń”, który klasyfikował dolegliwości według części ciała, w której wystąpiły, oraz czynnika/patogenu, również pasował do poglądu ontologicznego. Higiena makrobiotyczna jest nieobecna w zachowanym „Klasycznym wewnętrznym” Żółtego Cesarza. Rękopisy z Mawangdui i Zhangjiashan są naszym pierwszym dowodem w literaturze medycznej. Teksty rękopisów stanowią podstawę samodoskonalenia nauczanego przez lekarzy, takich jak Wen Zhi, którego nauka króla Wei w tekście Mawangdui zakończyła się dyskusją na temat „jedzenia qi” lub kultywowania oddechu. Oprócz pism na temat kultywowania oddechu, teksty Mawangdui obejmują najwcześniejsze przykłady podręczników seksualnych, podręczników przepisów dietetycznych oraz manuskrypt z rysunkami ćwiczeń daoyin „prowadzących i ciągnących” do samodoskonalenia, a także do leczenia chorób. Manuskrypt Zhangjiashan zatytułowany Pulling Book (Yinshu) zawiera tekst z pisemnymi opisami ćwiczeń terapeutycznych i samodoskonalenia. Z manuskryptów Mawangdui i hangjiashan jasno wynika, że teoria naczyń leży u podstaw idei samodoskonalenia, zdrowia i długowieczności. Jeden z tekstów Mawangdui na temat „modelu naczyń” opisuje ciało mędrca jako ideał (druga kopia tekstu znajduje się w Zhangjiashan Vessel Book):

Niech model naczyń zostanie nauczony tych poniżej. Naczynia są czymś, co mędrzec ceni. Jeśli chodzi o qi, trafia ono do dolnej części (ciała) i szkodzi górnej części; podąża za ciepłem i odchodzi od chłodu. Mędrzec ma zimną głowę i ciepłe stopy. Aby leczyć dolegliwości, usuń nadmiar i zwiększ to, czego jest za mało. W idealnym ciele — ciele mędrca — qi krążyło w naczyniach, poruszając się w dół; a mędrzec utrzymywał ciepłe stopy, aby zapewnić ruch w dół. Zgodnie z cytowanym fragmentem „model naczyń” był wtórnie stosowany do leczenia dolegliwości. Pogląd ten kontrastuje ze stwierdzeniem Chunyu Yi, że „mędrcy stworzyli model naczyń”, aby poradzić sobie z ludzkimi chorobami. Co było pierwsze: teoria naczyń w patologii czy teoria naczyń w higienie makrobiotycznej? Nie ma jednoznacznej odpowiedzi. Jednak logiczne jest przypuszczenie, że teoria naczyń rozpoczęła się w związku z praktykami samodoskonalenia i z czasem stała się podstawą nowego rozumienia zdrowia i choroby — w którym to momencie znaczenie naczyń i qi doprowadziło teorię naczyń w nowym kierunku w patologii medycznej. Gdy zdrowie zostało zdefiniowane w kategoriach krążenia krwi i qi w ciele, utrzymanie zdrowia polegało zasadniczo na monitorowaniu stanu naczyń; przeniesienie tego schematu na chorobę i patologię byłoby ważnym krokiem.

### **Wniosek**

Przyglądając się Chinom między V wiekiem p.n.e. a II wiekiem n.e. w poszukiwaniu dowodów na wiedzę o naturze i jej zastosowaniach, można zauważyć, że powstanie myślenia korelatywnego było wynikiem mnogości idei i działań, które z czasem ukształtowały doktrynę przyjętą przez astrologów, lekarzy i innych specjalistów, a także przez elitę, której światopogląd był pod wpływem myślenia korelatywnego. Oczywiście istniały obszary wiedzy i doświadczenia, które wykraczały poza zakres myślenia korelatywnego. Materia medica została niemal pominięta w aradygmacie myślenia korelatywnego, jak wyjaśniono w Klasycznym dziele Żółtego Cesarza, w którym akupunktura była doskonałym zastosowaniem teorii medycznej, a późniejsza historia farmacji w Chinach odzwierciedla tę różnicę. Podobnie innowacje technologiczne pojawiały się niezależnie od tego, czy w ich produkcję zaangażowana była myśl korelatywna. Jednak kulturowe założenie, że myśl korelatywna jest teorią wszystkiego, miało wpływ na stymulowanie badań natury w niespodziewany sposób i może wyjaśniać fakt, że wiele zjawisk, które były ledwie zauważane w innych starożytnych cywilizacjach — kryształki płatków śniegu, komety i wydarzenia atmosferyczne, takie jak parhelia, właściwości narkotyków lub udomowienie roślin — było aktywnie badanych i klasyfikowanych.

### **Nauka w średniowiecznym świecie chrześcijańskim i islamskim**

Czy „nauka średniowieczna” jest oksymoronem? Powszechnie postrzeganie nauki jako nowoczesnego, dociekliwego, racjonalnego, empirycznego przedsięwzięcia może sugerować, że „nauka średniowieczna”, jeśli w ogóle istnieje, jest przesadna, autorytarna, tradycyjna, pozostałość wcześniejszej i obecnie odrzuconej epoki. Jednak po krótkim dochodzeniu staje się jasne, że to właśnie w tej minionej epoce powstały instytucje takie jak madrasa i uniwersytet, gdzie omawiano naturę nieba obok natury ludzkiego ciała, gdzie rozważano, dyskutowano i rozwijano wiedzę o samej naturze oraz o liczbach, obszarach, bryłach itd. Obok tych instytucji edukacyjnych stały szpitale i obserwatoria, gdzie teoretycznie ugruntowana wiedza była wykorzystywana, sprawdzana, systematyzowana i modyfikowana. Kręgi religijne, filozoficzne i medyczne energicznie debatowały nad tematami, które nadal nas interesują; pytania o wieczność świata, znaczenie wartości ekonomicznej, relacje między ciałami niebieskimi i punkty, w których życie się zaczyna i kończy, mają swoje korzenie w średniowiecznej teologii i filozofii. W tym rozdziale zbadamy różne średniowieczne scenerie, w których te i inne tematy były tworzone, kwestionowane i/lub odrzucane. Będziemy szukać nie tylko połączeń między czasami, regionami i społecznościami, ale także identyfikować ich indywidualne, szczególne wzorce i osiągnięcia, a także rozważać unikalne i osobliwe średniowieczne idee, które nie stały się częścią zachodniego dziedzictwa naukowego. Carlo Ginzburg zauważył: Zadanie historyka jest

dokładnie odwrotne do tego, w co większość z nas została nauczona wierzyć. Musi on zniszczyć nasze fałszywe poczucie bliskości z ludźmi z przeszłości, ponieważ pochodzili ze społeczeństw bardzo odmiennych od naszego. Im więcej odkrywamy na temat „umysłowego wszechświata” tych ludzi, tym bardziej powinniśmy być zszokowani dystansem kulturowym, który nas od nich dzieli. Rzeczywiście, podczas gdy współczesny nowicjusz w temacie tego rozdziału może być zaskoczony różnicami i dystansami między naszymi intelektualnymi przodkami a nami, my dziwimy się temu, co nas łączy: pragnieniu poznania, eksploracji, wyjaśniania, omawiania i odrzucania tego, co uważamy za fałszywe lub niewłaściwe. Przyjrzymy się zatem średniowiecznej nauce w kolejnych rubrykach, zaczynając od krótkiej dyskusji na temat natury nauki w języku łacińskim przed XII wiekiem w Europie. Następnie zwrócimy się na wschód, aby rozważyć rolę, jaką nauki w języku arabskim lub perskim odgrywały w różnych punktach historycznych i geograficznych, od astrologii w abbasydzkim Bagdadzie po optykę w fatymidzkim Kairze i astronomię w mameluckim Kairze i Damaszku, a także zbadamy rolę, jaką odgrywała medycyna i inżynieria w strefie kontaktowej między Chinami a Iranem w mongolskim Tabrizie. Wracając na zachód, przyjrzymy się nowym pojęciom naturalizmu, które pojawiły się w XII wieku i poprzedzimy nasze badanie wynikającego z tego ruchu tłumaczeniowego wcześniejszą, przedłużoną tradycją tłumaczenia w abbasydzkim Bagdadzie. Zakończymy analizą tworzenia nowych instytucji w katolickich regionach Europy, gdzie filozofia przyrody i medycyna również kwitły, pomimo kłopotliwego związku nauki i teologii.

### **Wczesnośredniowieczna nauka asertoryczna**

Jedną z najbardziej oczywistych cech wczesnośredniowiecznych pism o naturze jest jej pochodny charakter. W obliczu kurczącej się świadomości starożytnej kultury, wielu uczonych w V do X wieku, a szczególnie tych skupionych na filozofii przyrody w najszerszym tego słowa znaczeniu, próbowało zachować to, co uważali za centralne zasady starożytnego świata. To konserwatywne przedsięwzięcie mogło przybierać wiele form. Niektórzy, jak Boecjusz (ok. 480–580) w późnej starożytności, tworzyli podręczniki skupione na konkretnych dyscyplinach, które stały się tekstami do studiowania czterech dyscyplin matematycznych: arytmetyki, geometrii, astronomii i muzyki; w rzeczywistości były one często adaptacjami przetłumaczonych wersji podobnych podręczników, które były już popularne w późnym starożytnym świecie. Inni wstawiali swoje pochodne dzieła do większych, kompleksowych prac, jak zrobił to Kasjodor (ok. 485–ok. 580), gdy włączył rozdziały o gramatyce, retoryce, dialektyce (gdzie indziej określanej jako „trivium”), arytmetyce, muzyce, geometrii i astronomii („quadrivium”) do swojego obszernego wykładu chrześcijańskiej nauki w *Institutiones*. Wydaje się, że te sekcje nie były zamiennikami oryginalnych prac, lecz raczej wprowadzeniami do nich, ponieważ Kasjodor odnosi się do swoich źródeł, prawdopodobnie jako zachęty dla mnichów w swoim klasztorze, Vivarium, którzy mogli konsultować te prace w domowej bibliotece. Inną technikę przyjął arcybiskup Sewilli z VII wieku, Izydora (zm. 636), którego encyklopedyczne *Etymologies* starały się przekazać „to, co należy odnotować” na temat praktycznie każdego tematu dla zbudowania zarówno duchowieństwa, jak i wizygockich patronów Izydora. Z samego tekstu jasno wynika, że Izydor i prawdopodobnie jego asystenci wycinali i wklejali materiały ze źródeł, które mieli pod ręką, czasami błędnie je interpretując w trakcie, ale najwyraźniej nie przejmując się wewnętrzną spójnością; tak więc w *Księdze XIII* przedstawia w sąsiednich rozdziałach zarówno przyczynową teorię substancji materialnych Arystotelesa, jak i stanowisko atomistyczne dotyczące dyskretnych cząstek, w których cząstki nie zdradzają żadnego mechanizmu przyczynowego w tworzeniu obiektów. Wszystko to jest zorganizowane na zasadzie etymologii nazw, ponieważ w przeciwieństwie do dyktatu Arystotelesa o ludzkiej wiedzy generowanej przez zrozumienie przyczyn naturalnych, Izydor twierdzi, że „wgląd w cokolwiek jest jaśniejszy, gdy znana jest jego etymologia”. Jeszcze inna forma tego samego programu obejmowała pytania i odpowiedzi katechetyczne. Dobrym przykładem tego gatunku jest anonimowy komentarz do *Księgi Rodzaju*, który krążył pod tytułem *Intexuimus*, dosłownie „spłotliśmy się razem”.

Szacuje się, że jedna trzecia średniowiecznych dyskusji na temat kosmologii została przedstawiona w komentarzach do Księgi Rodzaju (tzw. tradycja heksaemeralna), a Intexuimus ilustruje często stosowaną technikę. Autor splótł ze sobą stanowiska Izydora i Ojców Kościoła — zwłaszcza Augustyna, Hieronima i Grzegorza Wielkiego — podczas gdy podróżuje werseł po wersecie przez pierwsze trzy rozdziały Księgi Rodzaju, zadając pytania, a następnie odpowiadając ortodoksyjnymi stanowiskami. Przy pierwszym wersecie Księgi Rodzaju autor pyta: „dlaczego Bóg stworzył niebo i ziemię?” i „co Bóg zrobił, zanim stworzył niebo?” W odpowiedzi cytuje Apokalipsę (4:11): „Ty stworzyłeś wszystko, a z Twojej woli istniało i zostało stworzone”. W rezultacie bezcelowe jest pytanie, dlaczego Bóg stworzył, dlaczego wybrał konkretny moment, w którym działał, a w rzeczywistości sam czas, według autora, jest konstrukcją, ponieważ przed stworzeniem istniała tylko wieczność Boga. Te cztery przykłady podane przez Boecjusza, Kasjodora, Izydora i anonimowego autora Intexuimus ilustrują ważną cechę nauki we wczesnym średniowieczu, którą można określić jako jej asertywną naturę, postępującą poprzez stwierdzenia i twierdzenia w przeciwieństwie do arystotelesowskiej tradycji demonstrowania skutków poprzez ich przyczyny. Mianowicie, podczas gdy Arystoteles uważał, że podstawową cechą nauki, a przez rozszerzenie samych ludzi, nie jest tylko znajomość faktów w danej sprawie, ale także przyczyn tych faktów; w każdym z tych przykładów, przeciwnie, skupiono się na przekazanych faktach, a nie na przyczynach tych faktów, i nie było większego zainteresowania wyjaśnianiem lub wybieraniem spośród niespójnych teorii. Asertoryczna natura wiedzy naukowej w okresie poprzedzającym rok 1050 widoczna jest również w skróceniu Elementów Euklidesa (szczególnie w kompilacjach materiałów z Euklidesa i innych źródeł, znanych jako Geometria I i Geometria II), które przekazywały propozycje, usuwając jednocześnie dowody, lub w tendencji do wykorzystywania podręczników geodetów, takich jak późnoantyczne Agrimensores veteres lub pisma rzymskiego autora Frontinusa o akweduktach, jako podręczników do nauczania geometrii. Możemy poczynić jeszcze jedną obserwację dotyczącą podstawowej perspektywy człowieka w naturze w okresie poprzedzającym 1050 rok w łacińskiej Europie: z niewieloma wyjątkami, wczesnośredniowieczni postrzegali siebie jako pojazdy boskiej aktywności, mieszkańców świata, którego nie rozumieli ani nie kontrolowali. W stopniu, w jakim postrzegano porządek, znajdował on swoje miejsce w rytuale, symbolice i sakramencie. Przed naturą, tak jak przed Bogiem, człowiek uważał się za bezsilnego. Taka wiara i zaufanie do boskości nie wykluczały jednak pragnienia człowieka, aby studiować dzieło stworzenia Boga i rozwijać narzędzia do przetrwania w Jego świecie. W społeczeństwach islamskich, czy to w Europie, Afryce czy Azji, rozwijała się jedna wieloaspektowa tradycja w dziedzinie astrologii (lub: studiów gwiazd), jak możemy się przekonać, jeśli przyjrzymy się warunkom, w jakich zostało założone miasto Bagdad. Astrologia jako nauka, polityka i przewodnictwo. W muzułmańskim miesiącu Dżumada I w roku 147 (27 lipca–25 sierpnia 762), drugi kalif nowo utworzonej dynastii Abbasydów, al-Mansur (pan. 756–775), położył fundamenty nowego miasta, które miało stać się stolicą jego rozległego imperium: Bagdadu. Nazwał je Madinat al-Salam („Miasto Pokoju”). Zanim rozpoczęła się planowana budowa nowej stolicy, kalif poprosił swoich najbardziej uczonych na dworze, aby wybrali za pomocą naukowych środków najlepszy dzień na to zmieniające historię przedsięwzięcie. Nasze źródła dotyczące tego naukowo przygotowanego planowania miasta różnią się od siebie. Stąd nie jest jasne, który dzień został wybrany na doniosłe wydarzenie. Nie możemy też być absolutnie pewni, kim byli astrologowie, którzy sporządzili horoskop. Zadaniem było znalezienie momentu w czasie, który gwarantowałby, że żaden władca nigdy nie zostanie zabity w tej nowej stolicy. Współczesne przeliczenia danych horoskopu określają 31 lipca, tj. 4 Jumada I, jako dzień założenia. Wśród osób, które pozostawiły nam relacje o tym dniu i jego astrologicznym przygotowaniu, są dwaj autorzy historii i geografii, Ahmad al-Ya’qubi (zm. 897/8) i Ibn al-Faqih (IX–X w.), wraz z jednym z najbardziej kompetentnych uczonych nauk matematycznych w społeczeństwach islamskich przed 1200 r., Abu l-Rayhan al-Biruni (973–1048). Chociaż dane Ibn al-Faqiha lepiej zgadzają się z nowoczesną rekonstrukcją, najczęściej cytowaną relacją jest ta autorstwa al-Biruni. Mając zaledwie 27 lat, al-Biruni napisał książkę o kalendarzach, świętach i

dynastiach zatytułowaną Chronologia starożytnych narodów. Tutaj donosi, że dwóch irańskich i jeden arabski astrologów rzuciło horoskop na założenie Bagdadu, ale jako decydującą datę podaje 23 lipca 762, który poprzedza miesiąc Dżumada o cztery dni. Trzech astrologów wymienionych przez al-Biruni to Nawbakht (VIII wiek), dawniej zoroastryczyk i nowy konwertyta na islam, Masza'allah b. Athari al-Farisi (zm. ok. 815), perski Żyd, i Ibrahim al-Fazari (zm. ok. 777), prawdopodobnie z Banu Fazara, arabskiego plemienia w Hidżazie (obecnie w Arabii Saudyjskiej). Wszyscy trzej mężczyźni stali się ważnymi przedstawicielami powstania kultury naukowej na dworze Abbasydów w Bagdadzie i przetłumaczenia na arabski astronomicznych i astrologicznych podręczników w języku średnioperskim i sanskryckim. Nawbakht pochodził z Ahwazu w zachodnim Iranie. Był pierwszym z dynastii astrologów dworskich, którzy służyli Abbasydom (750–1258) przez około stulecie. Ibrahim al-Fazari zredagował arabskie tłumaczenie sanskryckiego podręcznika, którego tytuł prawdopodobnie brzmiał Mahasiddhanta (Wielki traktat). Tłumaczenie zostało wykonane w 771 lub 773 roku przez astrologa z Indii o imieniu Kankah, który mógł przybyć na dwór Abbasydów sam lub jako członek poselstwa z jakiegoś królestwa w Indiach. Jego arabski tytuł wydaje się brzmieć al-Sindhind al-kabir (Wielki Sindhind; al-kabir = maha, al-sindhind = siddhanta). Ibrahim opracował własne podręczniki i napisał traktaty na temat astrolabium, sfery armilarnej i astrologii. Jego pierwszy podręcznik był oparty na przetłumaczonym dziele sanskryckim i miał ten sam tytuł. Drugi podręcznik, być może pod wodzą kalifa al-Mansura, został obliczony „według lat Arabów”. Poza kilkoma fragmentami, żadne z jego dzieł nie przetrwało stuleci. Masza'allah pochodził z Basry nad Szatt al-Arab, na północnym krańcu Zatoki Perskiej. Kiedy brał udział w stawianiu horoskopu, był jeszcze bardzo młodym człowiekiem. W ciągu następnego półwiecza napisał około dwudziestu traktatów, głównie na tematy astrologiczne, co uczyniło go jednym z najbardziej znanych i najbardziej wpływowych astrologów w języku arabskim, a dzięki tłumaczeniom również na łacinę, hebrajski i grecki. Niektóre z jego prac traktowały o tematyce czysto astronomicznej, między innymi o składzie wszechświata przez dziesięć, a nie osiem lub dziewięć orbów i ich ruchy. Traktat ten przetrwał tylko w dwóch łacińskich tłumaczeniach, wydrukowanych w 1504 i 1549 roku w Norymberdze. W tej pracy Masza'allah poparł swoje poglądy astronomiczne odniesieniami do Fizyki Arystotelesa, być może na podstawie źródeł syryjskich. Chociaż wymienia Ptolemeusza i Teona z Aleksandrii, jego modele planetarne mają starsze pochodzenie. Oprócz możliwych źródeł syryjskich Masza'allah wykorzystał bizantyjskie pisma o astrologii, być może również w tłumaczeniu, oraz Sasanidzkie Tablice Królewskie do stawiania horoskopów (imperium Sasanidów było ostatnim imperium irańskim przed powstaniem kalifatu). Na tej podstawie wyjaśnia przeszłe wydarzenia historyczne, takie jak Potop, powstanie chrześcijaństwa i islamu lub powstanie rządzącej dynastii Abbasydów oraz narodziny lub początek rządów ważnych osobistości historii islamu i przewiduje przyszłość kalifatu i jego władców. Podstawowymi koncepcjami teoretycznymi dla tego rodzaju historii astrologii i „nauk politycznych” są sasanidzkie przekonanie o szczególnym znaczeniu koniunkcji Jowisza i Saturna dla wydarzeń ziemskich oraz zoroastryjska idea trwania wszechświata wynosząca dwanaście tysięcy lat. Ludzie i ich działania, które odegrały tak ważną rolę w tworzeniu nowej stolicy dla nowo utworzonej dynastii kalifów, w skrócie łączą centralne cechy rozwoju nowej kultury naukowej w ciągu następnych prawie dwóch stuleci. Astrologia, z jej dodatkami astronomii, geometrii, arytmetyki i filozofii przyrody, była wiodącą nauką tamtych czasów. Pomimo późniejszej krytyki z różnych stron i środków podjętych w nadziei na uniknięcie jej w przyszłości, astrologia nigdy nie straciła swojego statusu w wielu społeczeństwach islamskich. Często była nauką dworską, a także praktyką uliczną. Ale rzadko wchodziła do formalnej edukacji w meczetach lub madrasach, w przeciwieństwie do pozostałych czterech nauk, które znalazły miejsce w takich instytucjach w kilku późniejszych społeczeństwach islamskich. Jako nauka zintensyfikowała swoje związki z filozofią przyrody i epistemologią Arystotelesa, astronomią, geometrią i arytmetyką w IX i X wieku. Jako narzędzie wyjaśniające i predykcyjne zachowała swoją funkcję jako forma porady politycznej aż do czasów nowożytnych. Zachowało się wiele horoskopów sułtanów, książąt lub szachów, wskazujących

na tę funkcję. Na przykład władca Mogołów Dżahangir (pan. 1605–1627) poprosił o horoskop swojego sąsiada i konkurenta Szacha ‘Abbasa I (1586–1629), ponieważ pomogłoby mu to zrozumieć polityczne ambicje i praktyki szacha.

### **Optyka w Kairze Fatymidów**

Inne dynastie wspierały i wykorzystywały filozofię przyrody oraz towarzystwa atematyczne i uczonych, którzy głosili je na różne sposoby. W IX wieku wśród berberyjskiej populacji dzisiejszej Algierii pojawił się ruch szyicki. W ciągu kilku dekad ci mężczyźni podporządkowali sobie znaczną część Afryki Północnej i stworzyli dynastię, która twierdziła, że pochodzi od Fatimy, córki Mahometa i żony Alego. Stąd stali się znani na świecie jako Fatymidzi. Ich druga nazwa, Isma’ilis, pochodzi od ich ostatniego średniowiecznego imama, Isma’ila b. Ja’fara b. Sadiq (719–?). W 909 roku założyli swoją pierwszą stolicę Mahdiję (obecnie w Tunezji). W 969 r. podbili Egipt i zbudowali Al-Qahira („Zwycięska” = Kair) jako swoją nową stolicę, skąd zarządzili różnymi regionami południowego Morza Śródziemnego i jego wyspami do 1171 r. Ze względu na swoje specyficzne doktryny religijne Fatymidzi stworzyli rozległy program edukacyjny i szeroką sieć misjonarzy, która dotarła do Azji Środkowej. Podobnie jak Abbasydzi, zbudowali ogromne zbiory rękopisów i inne instytucjonalne wsparcie dla nauki. Ich kosmologia w dużej mierze czerpała z neoplatońskich teorii emanacji. Jeśli słynne Listy Braci Czystości, napisane prawdopodobnie w Bagdadzie w X wieku, rzeczywiście odzwierciedlają myśl isma’ilicką, Fatymidzi wspierali studia z zakresu teorii liczb, geometrii, astronomii, kosmologii, geografii, kartografii, fizyki, alchemii, magii, metafizyki, psychologii i etyki, wykorzystując tę wiedzę do argumentowania swoich poglądów na temat imamaty, tj. doktryny imama isma’ili jako duchowego przywódcy społeczności. Dwóch uczonych i urzędnik celny potwierdzają wiarygodność takiego poglądu, nawet jeśli ich związek z naukami isma’ilickimi nie jest znany. Dwoma uczonymi są Ibn Yunus (zm. 1009) i Ibn al-Haytham (zm. po 1040). Obaj są znanymi uczonymi astronomii. Ibn al-Haytham jest jeszcze bardziej znany ze swoich rewolucyjnych zmian w optyce, a także ze swojego nowego wkładu w geometrię i teorię liczb. Urzędnik celny nie jest znany z imienia, ale pozostawił nam fascynującą pracę o astronomii, astrologii, geografii, handlu, historii, roślinach i zwierzętach z cudownymi ilustracjami, wśród których znajdują się liczne mapy. W geometrii Ibn al-Haytham przedstawił nowe pomysły na obliczanie objętości ciał w ruchu obrotowym i kwadraturę koła. Systematycznie omawiał dwie główne metody rozwiązywania problemów stosowane przez starożytnych greckich geometrów — analizę i syntezę. Napisał dwa komentarze do Elementów Euklidesa, w których dokonał przeglądu starożytnych i współczesnych krytyk pracy Euklidesa. Często bronił Euklidesa przed jego krytykami. Natomiast w astronomii napisał pracę krytykującą Modele Ptolemeusza w Almagest za naruszenie podstawowych zasad fizyki Arystotelesa. Jego astronomiczne studia nad światłem Księżyca, formą zaćmień i obrazami Słońca lub Księżyca widzianymi przez otwór w oknie w zaciemnionym pokoju (camera obscura), a także nad problemami złudzeń optycznych w odniesieniu do ciał niebieskich i innych doprowadziły go do jego istotnych studiów nad optyką i jego głównego dzieła, Księgi o optyce (Kitab fi l-manazir). W tej książce, która została przetłumaczona na łacinę w 1270 roku i była ważnym tekstem dla studiów optycznych w XVI i XVII wieku w chrześcijańskich częściach Europy, Ibn al-Haytham połączył arystotelesowskie idee fizyczne i metafizyczne z euklidesowymi metodami geometrycznymi, krytyczną refleksją nad euklidesowymi i ptolemejskimi teoriami optycznymi oraz atomistycznymi ideami mużulmańskiej teologii racjonalnej dla nowej teorii widzenia i światła. Wielu chrześcijańskich i mużulmańskich uczonych z IX i X wieku opowiadało się za tzw. teorią ekstramisy, zgodnie z którą pewna materia wizualna była emitowana z oka w stożku i gdy obiekt wchodził w to pole stożkowe, stawał się widoczny. Poglądy na temat tego, czym była ta materia wizualna, były różne, ale uważano, że emanowała z mózgu przez nerw wzrokowy do oka. Ibn al-Haytham odrzucił tę teorię i jej koncepcje. Jego nowa teoria, oparta na dobrze przygotowanych obserwacjach i licznych eksperymentach, wyjaśnia, w jaki sposób światło świeci z samoświecącego obiektu w prostych promieniach z każdego

punktu na powierzchni obiektu w dowolnym kierunku. Promienie te rozciągają się w półprzezroczystym medium, takim jak powietrze, w sposób prostoliniowy. Są odbijane na gładkich powierzchniach pod określonym kątem. Jeśli przechodzą przez media o różnej przezroczystości, promienie świetlne są załamywane na powierzchniach, które oddzielają te media. Analogiczne stwierdzenia są wysuwane w odniesieniu do oświetlonych nieprzezroczystych lub częściowo nieprzezroczystych obiektów. Kolor różni się od światła i jest właściwością ciał nieprzezroczystych. Ale wszystkie obserwowalne właściwości światła odnoszą się również do koloru. Punkt, z którego emanuje światło lub kolor, musi mieć minimalny rozmiar. Stąd sam promień światła musi mieć minimalny rozmiar, tak zwane najmniejsze światło, aby zastosować geometrię do fizyki. W późniejszych częściach swoich siedmiu ksiąg o optyce Ibn al-Haytham bada odbicie i załamanie światła poprzez koncepcje mechaniczne, takie jak ruch, prędkość, gęstość, opór, odpychanie, uderzenie i ciśnienie wywierane na małe kulki stałego materiału rzucające na ściany. Pożyczył te idee z teorii atomistycznych sformułowanych w IX wieku przez grupę muzułmańskich uczonych teologicznych znanych jako Mu'tazilites. Później Kepler i Descartes podchwycili niektóre z mechanicznych porównań Ibn al-Haythama.

### **Nauki między Chinami a światem islamskim w mongolskim Tabrizie**

W latach 1219–1221 mongolska konfederacja utworzona przez Czyngis-chana (1206–1227) podbiła muzułmańską Azję Środkową. W latach 1253–1256 zniszczyli jedną twierdzę isma'ili w zachodnim Iranie po drugiej, kończąc tym samym władzę isma'ili w regionie. Oprócz ogromnych strat w ludziach, spalono bibliotekę isma'ili w twierdzy Alamut. Na początku 1258 roku najechali Bagdad, zabijając kalifa Abbasydów i wielu mieszkańców miasta. Przed oblężeniem miasta Hulagu-chan (1256–1265), nowy władca Iranu, poprosił jednego ze swoich nadwornych astrologów, Husama al-Dina al-Salara (nieżyjącego już w 1262), aby odczytał dla niego gwiazdy. Astrolog przewidział, że Mongołowie spotkają sześć poważnych nieszczęść, jeśli odważą się zaatakować stolicę Abbasydów. Został uwięziony jakiś czas po upadku miasta, a później stracony. Innym astrologiem, który wynegocjował poddanie Alamutu, umowę, której Mongołowie nie uszanowali, był Nasir al-Din al-Tusi (1201–1274). Został wezyrem nowej dynastii ds. uposażeń religijnych, które otrzymywały fundusze od osób prywatnych głównie na cele religijne. Czasami jednak takie darowizny religijne były specjalnie przeznaczane na nauczanie lub budowę obserwatorium. Jedną z konsekwencji mongolskiego podboju wschodniego świata islamskiego było nasilenie kontaktów między Azją Wschodnią, Południową i Zachodnią. Wiedza astronomiczna i astrologiczna dotarła w postaci ludzi, tekstów i instrumentów na dwór mongolskiej dynastii Yuan (1260–1368) w Khanbaliq (dzisiejszy Pekin), podczas gdy wiedza medyczna, farmaceutyczna, rolnicza i techniczna w ten sam sposób przeniosła się na Zachód. Takie bezpośrednie kontakty istniały w sporadycznej formie od czasów dynastii Song (960–1279), kiedy to udział muzułmańskiego astronoma w projekcie astronomicznym na dworze Song został poświadczony w chińskich źródłach. Kiedy Czyngis-chan najechał obszar wokół Samarkandy i Taszkientu, jeden z jego astrologów wojskowych skontaktował się z lokalnymi ekspertami muzułmańskimi, aby dowiedzieć się o ich metodach przewidywania zaćmienia księżyca i obliczania położenia planet. Jakiś czas później wyjaśnił swoją nowo nabytą wiedzę w traktacie. Mówi się, że w 1244 r. muzułmański astrolog wstąpił na służbę późniejszego mongolskiego cesarza Chin, Kubilaj-chana (1260–1294). Po ustanowieniu rządów mongolskich w Iranie i Chinach, zwiększył się przepływ ludzi i materiałów między dwoma mongolskimi imperiami. W Khanbaliq zainstalowano Muzułmańskie Biuro Administracji Niebios, które kontynuowało obserwacje i przewidywania długo po upadku dynastii Yuan. Na początku dynastii Ming (1368–1644) pracowało tam około dwudziestu pięciu muzułmańskich astrologów. Biuro, w tym jego bogata biblioteka arabskich i perskich rękopisów naukowych, zostało przeniesione do nowej stolicy Nankinu. Pierwszy cesarz Ming nakazał również przetłumaczenie niektórych z tych ksiąg. Biuro działało nadal za panowania mandzurskiej dynastii Qing (1644–1911), która zaprosiła muzułmańskich

astronomów do udziału w konkursie z niedawno przybyłymi jezuitami. W XIII wieku chińscy eksperci w dziedzinie technologii wodnej przybyli z armią Hulagu aż do Iraku. Uczestniczyli w regulacji systemu nawadniającego między Tygrysem a Eufratem. Ponadto chińscy, ujęscy i indyjscy lekarze również podróżowali na zachód. Kilku mongolskich władców w Iranie preferowało leczenie oferowane przez tych lekarzy od tego, które świadczyli lokalni muzułmańscy, żydowscy lub chrześcijańscy lekarze. Pod koniec stulecia w Tabrizie, drugiej mongolskiej stolicy w Iranie, osiedliła się stabilna społeczność chińskich kupców, rzemieślników, żołnierzy i lekarzy. Tam spotkali nie tylko muzułmanów i Mongołów, ale także Ujgurów w służbie dworskiej, genueńskich, weneckich i bizantyjskich kupców, a także okazjonalnie katolickich mnichów i bizantyjskich duchownych. Części frankijskiej kroniki historycznej zostały przetłumaczone na dworze na potrzeby historii powszechnej opracowanej przez lekarza i wezyra Raszida al-Dina (1247–1318). Włoscy żeglarze sporządzili w tym czasie mapę Morza Kaspijskiego i być może przywieźli wiedzę o mapach islamskich do swoich rodzinnych miast. W 1313 r. Rashid al-Din napisał traktat o medycynie chińskiej zatytułowany *Treasure Book of the Il-Khan on the Arts and Sciences of Cathay* (*Tanksukhname-yi Ilkhani dar funun wa-'ulum-i khata'i*). Praca ta była wynikiem współpracy Rashida (żydowskiego konwertyty na islam) i wysoko postawionego mongolskiego szlachcica o imieniu Bolad Aqa (druga połowa XIII wieku), który zajmował stanowisko nadzorca rolnictwa, szefa zaopatrzenia dworu cesarskiego i inne oficjalne stanowiska w Khanbaliq. Obaj mężczyźni rozpoczęli swoje kariery jako odpowiedzialni za przygotowywanie jedzenia dla pałacu, stanowisko o wysokim statusie i reputacji, ale czasami również o wysokim niebezpieczeństwie, ponieważ zatrucie było ulubionym sposobem rozwiązywania konfliktów królewskich i innych. Obaj panowie współpracowali również przy transferze chińskich i zachodnioazjatyckich leków, wprowadzaniu chińskiej wiedzy rolniczej do Iranu i prawdopodobnie przy tworzeniu nowego szpitala w Tebrizie, gdzie stosowano chińskie praktyki medyczne, takie jak akupunktura i nowe formy diagnostyki pulsów, a także podawano nowe wschodnie leki. Podobnie jak w przypadku astronomii i astrologii, wiedza medyczna, farmaceutyczna i kulinarna nie płynęła tylko w jednym kierunku. Lombardzcy, jak i syryjscy uzdrowiciele pracowali na mongolskim dworze w Chinach. Utworzono Muzułmańskie Biuro Medycyny. Jednym z syryjskich lekarzy był Symeon z Kościoła Wschodu, który przybył w latach 1230. i 1240. z Górnego Iraku na mongolski dwór w Qaraqorum, a później służył Hulagu w Maragha, pierwszej mongolskiej stolicy w Iranie. Ci orientalni chrześcijanie opierali swoją teorię i praktykę głównie na wielkim podręczniku Ibn Sina *Kanon medycyny* (*al-Qanun fi l-tibb*). Przedstawiała medycynę galenową w zmodyfikowanej i zmodernizowanej formie, wzbogaconą o leki, praktyki i interpretacje muzułmańskich i chrześcijańskich lekarzy wprowadzane od drugiej połowy VIII wieku. Ta monumentalna praca była nauczana w tym samym czasie na uniwersytetach w Bolonii, Paryżu, Oksfordzie lub Cambridge. Mogła również trafić w 1273 roku do cesarskiej biblioteki mongolskiego dworu w Chinach. Jednym z tematów, który był intensywnie badany przez astrologów w Maragha, Tabriz i gdzie indziej w XIII wieku, były tak zwane trudności (*ishkalat*) astronomii ptolemejskiej. Głównym celem było ich rozwiązanie poprzez zaproponowanie alternatywnych modeli planet. Liczne takie nowe modele były omawiane nie tylko w mongolskiej Maragha i Tabriz, ale także w kolejnych stuleciach w Mameluckim Damaszku, Timurydzkiej Samarkandzie lub Safawidzie w Szyrazie, aby wymienić tylko kilka miejsc takich działań. Szczegóły techniczne tych dyskusji są zbyt liczne i skomplikowane, aby można je było tutaj opisać w sposób podsumowujący. Dlatego tylko jeden aspekt tych nowych modeli zostanie krótko przedstawiony, słynna para Tusi. Nasir al-Din al-Tusi zamierzał zmodyfikować model księżycowy Ptolemeusza w dwóch punktach. Po pierwsze, chciał, aby środek deferentu (koła, które przenosi epicykl, do którego przymocowany jest Księżyc) pozostał w centrum wszechświata. Po drugie, chciał zastąpić mechanizm Ptolemeusza nowym urządzeniem, które skróciłoby linię łączącą środki deferentu i epicyklu o 90° i 270° i wydłużyło ją o 0° i 180°. Rezultatem tych zmian byłby jednostajny ruch deferentu wokół środka wszechświata, podczas gdy nowe urządzenie uwzględniałoby widoczne zmiany w widocznym rozmiarze planety. Tusi opracował to



urządzenie w 1247 r. dla innego modelu i musiał je teraz dostosować do szczególnych warunków ruchu księżyca. W tym urządzeniu, zwanym parą Tusi, okrąg o średnicy połowy większego okręgu porusza się wewnątrz tego większego okręgu wzdłuż jego obwodu. Gdy oba okręgi się poruszają, punkt na obwodzie małego okręgu oscyluje na średnicy większego okręgu w ruchu liniowym. Dalsze ważne kwestie omawiane przez astrologów na dworze mongolskim i ich następców gdzie indziej dotyczą kwestii, czy astronomia powinna być zakotwiczona w filozofii przyrody, czy Ziemia się obraca i jaka jest natura i pochodzenie komet. Wszystkie te pytania miały zyskać na znaczeniu w coraz bardziej zażartych debatach na temat nieba w XVI i XVII wieku w niektórych krajach chrześcijańskich w Europie. Wiele z tych tematów było nie tylko omawianych przez czołowych uczonych w obserwatoriach w stolicach mongolskich, ale także nauczanych w madrasach w Iranie i poza nim. To połączenie badań i edukacji zapewniło dystrybucję nowej wiedzy do Syrii, Azji Środkowej, Anatolii, wschodniego Iranu i Indii, gdzie była ona nadal studiowana i dyskutowana do XVIII wieku. Równoległe do tych dyskusji na temat teorii astronomicznej, teksty matematyczne, które były gromadzone od późnej starożytności i wzbogacane o nowe teksty od IX wieku, były na nowo redagowane i komentowane. Nasir al-Din al-Tusi był wiodącym uczonym w tym przedsięwzięciu. Jego nowe wersje Elementów Euklidesa i tak zwanych Ksiąg Środkowych, które miały być studiowane po Elementach Euklidesa i przed Almagestem Ptolemeusza, stały się głównymi tekstami nauczania geometrii płaskiej, bryłowej i sferycznej w madrasach i meczetach w wielu społeczeństwach islamskich od Maroka po Indie aż do późnego XIX wieku.

### **Tworzenie map w osmańskim Konstantynopolu i Stambule**

Nasz ostatni przykład tego, jak filozofia przyrody i nauki matematyczne zostały przyjęte i zaadaptowane w społeczeństwach islamskich, pochodzi z XV wieku. W 1453 roku, kiedy bizantyjski Konstantynopol został ostatecznie zdobyty przez armię osmańską, ideologiczna orientacja i skład demograficzny powoli rozwijającego się państwa osmańskiego zaczęły się zmieniać. Trzeba było zintegrować dużą liczbę niemuzułmanów, zadanie to narastało wraz z późniejszą ekspansją Osmanów do Europy Wschodniej i Morza Śródziemnego. Stworzono nowe ideologie uniwersalnego panowania, które wykorzystywały Aleksandra Macedońskiego (Dhu l-qarnayn = Dwurożny) i Konstantynopol jako potężne symbole. Rozwój technologiczny w zakresie uzbrojenia i budowy statków, górnictwa i kanalizacji był ważnymi elementami zapewniającymi osmańską siłę nawigacyjną i militarną. Wśród nauk, którym patronował dwór i jego różne frakcje, była geografia. W pierwszej fazie arabskie kosmografie, geografie i relacje z podróży zostały przetłumaczone na język osmańsko-turecki. Wyznaczali ton i gust elit osmańskich i ich uczonych w madrasach, meczetach i na dworze. Pod koniec XV i na początku XVI wieku korsarze, którzy zostali kapitanami i admirałami osmańskimi, zaczęli tworzyć traktaty geograficzne, podręczniki wybrzeży i wysp Morza Śródziemnego oraz mapy portolanów, z których niektóre przedstawiały również Amerykę. Najbardziej znanym przedstawicielem tych nowych tekstów i map jest kapitan osmański, a później admirał Piri Re'is (niegdyś 1554). Jego fragmentarycznie zachowane mapy świata i dwie wersje Podręcznika Morza Śródziemnego (Kitab-i bahriye), poświęcone dwóm sułtanom osmańskim, łączyły nową, praktyczną wiedzę z wiedzą zdobytą od włoskich, hiszpańskich i portugalskich więźniów i konwertytów z różnych krajów, włoskich książyk przedstawiających wyspy Morza Śródziemnego oraz wiedzy z książyk arabskich i perskich. Mapy świata zniknęły gdzieś w pałacu, gdzie ich fragmenty odkryto na początku XX wieku. Podręcznik Morza Śródziemnego był często kopiowany i wzbogacany aż do XIX wieku. Zainteresowanie Osmanów mapami wzrosło w ciągu następujących dwóch stuleci po Piri Re'isie. Książęta zamawiali mapy świata w Wenecji i Wiedniu. Historycy dodawali zmodernizowane mapy świata do swoich kronik aktualnego stanu rzeczy. Europejscy goście sprzedawali książki i mapy w Stambule. Dwóch uczonych z VII wieku, Hajji Khalifa (zm. 1657) i Abu Bakr b. Bahram al-Dimashqi (zm. 1691), zastąpili dzięki roli, jaką odegrali w tłumaczeniu łacińskich atlasów na turecki osmański. W latach 1654–1656 Hajji Khalifa wraz z

francuskim konwertytą Mehmedem Ikhlasim przetłumaczył Atlas Minor Gerharda Mercatora i części Theatrum Orbis Terrarum Abrahama Orteliusa. W latach 1675–1685 Abu Bakr b. Bahram al-Dimashqi przetłumaczył Atlas Maior Joana Blaua, współpracując z całą grupą chrześcijańskich i muzułmańskich współpracowników. Były to duże projekty tłumaczeniowe, które unowocześniły geografię osmańską i kartografię, przede wszystkim dla regionów spoza świata tradycyjnej islamskiej wiedzy geograficznej. Nowe Lustro świata (Cihannüma, wersja II) Hajji Khalify stało się bestsellerem osmańskim, pierwszą drukowaną geografią osmańską i książką, która nadal przyciągała uwagę księcia Kadzarów w Teheranie na początku XX wieku. Ale nie tylko mieszkańcy społeczeństw islamskich docenili liczne książki, które były wynikiem pracy Hajji Khalify i Abu Bakra al-Dimashqiego. Po przetłumaczeniu Cihannümy na łacinę w XVIII wieku, kartografowie i profesorowie uniwersyteccy w chrześcijańskich krajach Europy w równym stopniu wykorzystywali tę pracę do tworzenia nowych map lub dyskusji na temat geografii i historii w Azji Zachodniej i Afryce Północnej. Zanim jednak mogli to zrobić, podejście asertoryczne omówione wcześniej musiało zostać zreformowane. Omówimy ten proces, zanim powrócimy do centralnej roli tłumaczeń i tłumaczy we wczesnych i późnych okresach islamskiej filozofii przyrody, medycyny i nauk matematycznych.

### **Nowy naturalizm i nowe społeczeństwo**

Rzeczy na Zachodzie zaczęły się zmieniać mniej więcej w połowie XI wieku. Podobnie jak w przypadku społeczeństwa islamskiego, niektóre z najwcześniejszych kroków w tej transformacji koncentrowały się wokół odzyskiwania i studiowania prawa, najpierw świeckiego prawa rzymskiego, a następnie kościelnego, prawa kanonicznego, ponieważ studiowanie prawa oraz jego przyczyn i skutków w długim XII wieku miało wiele wspólnego z restrukturyzacją kultury w późniejszym europejskim średniowieczu. Studiowanie prawa rzymskiego było szczególnie dostosowane do okresu zainteresowania strukturami logicznymi, ale początkowo brakowało źródeł. Prawo, podobnie jak teologia i filozofia, nabyło zbiór autorytatywnych materiałów — w formie Kodeksu Justyniana, pism Ojców Kościoła i Arystotelesa — ale prawdziwa praca i kreatywność leżały w jego zrozumieniu, interpretacji, rozwoju i zastosowaniu. Patrząc z tej perspektywy, gdy późniejsi średniowieczni teologowie i filozofowie przyrody dostosowywali stare źródła do tworzenia nowych teorii, stosowali techniki zapoczątkowane przez wcześniejszych uczonych prawa, którzy interpretowali autorytatywnie przepisane kodeksy prawa. Oczywiście, transformacja społeczeństwa w XII wieku była czymś więcej niż tylko kwestią interpretacji autorytetów. Rewolucja prawna w XI i XII wieku przekształciła mały i osobisty rząd w rozległy i biurokratyczny, a w tym procesie, poprzez sporne sfery władzy w Kościele i Państwie, nadała ogromny impuls wartości rozumu i nauki. Jak zauważył Jan z Salisburys (zm. 1180) w połowie XII wieku, król musiał codziennie zwracać uwagę na prawo, a zatem niepiśmienny król — dawniej powszechny w społeczeństwie europejskim — był teraz *asinus coronatus* (czyli „ukoronowanym osłem”). Jednak studiowanie prawa i zmiany, które wywołało, nie tylko zachęcało do nauki; zmieniło również podstawę dowodów niezbędnych do skazania lub uniewinnienia. W latach 1100–1200 standard dowodów, który obowiązywał przez stulecia — często obejmujący próbę i oczyszczenie — został poddany wnikliwej analizie i uznany za nieskuteczny lub błędny. Piotr Kantor (zm. 1197) omawiał tę kwestię szczegółowo w swoim *Verbum abbreviatum* i argumentował, że oprócz teologicznych powodów odrzucenia próby, istniały dobre powody empiryczne: oskarżeni wezwani do udowodnienia swojej niewinności w procesie bitwy zawsze wybierali mistrzów, którzy byli wykwalifikowanymi wojownikami, a nie słabymi i niedoświadczonymi, a próbę wody można było rozegrać, ćwicząc techniki oddychania. Piotr opowiada nawet przypadek mężczyzny, który zmuszony poddać jednego ze swoich synów próbie wody, przetestował każdego z nich i wybrał tego, który dawał mu największe szanse na sukces. Podczas gdy nadprzyrodzone lub mistyczne zasady dowodowe stopniowo ustępowały miejsca różnorodnym zamiennikom, wspólnym wątkiem w całym okresie przejściowym było poleganie na rozumie, obserwacji i stosowaniu zasad logiki. Choć ich przedsięwzięcia z pewnością nie były identyczne, w

kilku podstawowych punktach jurysprudencja i pojawiające się osiągnięcia filozofii przyrody i teologii wykazywały podobieństwa: każdy z nich stanowił zintegrowany zbiór wiedzy; w każdym z nich poszczególne zjawiska były systematycznie wyjaśniane, zazwyczaj w kategoriach ogólnych zasad; i każde opierało się na obserwacji, hipotezie i weryfikacji, choć ze znacznymi różnicami zarówno czasowymi, jak i geograficznymi. Obok tej dyscyplinarnej i metodologicznej transformacji można również dostrzec głęboką zmianę w postrzeganiu miejsca człowieka w naturze. Jeśli dawniej człowiek był po prostu narzędziem boskiej aktywności, nędzną, bezsilną istotą wobec natury i boskości, sztuka, literatura i teologia następnego okresu podkreślały wstawienniczą dobroć Dziewicy, żałosne cierpienia Chrystusa, nowe teorie odkupienia, które dawały większe miejsce przymierzu między Bogiem a człowiekiem. Sam człowiek nabył nową godność; jak zauważył Bernard Silvestris (ok. 1150) w swoim *De mundi universitate (Cosmographia)*,

Zwierzęta wyrażają swoje zwierzęce stworzenie

Przez nisko zwieszoną głowę i skierowane w dół oczy;

Ale człowiek trzyma głowę wysoko w kontemplacji

Aby pokazać swoje naturalne pokrewieństwo z niebem.

Widzi, że gwiazdy przestrzegają praw Bożych:

Nauczają praw, dzięki którym ludzkość może się wznieść.

Nie tylko człowiek się zmieniał: wszechświat stał się bardziej przyjaznym, znajomym, zrozumiałym, jednorodnym i wzajemnie powiązanim bytem. Gerhoh z Reichersbergu (1092/1093–1169) zauważył, że „cała struktura wszechświata jest odpowiednio wyposażona”, pogląd ten podkreślił Hugon ze Świętego Wiktora (zm. 1141), zauważając, że „uporządkowane rozmieszczenie rzeczy od góry do dołu w sieci tego wszechświata... jest tak zorganizowane, że... nic nie jest niepołączone lub rozdzielne z natury lub czegoś zewnętrznego. W swoim komentarzu do Timajosa Platona, Wilhelm z Conches (zm. 1154 lub 1160) starał się połączyć tę agregację bytów świata z uporządkowanym zbiorem propozycji Euklidesa, gdy zauważył, że „świat jest uporządkowanym zbiorem stworzeń”. Jeśli, jak zauważył Bernard z Chartres (działający w latach 1119–1126) w bardzo znanym fragmencie, uczeni jego pokolenia „stawali na ramionach gigantów i potrafili widzieć dalej niż ich wielcy poprzednicy”, byli w stanie to zrobić tylko dlatego, że opanowali teraz siedem sztuk wyzwolonych i świat, który był ich przedmiotem. Światopogląd Bernarda, poza wyrazami intelektualnej śmiałości, rozszerzył się o możliwość, że teraźniejszość może przewyższyć przeszłość, co było nie do pomyślenia przed rokiem 1050. Tej psychologicznej przemianie towarzyszyła desakralizacja natury. Podczas gdy późniejsi średniowieczni teologowie i filozofowie nadal twierdzili, że Bóg jest stwórcą i podtrzymywaczem natury, stwierdzili również, że badanie natury wymaga poszukiwania przyczyn, co było zadaniem dla filozofii, ale nie można tego oczekiwać od Biblii. Rezultatem było położenie nacisku na naturalizm, a nie nadprzyrodzoność; jak zauważył XII-wieczny egzegeta Andrzej ze Świętego Wiktora (działający ok. 1150) w swoim komentarzu do Ezechiela: „... w objaśnianiu Pisma Świętego, gdy opisane wydarzenie nie dopuszcza żadnego naturalnego wyjaśnienia, wtedy i tylko wtedy powinniśmy uciekać się do cudów”. Teraz obecność cudów była sama w sobie oznaką wielkiego miłosierdzia Boga, ponieważ wiele cudów uzdrowień sygnalizowało troskę Boga o ludzi i miłość do nich, dokonywaną za pośrednictwem świętych. Ale Andrzej sugeruje, że może być za dużo dobrych rzeczy: ponieważ wczesnośredniowieczna definicja „cudu” była (zgodnie z jej etymologią) tym, co wywoływało zdumienie, wszystko, co niezrozumiane, staje się cudowne. Wraz z wprowadzeniem greckich i islamskich tekstów w XII wieku, szczególnie w tradycji arystotelesowskiej, rozwinęła się dokładniejsza artykulacja wspólnego biegu natury, a w konsekwencji sugestia Andrzeja, aby szukać naturalnych wyjaśnień cudownych wydarzeń,

mogła zostać osiągnięta. Oczywiście, cudowność można całkowicie wygnać, sukcesywnie poszerzając to, co naturalne, aby uwzględnić takie wydarzenia, jak zauważył T. H. Huxley. Jedną z ironii XIII wieku jest równoczesne napięcie między tymi dwiema tendencjami: teologowie tego okresu tworzący doktrynę transsubstancjacji w Eucharystii patrzyli z podejrzliwością zarówno na popularne opowieści o cudownych krwawiących hostiach w okresie poprzedzającym święto Bożego Ciała, jak i na próby wyjaśnienia fizyki transformacji w kategoriach czysto filozoficznych.

### **Początki nauki w Bagdadzie Abbasydów**

Teksty greckie i arabskie wprowadzone do katolickich części Europy od XII wieku były rezultatem wcześniejszego, niezwykle twórczego i produktywnego okresu, w którym filozoficzne, medyczne, matematyczne i inne naukowe pisma starożytnego świata zostały po raz pierwszy przetłumaczone na arabski. Tłumaczenie traktatów na arabski z innych języków i czasów było już ważnym elementem pracy trzech astrologów, których wcześniej widzieliśmy, jak układali horoskop Bagdadu, a praktyka ta rozwijała się z coraz większą szybkością po ich śmierci. Współpraca ponad granicami religijnymi nie sprawiała żadnych problemów. Raczej była częścią normalnej nauki aż do X wieku, a w niektórych miejscach również w znacznie późniejszych czasach. Konwersja na islam wśród uczonych dworskich już się rozpoczęła, często powodowana bezpośrednim zachęcaniem przez kalifa lub innego dworzanina. Zainteresowanie praktykami astrologicznymi i wydarzeniami dworskimi nie ograniczało się do studentów nauk matematycznych, których cztery główne dyscypliny obejmowały teorię liczb, geometrię, astronomię i muzykę teoretyczną, a także wiele innych dziedzin, takich jak optyka, mechanika, algebra, architektura i różne systemy arytmetyki. Uczni zajmujący się geografią i historią również zwrócili na to uwagę. Działalność naukowa zajmowała ważne miejsce na dworze kalifa. Tak było przez cały okres istnienia dynastii Abbasydów, chociaż interesy poszczególnych kalifów, członków ich rodzin i dworzan różniły się, a rodzaj wsparcia, jakiego udzielali uczonym, wahał się. Po założeniu w 762 r. Bagdad wkrótce stał się miastem przyciągającym kupców, żołnierzy i uczonych. Jego szybki rozwój oferował możliwości awansu społecznego i materialnego. Ale było to również miasto masowych konfliktów i niepokoїв społecznych, politycznych i religijnych. Na przestrzeni wieków nastąpił wzrost profesjonalnej grupy filozofów, astrologów i lekarzy o szerokich zainteresowaniach naukowych — a także, należy wspomnieć, spalenie ich ksiązek. Kiedy Mongołowie szturmowali miasto w 1258 roku i położyli kres kalifatowi Abbasydów, kronikarze ubolewali, że strumienie krwi popłynęły do Tygrysu, tony cennych rękopisów utonęły w jego głębinach, a niebo zostało przesłonięte dymnymi chmurami płonących domów. Formowanie się tej klasy uczonych i produkcja ich cennych rękopisów rozpoczęły się wraz z przejściem nowej dynastii Abbasydów (750–1258) do astrologii i tłumaczeniem tekstów średnioperskich, syryjskich, greckich i sanskryckich na temat astrologii, logiki, dialektyki, etyki, a w końcu medycyny, metafizyki, fizyki, astronomii, matematyki i innych dziedzin wiedzy. Powody tej poważnej zmiany w poglądach kulturowych i polityce kalifatu nie są do końca jasne. Kilka czynników miało tu znaczenie. Wśród irańskich uczonych i dworzan, którzy przeszli z Umajjadów na Abbasydów lub przybyli ze swoimi wojskami do nowej stolicy, byli, oprócz astrologów, ważni administratorzy, lekarze, sędziowie, nauczyciele języków i ludzie zainteresowani kwestiami wiary i polityki. Ibn al-Muqaffa (w. 756) i rodzina Barmakidów byli wśród najbardziej wpływowych administratorów, którzy sami tłumaczyli z języka średnioperskiego na arabski lub patronowali tym mężczyznom, którzy znali sanskryt lub grekę. Teksty przetłumaczone w okresie ich popularności między latami 750. a 803 to, oprócz wspomnianego powyżej Mahasiddhanty, słynna Kalila wa-Dimna, sasanidzkie kroniki historyczne, sanskryckie teksty medyczne i być może filozoficzne, a najprawdopodobniej Elementy Euklidesa i Almagest Ptolemeusza, których wczesne tłumaczenia przypisuje się w niektórych rękopisach patronatowi Barmakidów, a w innych wsparciu kalifa Abbasydów Haruna ar-Raszida (pan. 786–809). Na polecenie kalifa al-Mahdiego (pan. 775–785), Tymoteusz (780–823), patriarcha Kościoła Wschodu i doradca kalifa, zorganizował tłumaczenie Tematów Arystotelesa na język arabski. Mógł

polegać w tej pracy na innych syryjskich chrześcijanach i ich doświadczeniu w tłumaczeniu tekstów Arystotelesa. Od VI wieku członkowie różnych kościołów syryjskich studiowali logikę Arystotelesa w języku greckim lub syryjskim. W VIII wieku powstały syryjskie tłumaczenia Metafizyki Arystotelesa. Ponadto syryjscy duchowni, którzy byli również mnichami, jak Sergiusz z Reszajny (zm. 536), tłumaczyli teksty medyczne na syryjski, w szczególności te Galena. Wiele z tych wczesnych syryjskich tłumaczeń jest dla nas straconych. Niektóre były nadal dostępne w IX wieku, kiedy Hunayn b. Ishaq (zm. 873), najstynniejszy arabski chrześcijański tłumacz z greckiego na syryjski i arabski, zaczął tworzyć nowe tłumaczenia dzieł Galena oprócz tekstów Hipokratesa i innych starożytnych lekarzy oraz tekstów filozoficznych, głównie Arystotelesa. Zdecydowane odejście od tłumaczenia tekstów środkowoperyjskich na arabski w środowisku dworu Abbasydów w kierunku tłumaczenia bardzo szerokiego zakresu dzieł greckich nastąpiło po 819 roku. W 813 roku Tahir b. Husajn, dowódca wojsk najstarszego syna Haruna ar-Raszida, 'Abdallaha, pokonał młodszego brata 'Abdallaha i panującego kalifa al-Amina (pan. 809–813). Zostając kalifem al-Mamunem (pan. 813–833), 'Abdallah nie chciał rządzić z Bagdadu, ale wycofał się do swojej twierdzy Merv w północno-wschodnim Chorasanie (dzisiejszy Turkmenistan). Po sześciu latach rządów z tego odległego zakątka imperium kalif w końcu zdał sobie sprawę, że jego władza prawie wymknęła mu się z rąk i że potrzebna jest radykalna decyzja. Postanowił wrócić do Bagdadu i zerwać z irańską orientacją swojego ojca, dziadka i pradziadka. Teksty z jego okresu sugerują, że on i jego nowi doradcy w Bagdadzie przedstawiali go i jego elitę jako filhelleńskich wielbicieli i spadkobierców starożytnej greckiej filozofii i nauk. Ta ważna zmiana w nastawieniu i propagandzie była prawdopodobnie ważnym czynnikiem w tłumaczeniu niemal całego dzieła Arystotelesa, Galena, Ptolemeusza i Euklidesa, a także wielu innych greckich tekstów medycznych, matematycznych, astronomicznych, astrologicznych, a być może także alchemicznych w IX wieku. Wpływowi dworzanie również dostarczali pieniędzy na takie działania i często sami byli uczonymi nowych nauk. Należeli do nich Abu Yusuf Ya'qub b. Ishaq al-Kindi (zm. ok. 870), a także trzech synowie byłego rozbójnika drogowego, który został astrologiem, Muhammad, Ahmad i al-Hasan, lepiej znani razem jako Banu Musa. Godna uwagi była również rodzina astrologów, ludzi pióra i muzyków, Banu al-Munajjim. Drugą ważną grupą społeczną w tym procesie tłumaczenia byli chrześcijańscy lekarze. Patronowali tłumaczeniom tekstów greckich na syryjski, a później także na arabski. Równoległe do tych tłumaczeń tekstów filozoficznych, naukowych i medycznych, greckie kroniki historyczne, które zostały przetłumaczone na syryjski w poprzednich stuleciach, zaczęto teraz tłumaczyć lub streszczać po arabsku. Dawały one muzułmańskim uczonym z późnego IX i X wieku, którzy aktywnie rozwijali religijną i polityczną historiografię islamską, dostęp do chrześcijańskich i niechrześcijańskich koncepcji historycznych, stylów i danych z poprzednich stuleci. Ponadto kręgi chrześcijańskie również zaczęły tłumaczyć Biblię na arabski, a czasami muzułmańską literaturę religijną na grecki. Tłumaczenie było zatem ważną działalnością intelektualną o wielu celach w licznych różnych społecznościach Bagdadu i innych miast Imperium Abbasydów. Znaczenie i zakres tych działań tłumaczeniowych można zobaczyć w twórczości trzech z wielu uczonych z Bagdadu. Muhammad b. Musa al-Khwarazmi był jednym z dworskich astrologów, którzy przeszli z zoroastryzmu na islam. Opracował wersję podręcznika astronomicznego o nazwie Sindhind, modyfikując go poprzez wprowadzenie parametrów i metod Ptolemeusza. Chociaż wkrótce został zastąpiony przez nowe podręczniki wydane przez innych dworskich astrologów w latach 820. i później, oparte w pełni na Almagest Ptolemeusza, a także na nowych obserwacjach i pomiarach, stał się ważnym źródłem rozwoju astronomii na Półwyspie Iberyjskim podczas panowania władców muzułmańskich, jak i chrześcijańskich. Kilka jego tabel znajduje się w późniejszych podręcznikach astronomicznych w języku arabskim, łańskim i hebrajskim. Zaadaptowana wersja Zij al-Sindhind i komentarz do niej zostały przetłumaczone w XII i XIII wieku na język łański i hebrajski. Al-Khwarazmi pisał również o astrolabium i kalendarzu żydowskim. Oprócz prac astronomicznych, al-Khwarazmi napisał książkę o geografii z serią map opartych na jednym z arabskich tłumaczeń Geografii Ptolemeusza. Dodał wiele nowych miast z ich współrzędnymi, skrócił

nadmiernie długą oś zachód-wschód Morza Śródziemnego Ptolemeusza o  $10^\circ$  i zaprojektował nowe mapy lokalne, na przykład Nilu, których nie ma w zachowanych bizantyjskich kopiach dzieła Ptolemeusza. Kilka map dołączonych do prac geograficznych lub historycznych w późniejszych wiekach ilustruje wpływ Księgi Obrazu Ziemi (Kitab surat al-ard) al-Khwarazmiego w społeczeństwach islamskich, jak i chrześcijańskich wokół Morza Śródziemnego. Jego przedstawienie Nilu można znaleźć również na kilku włoskich i katalońskich mapach morskich lub mapach świata z XIV i XV wieku (często określanymi jako mapy „portolan”). Dwa inne traktaty o długim wpływie na nauki matematyczne w społeczeństwach islamskich i chrześcijańskich w Azji, Afryce, na Półwyspie Iberyjskim, we Włoszech, Francji, Anglii lub krajach niemieckich to Algebra (Mukhatasar fi 'ilm al-jabr wa'lmuqabala) Al-Khwarazmiego i jego Arytmetyka indyjska (być może: al-Hisab al-hindi). Algebra jest pierwszym systematycznym opracowaniem równań liniowych i kwadratowych w języku arabskim z formalną terminologią, algorytmami i demonstracjami wizualnymi. Wydaje się, że opiera się na znacznie starszych praktykach mezopotamskich, być może indyjskich koncepcjach i być może greckich metodach. Po rozdziale o algebrze Al-Khwarazmi traktuje geometrię jako określanie pól i objętości figur elementarnych oraz problemy praktyki handlowej i prawnej. Zgodnie z tradycją grecką, a nie indyjską, liczby są postrzegane jako dodatnie liczby naturalne zaczynające się od 2, do których dodano 1 jako źródło lub pierwiastek wszystkich liczb. Podczas gdy Algebra Al-Khwarazmiego przez długi czas pozostawała jednym z najbardziej wpływowych podręczników algebry w kręgach uczonych islamskich, jego Arytmetyka indyjska została wkrótce zastąpiona innymi, prawdopodobnie bardziej systematycznymi i rozbudowanymi traktatami. W rezultacie praca ta zaginęła w języku arabskim. Ale ponieważ dotarła przed XII wiekiem do Al-Andalus (muzułmańskiego obszaru krajów, które obecnie znamy jako Hiszpania i Portugalia), stała się jednym z tekstów matematycznych przetłumaczonych wówczas na łacinę. W tej formie stała się przodkiem wszystkich dalszych tekstów łacińskich na temat arytmetyki indyjskiej i wprowadzenia tak zwanych liczb arabskich do matematyki zachodniej, handlu i wreszcie praktyk życia codziennego. Współczesna matematyka zawdzięcza Al-Khwarazmiemu również swoje terminy algebra i algorytm. Al-Kindi, młodszy arabski współczesny Al-Khwarazmiemu, miał zaszczyt zostać pierwszym muzułmańskim filozofem i później został nazwany filozofem Arabów. Współpracował z chrześcijańskimi tłumaczami w swoim dążeniu do wiedzy, którzy tłumaczyli dla niego traktaty neoplatońskie i arystotelesowskie, Wprowadzenie do teorii liczb Nikomacha z Gerazy (II wiek) i inne greckie pisma. Samemu przypisuje się setki traktatów. Jego twórczość filozoficzna jest silnie neoplatońska, chociaż filozofem, którego najbardziej cenił, był Arystoteles. Dlatego napisał pierwszy arabski traktat o harmonii między filozofiami Platona i Arystotelesa. Co więcej, jego nauki filozoficzne były ukształtowane przez jego przekonania o ważnych dogmatach islamu. Wierzył w stworzenie świata przez Boga z niczego i zmartwychwstanie duszy ludzkiej, odrzucał wieczność wszechświata i klasyfikował wiedzę jako boską i ludzką. Jego idea Boga, wyłożona w jednym z jego najważniejszych traktatów filozoficznych, O pierwszej filozofii (Fi l-falsafa al-ula), nie jest jednak taka sama jak w Koranie. Bardziej zawdzięcza to poglądom neoplatońskich filozofów Plotyna (205–270) i Proklosa (zm. 485), a także dyskusjom niektórych jego współczesnych zainteresowanych sprawami wiary islamskiej, mutazylitów. Al-Kindi postrzegał Boga jako „jednego i prostego”: źródło jedności we wszystkich innych rzeczach, którego nie można było odpowiednio opisać ludzkim językiem. Listy Al-Kindiego o duszy i intelekcie uczą, że racjonalna dusza jest oddzielona od ciała i jest niematerialną substancją, podczas gdy dwie pozostałe części potrójnej struktury duszy Platona są usytuowane w ludzkim ciele. Intelekt jest w opinii al-Kindiego paralełą do percepcji zmysłowej i zaczyna się w stanie potencjalności. Po uchwyceniu formy intelektualnej zaczyna myśleć i przekształca się w intelekt czynny. Ten intelekt czynny umożliwia ludziom myślenie o formach intelektualnych według woli, stan, który al-Kindi nazywa intelektem nabytym. Aktualizacja potencjalnego intelektu nie dokonuje się w doświadczeniu empirycznym, lecz w zewnętrznym, nieludzkim intelekcie pierwszym, koncepcji ściśle związanej z ideami Arystotelesa zawartymi w dziele O duszy (De anima). Późniejsi neoplatońscy filozofowie

arystotelesowscy, tacy jak Abu Nasr al-Farabi (zm. 950) i Ibn Sina (zm. 1037), odbiegają tutaj (i w innych ważnych punktach, takich jak wieczność świata, stworzenie i zmartwychwstanie) od al-Kindiego, jak również od Arystotelesa i zajmują bardziej empiryczne stanowisko. Al-Kindi napisał również wiele ważnych tekstów na temat astronomii, astrologii, optyki, medycyny, wróżbiarstwa, produkcji perfum i mechaniki, z których niektóre zostały również przetłumaczone na łacinę, hebrajski, europejskie języki ojczyste i być może perski. Uczył muzułmanów, chrześcijan, a być może innych studentów w sprawach związanych z jego własnymi zainteresowaniami intelektualnymi. Thabit b. Qurra, członek sabijskiej społeczności czcicieli gwiazd wokół Harranu (dziś we wschodniej Anatolii), przybył wcześniej w młodości do Bagdadu dzięki patronatowi Muhammada b. Musy, najstarszego z Banu Musa. Zrobił stromy krok w górę na dworze, aby zostać astrologiem dworskim i towarzyszem kalifów. Był również odnoszącym sukcesy nauczycielem muzułmańskich, chrześcijańskich i żydowskich studentów w zakresie technik tłumaczeniowych, geometrii, astronomii, mechaniki, logiki i być może innych nauk. Pisał listy o filozofii Arystotelesa dla członków elity Abbasydów, aby spopularyzować wiedzę o niebie i naturze. Thabit był bez wątpienia najbardziej utalentowanym uczonej nauk matematycznych w IX-wiecznym Bagdadzie. Tłumaczył lub redagował ważne teksty Archimedesza, Ptolemeusza, Euklidesa, Nikomacha i innych starożytnych uczonych. W języku arabskim układał traktaty na temat teorii liczb (liczby przyjazne), algebry (użycie dwóch twierdzeń z Elementów Euklidesa w celu udowodnienia, że algorytmy al-Chwarazmiego do rozwiązywania równań kwadratowych dają poprawne wyniki), geometrii (obliczanie pól parabol i hiperboli oraz ich objętości, gdy obracają się wokół pewnej osi), mechaniki (warunki równowagi wagi nierównoramiennej dla skończonej i nieskończonej liczby ciężarków do niej przymocowanych) i astronomii. Pisał w swoim ojczystym języku syryjskim, głównie na tematy dotyczące jego własnej wspólnoty religijnej, której był przywódcą w Bagdadzie, ale także na szereg tematów filozoficznych. Praca tych uczonych i wielu innych, którzy tłumaczyli i wprowadzali starożytną filozofię w życie w społeczeństwach islamskich, znalazła swoje odzwierciedlenie w społeczeństwach katolickich w Europie, gdy kolejny ruch translatorski rozpoczął udostępnianie arabskiej filozofii, medycyny, nauk matematycznych i okultystycznych – a także starożytnej wiedzy przepuszczonej przez pryzmat islamu – odbiorcom na Półwyspie Iberyjskim, we Francji, Włoszech, na Wyspach Brytyjskich i w niektórych krajach niemieckich.

### **Tłumaczenie i transformacja**

W rzeczywistości można argumentować, że szerokie zmiany strukturalne w społecznym, politycznym, kościelnym i psychologicznym stanie katolickiej Europy były spowodowane i miały na nie wpływ odzyskanie starożytnych tekstów, uzupełnionych komentarzami i całkowicie oryginalnymi dziełami z arabskiego i innych źródeł. Podczas gdy początkowe poruszenia tego ruchu można dostrzec w matematycznych i astronomicznych osiągnięciach pod koniec X wieku, późny XI wiek do ostatniej ćwierci XIII wieku oznacza szczyt tłumaczeń. Jak widzieliśmy, podczas gdy we wczesnym średniowieczu istniały zarówno tłumaczenia starożytnych dzieł, jak i podręczniki informacji naukowych, jakość i kompletność materiału pozostawiała wiele do życzenia. Aby poprawić jakość i wypełnić te luki, Adelard z Bath (ok. 1080–po 1150) i Gerard z Cremony (ok. 1114–1187) rozpoczęli odpowiednio tłumaczenia Elementów Euklidesa i Almagestu Ptolemeusza. Ponadto, nauka logiki i fizyki miała nierówną tradycję tekstową we wczesnym średniowieczu. Pierwszym krokiem w remediacji było dokonanie przeglądu zakresu materiału, którego brakowało. Tutaj arabskie dzieła, takie jak Katalog nauk Abu Nasra al-Farabiego (ok. 870–950), pozwoliły docenić szerszą wiedzę Arystotelesa, w wyniku czego zaczęto go uważać za „filozofa”. Podobnie w medycynie Galen był uznawany za autorytet, a pierwsi tłumacze, tacy jak Konstantyn Afrykański (działający w latach 1065–1085), Burgundio z Pizy (ok. 1110–1193) i Gerard z Cremony, najpierw sporządzali listy jego dzieł, a następnie szukali tekstów do przetłumaczenia. Jeśli jednym z celów było odzyskanie starożytnych dzieł greckich, łacini tłumacze czerpali wodę z dwóch różnych studni. Z jednej strony niektórzy, jak Jakub z Wenecji (zm. po 1147) i Henryk Arystyp (zm.

1162), korzystali z dyplomatycznych lub kościelnych placówek w Bizancjum, aby tłumaczyć teksty w języku greckim. Inni, jak Konstantyn Afrykański, przebywali na Sycylii lub w południowych Włoszech, gdzie używanie języka greckiego nigdy całkowicie nie zanikło. Drugim źródłem były arabskie tłumaczenia greckich dzieł, głównie na Półwyspie Iberyjskim, a zwłaszcza w dolinie rzeki Ebro i regionie wokół Toledo. Po podboju miasta w 1085 r. europejscy tłumacze zjechali się do Toledo w poszukiwaniu starożytnych dzieł w tłumaczeniu na arabski, wspomagani przez obecność Mozarabów, którzy posiadali teksty arabskie, oraz Żydów, których biegłość językowa zarówno w języku hebrajskim, jak i arabskim była przydatna dla łacińskich tłumaczy. Wyniki tego szerokiego geograficznego i wielojęzycznego ruchu okazały się znaczące dla łacińsko-europejskiej wiedzy o starożytnej nauce. Nic dziwnego, że wiele dzieł tłumaczono wielokrotnie, czasami dlatego, że tłumacze nie byli świadomi wcześniejszych tłumaczeń, ale także dlatego, że nie byli zadowoleni z wcześniejszych wersji. Na przykład Jan z Salisburyskiej katedry narzeka w *Metalogiconie*, że trudne dzieło, takie jak *Analitika Posteriora*, nie zostało poprawnie przetłumaczone. Ponieważ bizantyjscy uczeni, jak się wydaje, kładli nacisk na czystą tradycję klasyczną, komentarze wytworzone w bizantyjskiej tradycji greckiej były zazwyczaj komentarzami starożytnych, Temistiusza, Aleksandra z Afrodyzji i Jana Filoponusa. Z kolei łacińscy tłumacze tradycji arabskiej otrzymywali nie tylko dzieła starożytnych, ale także bardziej współczesnych lub nawet współczesnych autorów Ibn Siny (Awicennę) (zm. 1036), Ibn Rushda (Awerroesa) (1126–1198) i wielu innych. Techniki stosowane w tłumaczeniu były niemal tak zmienne, jak same źródła. W niektórych przypadkach tłumaczenie było dokonywane przez dyktando, jak na przykład u wybitnego żydowskiego uczonego Abrahama b. Ezdrasz (ok. 1090–ok. 1164/67?) podjął się sporządzenia wersji swojego traktatu o astrolabium z anonimowym łacińskim sekretarzem. W innych przypadkach proces ten obejmował jednoczesne tłumaczenie tekstu arabskiego na język ojczysty, a następnie tłumaczenie języka ojczystego na łacinę. Niektóre z tych pośrednich tłumaczeń w języku ojczystym krążyły w społecznościach niełacińskich. W jeszcze innych przypadkach wiemy, że uczeni łacińscy tłumaczyli bezpośrednio z tekstów arabskich lub greckich, ponieważ umieszczali w swoich tekstach znaki arabskie lub greckie lub transliterowane terminy, a czasami komentowali trudności w odczytywaniu znaków diakrytycznych w rękopisie. Wreszcie podejścia tłumaczy do tłumaczenia starożytnych i arabskich tekstów na łacinę obejmowały kontinuum, od tłumaczeń dosłownych do bardziej stylistycznych lub literackich wersji, w których tłumacz przywłaszczał tekst do mentalności swoich czytelników. Motywy inicjatywy tłumaczeniowej były również różne. Z niewieloma wyjątkami sami tłumacze nie byli mistrzami uniwersyteckimi, chociaż wiele z ich produktów stało się centralnymi tekstami w nowych instytucjach. Te teksty, które nie były częścią programu nauczania, takie jak prace z alchemii i astrologii, mimo to krążyły potajemnie, często zaspokajając pozalekcyjne zainteresowania mistrzów. Jak zauważono wcześniej, tłumacze często aktywnie poszukiwali tekstów, aby wypełnić luki w programie nauczania, lub słysząc o istnieniu starożytnego tekstu, próbowali zdobyć kopię, aby uzupełnić korpus starożytnego autora. W innych przypadkach wsparcie patrona było kluczowe; Fryderyk II (1194–1250) i król Manfred (ok. 1232–1266) we Włoszech lub Alfons X (1221–1284) w Kastylis sponsorowali tłumaczy na swoich terytoriach, a patroni kościoła robili to samo, zapewniając stanowiska, które nie wymagały usług mieszkaniowych. Istnieją pewne przesłanki wskazujące na to, że przynajmniej w Toledo tłumacze wybierali literaturę do tłumaczenia nie poprzez ślepe szukanie tekstów, ani z powodu chęci poszerzenia wiedzy naukowej, ale raczej z powodu zainteresowania upodobnieniem się do swoich andaluzyjskich gospodarzy. Bez względu na motywację lub wsparcie materialne, dowody wskazują, że europejscy tłumacze byli zaangażowani w aktywny, a nie pasywny wysiłek tłumaczenia i przyswajania starożytnych i arabskich materiałów. Jednoczesna, ale zupełnie inna transmisja miała miejsce w kulturze żydowskiej. Począwszy od około 1140 roku i kontynuując do końca XII wieku, żydowscy uczeni w Prowansji, na Półwyspie Iberyjskim i we Włoszech — ale nie w północnej Francji lub regionach niemieckojęzycznych — podjęli się szerokiego i bogatego tłumaczenia filozofii i nauki na hebrajski. Co najciekawsze, na wczesnym etapie ta działalność często miała miejsce niezależnie od otaczającej kultury łacińskiej, z wyjątkiem



medycyny, gdzie nastąpił znaczny import literatury łacińskiej do hebrajskiego, oraz we Włoszech, gdzie często miała miejsce wymiana chrześcijańsko-żydowska. W filozofii i nauce, tłumaczenia z XII i XIII wieku na język hebrajski przeszli bezpośrednio ze źródeł arabskich, szczególnie w Prowansji i na Półwyspie Iberyjskim. Mogło być na to wiele powodów, w tym znaczenie więzi językowych i kwitnący związek kulturowy judeo-arabski, ale także równoczesne wyobcowanie między językiem i kulturą żydowską a łacińską, w której wielu Żydów uważało filozofię chrześcijańską za gorszą. Z drugiej strony, pojawienie się żydowskiej kultury filozoficznej i naukowej było odpowiedzią — przynajmniej w Prowansji — na dominujące chrześcijańskie polemiki racjonalistyczne przeciwko judaizmowi.

### **Nowy dom dla nauki: uniwersytet**

Przed XII wiekiem ośrodki edukacyjne w Europie Zachodniej znajdowały się głównie w domach klasztornych (w celu kształcenia kolejnego pokolenia mnichów) i szkołach katedralnych (których celem było kształcenie duchowieństwa świeckiego). Często szkoły te miały zarówno bardzo ograniczony program nauczania, jak i małą kadre, zwykle tylko jednego mistrza, który nauczał wszystkich dyscyplin. Jednak w ciągu XII wieku, częściowo w odpowiedzi na napływ nowych tekstów, a częściowo w uznaniu wymagań zmian w europejskim społeczeństwie, rządzie i Kościele, ewoluowały nowe instytucje edukacyjne — uniwersytety — każda odzwierciedlająca cechy i wymagania lokalnych warunków, z których się wywodziła. Pomimo tych lokalnych rozróżnień, uniwersytety jako całość posiadały cztery cechy, które odróżniały je od wcześniejszych instytucji edukacyjnych: były wysoce użytecznymi przedsiębiorstwami, które wyposażały studentów do określonych stanowisk po ich uniwersyteckim szkoleniu; były korporacjami wyposażonymi w prawa i obowiązki fikcyjnych podmiotów prawnych; stworzyli programy nauczania, które zapewniały jednolite wykształcenie wśród absolwentów; i certyfikowali kompetencje swoich studentów, przyznając stopnie naukowe. Chociaż uniwersytety nadal ewoluowały od XII wieku, współczesne uniwersytety również posiadają te cechy, a sam uniwersytet jest jednym z wielkich dziedzictw średniowiecza, zarówno w Europie, jak i na całym świecie. Uznając zarówno ilość, jak i złożoność napływu nowych tekstów, uczeni w XII wieku zdali sobie sprawę, że stary model „złotej rączki” szkół klasztornych i katedralnych nie wystarczy w tych większych instytucjach. W rezultacie pedagogika stała się bardziej wyspecjalizowana, a same instytucje zdefiniowały wydziały, których odpowiedzialność ograniczała się do nauczania określonych segmentów materiału. Każdy wydział stał się intelektualnym domem dla literatury zachowanej z wczesnego średniowiecza, uzupełnionej o ogromny zbiór tekstów, które trafiły do Europy w XII i XIII wieku. Podstawową jednostką większości najwcześniejszych uniwersytetów był wydział sztuk pięknych, którego program nauczania koncentrował się na tekstach filozoficznych, z których znaczną część stanowiła filozofia przyrody Arystotelesa i w mniejszym stopniu nauki matematyczne. Ponieważ studenci, którzy nie byli członkami zakonów, zapisywali się na wydział sztuk pięknych (a ci, którzy byli członkami, otrzymywali podobne wprowadzenie w szkołach własnych zakonów), a także ponieważ kształcenie artystyczne było warunkiem wstępnym awansu na wyższe wydziały prawa, medycyny i teologii, filozofia przyrody i nauka przenikały cały uniwersytet, niezależnie od ostatecznej specjalizacji studenta! Kompleksowość dzieła Arystotelesa — obejmującego logikę, badanie ciał naturalnych, kosmologię, epistemologię, historię naturalną, etykę, metafizykę i inne dyscypliny — uczyniła z niego gotowy program nauczania sztuk pięknych dla powstających uniwersytetów. Wymagania dotyczące stopni naukowych określały, że studenci musieli wysłuchać wykładów (między innymi) na temat logicznych dzieł Arystotelesa, fizyki, *De caelo*, *De anima*, *Ethica*, *De generatione et corruptione* i metafizyki, w niektórych przypadkach wielokrotnie. Podczas gdy mistrzowie na niektórych uniwersytetach (jak w Oksfordzie przed 1431 r.) mogli swobodnie wybierać materiał, na którym będą wykładać, na innych (jak w Wiedniu) materiały dydaktyczne były dystrybuowane wśród kadry dydaktycznej na początku każdego roku akademickiego, zapewniając w ten sposób studentom możliwość spełnienia wymagań dotyczących stopni naukowych. W dyscyplinach matematycznych

program nauczania podążał za nieco innym modelem. Chociaż Elementy Euklidesa były dostępne od początku XII wieku, nauczanie geometrii było ograniczone przez określenie liczby książek do nauczenia (zwykle pierwszych sześciu) lub długości semestru (często trzy tygodnie wykładów). W astronomii preferowanym podręcznikiem była średniowieczna kompozycja *Sphaera Sacrobosco* (działająca w latach 1221–1250), która zawierała podstawy ruchów planetarnych, uzupełniona innym średniowiecznym tekstem *Theorica planetarum*, który wprowadzał ucznia w geocentryczne modele Ptolemeusza; oba były używane w powiązaniu z *Canones*, czyli zasadami, które rządziły tablicami astronomicznymi. Podczas gdy łacińskie tłumaczenie *Almagestu* Ptolemeusza nadal krążyło, było zarezerwowane do prywatnych studiów niewielkiej mniejszości. W optyce tekstami z wyboru były również średniowieczne kompozycje, takie jak *Perspectiva communis* Johna Pechama (zm. 1292) i *Perspectiva Witelona* (ok. 1237–ok. 1280). Ta sama tendencja do tworzenia kanonu tekstów przeważała na wyższych wydziałach. W medycynie zbiór tekstów znany jako *Ars medicine* [lub *Articella*] — składający się z *Isagoge* Johannitusa, *Aforyzmów* i prognostyki Hipokratesa, *Urines* Teophilusa, *Pulses* Philaretusa i *Tegni* Galena (który został dodany w drugiej połowie XII wieku) — określał program nauczania do połowy XIII wieku. W latach pięćdziesiątych XIII wieku, w okresie rewizji edukacyjnej, zebrano nowy zbiór tekstów — komentarze Galena do *Aforyzmów* Hipokratesa, *Prognostyki* i *De regimine acutorum* oraz komentarz Haly Ridwana do *Tegni* — i zmieniono nauczanie medyczne, zawężając zakres programu nauczania, rozszerzając w nim obecność Galena i przenosząc uwagę z tekstów podstawowych na komentarze do tych tekstów. Podobne zbiory tekstów przeważały na dwóch innych wydziałach uniwersyteckich, prawie i teologii, gdzie kodeksy prawa rzymskiego i kompilacje prawa kanonicznego, takie jak *Dekret Gracjana* (napisany ok. 1140 r.) oraz *Biblia* i *Zdania Piotra Lombarda* (napisane w latach 1142–1158), odpowiednio, określały program nauczania. Określenie tekstów podstawowych leży u podstaw średniowiecznego scholastycznego światopoglądu i sygnalizuje podstawowe założenie, że wiedza pochodzi z książek i autorytatywnych autorów. Dlatego, aby zrozumieć średniowieczny pogląd na naturę, należy również zrozumieć sposób, w jaki scholastycy rozpakowywali teksty, które stanowiły program nauczania tych wczesnych uniwersytetów. Tak wielki był napływ nowych tekstów w XII i na początku XIII wieku, że średniowieczni uczeni dostarczyli mechanizmów szybkiego wyjaśniania idei autorów. Uznając, że problem dotyczył nie tylko ilości materiału, ale także nieznamości jego organizacji, wielu pedagogów, takich jak Hugon ze Świętego Wiktora, przygotowało systematyczne przewodniki po czytaniu i późniejszym nauczaniu tekstu. Znana jako „ustanawianie *ordinatio*”, technika ta pociągała za sobą tworzenie rubryk na początku i w podsekcjach rozdziałów, stosowanie kolorów lub symboli w celu wizualnego odróżnienia jednej części tekstu od drugiej, a nawet dzielenie wcześniej nierozdzielonych tekstów na mniejsze, łatwiejsze do przyswojenia sekcje, jak na przykład zrobiono w komentarzach Awerroesa do tekstów Arystotelesa. Następny krok, znany jako *compilatio*, miał na celu destylację objętości do bardziej przystępnych ilości. Dzięki przeorganizowaniu i połączeniu tekstów autorytatywnych, dzieła takie jak *Speculum maius* Wincentego z Beauvais (ok. 1199–ok. 1265), *De proprietatibus rerum* Bartłomieja Anglikusa (działającego w latach 1220–1235) czy *Li livres dou trésor* Brunetta Latiniego (ok. 1220–ok. 1294) skompresowały ogromną kolekcję nowych informacji do niezwykle popularnych materiałów referencyjnych, z których można było korzystać w różnych dziedzinach. Te kompilacje rzadko były przedmiotem programów nauczania uniwersyteckiego, ale mechanizmy *ordinatio* i *compilatio* były bardzo często stosowane w technikach pedagogicznych szkół. Średniowieczne wykłady na temat tekstów autorytatywnych podążały za ustalonym formatem, który wywodził się z tradycji *ordinatio* i *compilatio*: najpierw czytanie, które służyło jako przegląd sekcji, która miała być omawiana danego dnia; po drugie „ustalenie tekstu”, czyli korekta błędów tekstowych; po trzecie, określenie hierarchicznych podziałów w tekście; po czwarte, rozwiązanie trudności językowych lub terminologicznych; i wreszcie analiza ważnych pytań w tekście. Takie formalne techniki przetrwały w wielowarstwowych, glosowanych rękopisach prac z programu nauczania, w których poprawki

językowe można dostrzec między wierszami, a podziały tekstów są zaznaczone symbolami przypominającymi szubienicę. Inna pedagogiczna technika uniwersytecka, dysputa, została zbudowana na tradycji wykładowej, ponieważ pytania, które ostatecznie znalazły się w dysputach, często pochodziły z tych sformułowanych w tym ostatnim aspekcie wykładu. Dysputa była centralnym punktem edukacji uniwersyteckiej: studenci byli zobowiązani do uczestnictwa w występach mistrzów, a mistrzowie oceniali wiedzę i kompetencje studentów, obserwując dysputy w prywatnej rezerwie sali wykładowej, zanim podobne, ale publiczne debaty poświadczyły to szerzej. Oprócz pedagogicznej wartości dysput, były one miejscem, w którym przyswojona wcześniejsza wiedza mogła być rozszerzana i poszerzana. Aby zobaczyć, jak treść i technika współdziałały, aby ukształtować średniowieczną naukę, musimy zrozumieć, że uniwersytety i ich techniki scholastyczne powstały w XII wieku, w czasie, gdy badanie logiki i języka zajmowało centralne miejsce w zainteresowaniach intelektualistów, i że to samo zainteresowanie zaprzętało wielu ich następców w XIV wieku; widziane z tej dłuższej perspektywy, XIII-wieczne skupienie się na tekstach i filozofii przyrody Arystotelesa i pokrewnych autorów może być interludium między dwoma okresami zainteresowań lingwistycznych i logicznych. W XII wieku znaczna część badań skupiała się na tym, co nazywano „gramatyką spekulatywną”, to znaczy na formalnych strukturach języka w ogóle — co moglibyśmy uznać za fundamentalne dla lingwistyki — jako odrębnych od reguł rządzących poszczególnymi językami. W XIV wieku nacisk kładziono często na znaczenie i przypuszczenie, to znaczy na sposób, w jaki znaki mentalne, słowa mówione i rzeczy naturalne są ze sobą powiązane, oraz na to, jak terminy w obrębie zdań mogą oznaczać różne rzeczy, w zależności od konstrukcji językowych i intencji terminów. Ale podczas gdy asymilacja arystotelesowskiej filozofii przyrody mogła być interludium w tym dłuższym, trwalszym zainteresowaniu logiką i językiem, treść arystotelesowska dostarczyła znaczącego materiału do dyskusji w XIV wieku. Kiedy na przykład William Ockham (zm. 1347) odrzucił możliwość, że medium służy jako ciągła przyczyna ruchu pocisku, uczynił to, przedstawiając argument lingwistyczny, zamiast powoływać się na dowody empiryczne. A w następnym pokoleniu, kiedy różni kalkulatorzy oksfordzcy (w tym William Heytesbury (zm. 1372/1373) i Richard Swineshead (działający w latach 1340–1350)) opracowali teorie istotnej zmiany — określanej jako intencja i remisja cech — wyprowadzili je również w tekstach logicznych skupionych na kwestiach językowych, ale ze szczegółowymi arystotelesowskimi przykładami i konsekwencjami naturalnymi. To powiązanie logiki, lingwistyki i arystotelesowskiej filozofii przyrody, przekazywane w ramach uniwersyteckich ćwiczeń pedagogicznych, jest tak istotne, że upadek średniowiecznej nauki w XV wieku może być wynikiem zmieniających się gustów i konwencji w edukacji, a także renesansowego humanistycznego preferowania etyki, historii i literatury nad filozofią przyrody i logiką.

### **Średniowieczna nauka i religia**

Jak zauważono na początku, jednym z powodów pozornej niespójności średniowiecznej nauki jest współczesna koncepcja relacji między religią a nauką. Bo jeśli nauka wydaje się być antytezą religii, jak sugerują współczesne refleksje nad długą serią spornych spotkań — Galileusz i Kościół, lub ewolucja i kreacjonizm, aby wymienić tylko dwa z najbardziej znaczących — to w jaki sposób okres tak zdefiniowany przez swoją religijną naturę może być uważany za mający element naukowy? Ale szersze badanie problemu, skupione na dwukierunkowej ocenie wpływu nauki na religię i religii na naukę, ujawnia o wiele bardziej złożoną historię. Możemy to wyraźnie zobaczyć, gdy rozważymy, w jaki sposób astronomia i mużulmańskie obowiązki religijne wspólnie woluowały od wczesnych czasów Abbasydów w Bagdadzie, osiągając nowy instytucjonalizowany status około pięćset lat później w Mameluku Kairze i Damaszku. Jednym z czynników stojących za tym dialogiem między religią a naukami matematycznymi jest następujący przepis Koranu: Zwróć twarz w stronę Świętego Meczetu; gdziekolwiek jesteś, zwróć twarz w jego stronę. Modlitwa w kierunku Kaaby w Mekce jest jednym z pięciu filarów islamu. Stąd też od VIII wieku uczeni opracowali metody określania tego kierunku modlitwy lub qibla. Opracowali dokładne i przybliżone rozwiązania, stosując złożone i skomplikowane, a także proste i bezpośrednie

metody. Wiele arabskich, perskich i tureckich rękopisów, a także tych w innych językach używanych przez muzułmanów, pokazuje, że nie tylko eksperci zajmowali się tym problemem, ale zwykli ludzie bez wiedzy matematycznej lub astronomicznej również chcieli dowiedzieć się o tych kierunkach. Pytali o praktyki Mahometa i jego towarzyszy, prosili o opinie uczonych prawa i przekazicieli tradycji (hadisów) oraz kopiowali lub kupowali proste, okrągłe plany kierunków modlitwy, albo naszkicowane na papierze i oprawione w rękopis, albo wygrawerowane na instrumencie, takim jak astrolabium lub specjalny instrument, tzw. wskaźnik qibla. Po około XII wieku na takim wskaźniku zaczęła pojawiać się igła kompasu. Mniej rozpowszechnione wśród zwykłych muzułmanów były tabele z czasami modlitwy. Gdy zasady regulujące liczbę i definicję tych czasów modlitwy zostały ustalone w różnych społecznościach muzułmańskich, uczeni zaczęli opracowywać tabele dla różnych miejscowości, które pokazywały początek i koniec każdego z pięciu standardowych okresów. Trzecią ważną kwestią o znaczeniu religijnym było ustalenie początku miesiąca, w szczególności Ramadanu, miesiąca postu. Również tutaj astrologowie dworu Abbasydów w Bagdadzie wcześniej zaczęli opracowywać tabele dla nowego Księżyca, korzystając z indyjskich zasad. Podczas gdy naukowe rozwiązania dla pierwszych dwóch kwestii były stosunkowo udane i docenione, pomimo ciągłych debat i różnic zdań, obliczenie nowego Księżyca wypadło gorzej. Potwierdzenie pojawienia się nowego Księżyca przez naocznego świadka było i jest ważnym kryterium wezwania do postu, co można zaobserwować do dziś na podstawie różnych początków Ramadanu w różnych krajach świata islamskiego. Pod koniec XIII wieku te religijne obowiązki i ich matematyczne i astronomiczne interpretacje zostały połączone w nową dyscyplinę astronomiczną zwaną „nauką pomiaru czasu” (ilm al-miqat). Uczonych, którzy specjalizowali się w tej nowej dyscyplinie, nazywano „strażnikami czasu” (muwaqqit). Proces ten wydaje się mieć początek w dwóch głównych miastach królestwa Mameluków — Kairze i Damaszku. Przeorganizował on geometrię sferyczną, funkcje trygonometryczne, problemy astronomiczne i konstrukcję instrumentów naukowych w jedną dyscyplinarną całość. Nauczano go w madrasach i meczetach. Najpóźniej od XIV wieku rozprzestrzenił się na terytorium Mameluków do Jemenu, Mekki i Medyny, a wkrótce potem do Afryki Północnej, Al-Andalus i na dwór sułtana osmańskiego Murada I (pan. 1360-1389). Meczety, madrasy i inne budynki miały być zorientowane w stronę Kaaby w Mekce, po tym jak Mahomet zmienił kierunek modlitwy z Jerozolimy w stronę miasta swojego urodzenia. Niemniej jednak wiele zachowanych budynków w całym świecie islamskim wykazuje bardzo różne orientacje, ponieważ często stosowano środki niematematyczne, takie jak wschód lub zachód określonej gwiazdy lub konstelacji, przesilenia, kierunki wiatru lub tradycje Mahometa lub jednego z jego towarzyszy. Ale nawet gdy zastosowano matematycznie określone kierunki modlitwy, jak na przykład w Mameluk Cairo, orientacja budynków nadal odbiega od współczesnej qibla. Dokładność matematycznie zdefiniowanej wartości qibla zależy od dokładności współrzędnych geograficznych danej lokalizacji. Daty szerokości geograficznej w tablicach średniowiecznych są zwykle poprawne w ciągu kilku minut. Prawdziwy problem polega na wartościach różnicy długości geograficznej w kierunku Mekki. Tutaj odchylenie mogło sięgać kilku stopni. W przypadku Kairu wartość ta była o 3° za mała. Podczas gdy szerokości geograficzne można było łatwo zmierzyć lub obliczyć na podstawie innych danych astronomicznych, długości geograficzne zależały od równoległej obserwacji i pomiaru zaćmień Księżyca w dwóch różnych miejscach oraz dokładności przyrządów do pomiaru czasu. A co z sytuacją w średniowiecznych społeczeństwach katolickich? Biorąc pod uwagę centralną rolę Kościoła w średniowieczu, nie jest zaskakujące, że religia wpływała na treść i kierunek nauki w tym okresie. Częściowo odzwierciedla to ambiwalencję Kościoła wobec wiedzy: to przecież drzewo poznania dobra i zła (lignum scientiae boni et mali) spowodowało upadek ludzkości, a apostoł Paweł ostrzegał przed niebezpieczeństwami samouwielbienia wiedzy w przeciwieństwie do pokornej natury miłości. Jednak on i inni również polecali słowo wiedzy (sermo scientiae) udzielone przez Ducha. Wcześni Ojcowie Kościoła również zajęli obie strony sporu, przy czym niektórzy (jak Tertulian) argumentowali, że chrześcijanie powinni odrzucić świecką wiedzę, ponieważ prowadzi ona do błędu lub niewiary, podczas

gdy inni (jak Orygenes) namawiali chrześcijan, aby brali to, co jest przydatne i używali tego do powiększania i doskonalenia swojej duchowej natury. A już Augustyn uznał, że poprzez ustanowienie instytucji przeciwstawnej, która wysysała talenty w kierunku karier kościelnych, Kościół zmniejszył pulę osób zainteresowanych badaniem natury. Bardziej aktywnie i agresywnie, powtarzające się potępienia naturalnych stanowisk filozoficznych, takie jak te ogłoszone w 1277 r. w Paryżu, z pewnością wywarły decydujący wpływ na bieg nauki w średniowieczu. Jednocześnie jednak średniowieczna religia wniosła również materialny i formalny wkład w przebieg badań naukowych. We wczesnym średniowieczu nacisk monastyczny na pomiar czasu i kalendarz, który regulował rok liturgiczny i codzienne nabożeństwa, kładł znaczny nacisk na astronomię i inne powiązane działania matematyczne. Jak zauważono wcześniej, wzrost humanistycznego naturalizmu w XII wieku, który przyspieszył okres aktywności intelektualnej w późnym średniowieczu, był napędzany przez złożoną sieć religii, sztuki, prawa i nauki w tym okresie. I podczas gdy zainteresowanie XIV wieku kwantyfikacją zmian naturalnych odzwierciedlało współczesne zaabsorbowanie logiką i językiem, ruch ten również w dużej mierze zależał od kwestii doktrynalnych inherentnych formie i jakości, ponieważ powszechnie zauważono, że łaska boska w duszy wierzącego jest formą i jako taka może doświadczać duchowego wzrostu (lub zmniejszenia). Autorzy scholastyczni opisujący „intensję” i „remisję” cech w naturze (czyli sposób, w jaki cechy takie jak ciepło, światło i prędkość wzrastały lub malały w czasie i przestrzeni) w rzeczywistości odwoływali się do tego samego języka i terminologii, których ich teologowie używali w dyskusjach na temat łaski i innych duchowych cech. Ale chociaż średniowieczna nauka z pewnością została ukształtowana przez współczesną doktrynę i praktykę religijną, to prawdą jest również, że religia odczuła skutki współczesnej nauki. Wprowadzenie starożytnych i islamskich tekstów w XII wieku przekształciło naturę wielu aspektów średniowiecznej kultury, w tym polityki, prawa, teologii i nauki. Nie wystarczyło już stwierdzać zasad lub twierdzeń, czy to dotyczących natury, czy Boga; teraz na praktykach nauki i teologii ciążył obowiązek przedstawienia spójnego, konsekwentnego, strukturalnie solidnego wyjaśnienia tych zasad i twierdzeń. Po krótkim okresie eksperymentów z szeroką gamą modeli, w tym matematyczną lub euklidesową strukturą doktrynalną, teologowie zdecydowali się na język i techniki Arystotelesa, a przez większą część XIII wieku kwestia naukowego statusu teologii była punktem wyjścia w literaturze teologicznej. Wśród wielu scholastyków, w tym Tomasza z Akwinu, Jana Dunsza Szkota i Williama Ockhama, dyskusja obejmowała nawet kwestie, czy ludzka teologia i wiedza świętych w niebie były powiązane jako podrzędne nauki, w taki sam sposób, w jaki astronomia i optyka lub muzyka były powiązane z geometrią i arytmetyką, ponieważ wyższa dyscyplina dostarczała przyczyn dla propozycji w podrzędnej nauce. Co więcej, centralny rozwój doktrynalny XIII wieku — transsubstancjacja elementów w Eucharystii — był nie do pomyślenia bez przyswojenia teorii Arystotelesa o materii, formie, substancji, jakościach i ich zmianach. Na koniec wracamy do punktu wyjścia: pokazaliśmy, że „nauka średniowieczna” jest znaczącym wyrażeniem. Było to przedsięwzięcie, które było ograniczone parametrami kultury, w której było osadzone, ale kształtowało poprzez własne praktyki kilka cech tej kultury. Widzieliśmy to wielokrotnie w różnych przykładach, które badaliśmy w społeczeństwach islamskich od VIII do XVII wieku. Nasze badanie powstawania nowych instytucji, teorii i praktyk naukowych w społeczeństwach katolickich Europy, które było mocno oparte na pracy językowej, filozoficznej, matematycznej i medycznej uczonych ze starożytnych i islamskich społeczeństw, potwierdziło ten punkt. Z tego powodu dochodzimy do wniosku, że średniowieczna nauka w społeczeństwach islamskich, jak i katolickich nie różniła się tak bardzo od nauki zarówno przed, jak i po średniowieczu. Religia nadal ma głos w kwestiach naukowych, chociaż jej rola znacznie się zmieniła we współczesnym świecie; w miejsce Kościoła nowe, inne, ale równie wpływowe i znaczące siły wpływają na bieg nauki, w tym podmioty polityczne i korporacyjne oraz agencje finansujące. Podczas gdy średniowieczni i nowożytni konkurenci nauki czasami ją ograniczali, współczesne badania socjologii nauki nauczyły nas, że te ograniczenia mogą również otwierać nieoczekiwane ścieżki, które wpływają na charakter nauki i społeczeństwa zarówno współcześnie, jak i w przyszłości. Współcześni

komentatorzy nauki dobrze by zrobili, gdyby dowiedzieli się czegoś o swoich średniowiecznych poprzednikach i ich przedsięwzięciach.

### **Nauka na Wschodzie przed erą nowożytną**

W roku 1088 minister sprawiedliwości (xingbu shangshu) Su Song (1020–1101) podarował cesarzowi drewniany model (muyang) trzypiętrowej wieży w stylu pagody. Model, który Su wykonał z pomocą dworskich rzemieślników, miał na górnym poziomie brązową sferę armilarną (hunyi), na środku glob niebieski (hunxiang), a na dolnym otwierane drzwi i manekiny do pomiaru czasu. Pomimo raczej zabawkowego wyglądu model został w rzeczywistości zbudowany w poważnym celu: aby ubiegać się o fundusze rządowe na budowę astronomicznej wieży zegarowej. Skalowane do rozmiaru, połączone komponenty wieży umożliwiłyby Su Songowi obserwowanie i badanie „objawów” (hou) i „pisma nieba” (tianwen) pośród stolicy dynastii Song, Bianjing (współczesny Kaifeng) „od zmierzchu do świtu i ogłaszanie stopni, w jakich występują gwiazdy: takie nigdy wcześniej nie istniały”. Domy dynastyczne w historycznym regionie dzisiejszych Chin rządziły zgodnie z niebiańskim mandatem (tianming), który przejawiał się w zdolności dynastii do przewidywania i interpretowania zwykłych i niezwykłych wydarzeń w niebie, na Ziemi i w świecie ludzi, do identyfikowania jednostek czasu i odpowiedniego porządkowania świata. Obserwacja ruchów planet, ruchu gwiazd i zjawisk pogodowych były zatem integralną częścią życia dworskiego i centralnej biurokracji państwowej. Z drugiej strony, biurokracja dworska i państwowa miała wpływ na projekt zegara, proces pracy i historyczną rolę Su Songa i rzemieślników. Po jego ukończeniu Su Song opracował szczegółowy raport na temat różnorodnych komponentów zegara, które dynastyczni historycy uwzględnili w oficjalnej „Historii Song” (Song shi). Podczas gdy „Nowe podstawowe zasady obserwacji konstelacji” (Xin yixiang fayao) zostały w ten sposób zachowane dla potomnych, model został odrzucony, a wkład rzemieślnika zniknął z historycznego punktu widzenia. Armie Dżurdzeńów zdemontowały wieżę zegarową podczas najazdu na Bianjing w roku 1127. Części zostały przetransportowane do stolicy dynastii Jin (1115–1234) w pobliżu współczesnego Pekinu, aby uczcić ich triumf nad chwiejnym państwem Song. Lokalnym ekspertom nie udało się jednak odbudować skomplikowanego mechanizmu, a tym samym przejaw wiedzy Su Songa został utracony. Epoka Song podkreśla intymny związek między biurokracją a wysiłkami naukowymi i technologicznymi, które historycy zidentyfikowali jako charakterystyczne dla przednowoczesnego świata sinofońskiego. Rzeczywiście, społeczeństwo i państwo Song różniły się znacząco od swoich poprzedników, ponieważ ich władcy zatrudniali wykształconych ludzi, „literatów”, w swojej służbie. Natomiast arystokracja przewodziła społeczeństwu Tang (618–907), a pułki wojskowe sprawowały władzę w okresie Pięciu Dynastii (907–960). Dając władzę polityczną tym, którzy zdali regionalne i centralne egzaminy urzędnicze, cesarski dom Song położył podwaliny pod nowe społeczeństwo, w którym elitarny status opierał się na umiejętności czytania i pisania; a w którym prawo do rządzenia było mocno ugruntowane na opanowaniu klasycznego kanonu działania i myśli. Mężczyźni i kobiety, wewnątrz i na zewnątrz dworu, rozwinęli ortodoksję kultury (wen) i wiedzy (zhi), którą kolejne pokolenia uczonych Yuan, Ming i Qing starały się naśladować lub wprowadzać innowacje, a czasami nawet przewyższyć. Historyczne zmiany w kulturach wiedzy w świecie sinofońskim od czasów Song przypisywały papierowi i drzeworytom cechy materialne. Choć oba istniały już od jakiegoś czasu, zbieg zmian społeczno-politycznych, komercjalizacji i dalszych postępów w technikach produkcji doprowadził do ich zwiększonego wykorzystania. Cesarze i elity dworskie systematycznie inwestowały w dzieła literackie, zlecając i zbierając tomy na klasyczne tematy sztuki rządzenia, rytuału i moralności, a także na tematy praktyczne, takie jak architektura, hydraulika, rolnictwo, zagadnienia matematyczne, muzyka, botanika, farmaceutyka i medycyna. Próby państwa gromadzenia lub rozpowszechniania informacji i kontrolowania przepływów wiedzy były kwestionowane przez osoby, które publikowały prace filozoficzne, filologiczne i encyklopedyczne, wykorzystując gatunki takie jak „pisma prywatne” (biji), „traktaty i wykazy” (pulu) lub „lokalne gazety” (difang zhi), które uzupełniały lub

przeciwdziałały ortodoksyjnemu lub centralnemu pogładowi państwa. Papier i druk nie zwyciężyły jednak bez wątpienia. Zwiększony dostęp do tekstów wywołał niepokój u ludzi i doprowadził do gruntownego przeglądu roli skryptów, obiektów lub interakcji międzyludzkich w dokumentowaniu i obiegu informacji. Zadawano pytania: czy informacje powinny być przekazywane każdemu? Jak wiarygodny był tekst drukowany lub rękopis? Jak ludzie powinni rozumieć teksty w odniesieniu do linii myślenia? Czy je zastępowaly, czy stanowiły? Metody argumentowania i kodyfikacji wiedzy były zróżnicowane, jak pokazuje pluralizm metod biurokratycznych przedstawiony w przypadku Su Songa: model był wizualną manifestacją idei stojących za projektem, podczas gdy raport tekstowy odpowiadał za fundusze i ostateczny sukces projektu. Wiedzę zdobywano, a działania interpretowano w ramach złożonych struktur środków tekstowych, wizualnych i materialnych, a także wymiany ustnej. W świecie piśmiennym rozpowszechniły się podejścia epigraficzne, archeologiczne i krytyczne wobec tekstu, a literaci coraz częściej debatowali nad tym, jaki rodzaj wiedzy można uzyskać za pomocą tekstów. Stanowiska filozoficzne z tej epoki odzwierciedlają głębokie zaniepokojenie rolą „rzeczy” (wu), „zjawisk” (xiang) i „spraw” (wu) omawianych w kontekście „opanowania zasad” (qiong li), „badania rzeczy” (gewu), „pochodzenia rzeczy” (wuyuan), „tworzenia spraw i zapoczątkowania rzeczy” (chengwu kaiwu) lub relacji między „wiedzą a działaniem” (zhi xing). Badając naturę „nieba, ziemi i człowieka” (tian di ren), „wszystkiego pod niebem” (tianxia) lub „dziesięciu tysięcy rzeczy” (wanwu), intelektualne debaty uciekały się do wszechobecnych tematów, takich jak pięć faz (wuxing), siły yin-yang oraz dao, li i qi. Intelektualiści i wyznawcy religii buddyjskiej, konfucjańskiej lub taoistycznej, cudzoziemcy z państw zależnych lub regionów tak odległych jak zachodnie Indie oraz wyznawcy ideałów europejsko-chrześcijańskich lub islamsko-perskich, wszyscy przyczynili się do tych debat. Od Song do Ming wieloetniczne, wieloreligijne i wielokulturowe społeczeństwo różnicowało lub łączyło teorie, praktyki, style i pojęcia różnych szkół myślenia, czasami spierając się ze starymi, a czasami wprowadzając nowe idee. Nie tylko pogląd na rzeczy, ale także same rzeczy ulegały zmianie: techniki rolnicze oraz produkcja ceramiki i tekstyliów były nieustannie omawiane i rozwijane. Biurokratyczne prowadzenie dokumentacji, coraz bardziej złożone na przestrzeni wieków, ujawnia zmieniające się podejście państwa do praktycznych sztuk i układów technologicznych. Na początku Song, kiedy rozpoczęła się produkcja porcelany, państwo miało minimalny udział w procesie produkcji, nakładaniu podatków, rekrutowaniu lokalnych ekspertów lub egzekwowaniu kontroli rynku. Państwo Yuan narzucało kwoty na rzemiosło i dziedziczyło zadania, a władcy Ming systematycznie angażowali się w produkcję porcelany i jedwabiu, ustalając surowce i sposoby produkcji, a także wzory i wzorce użytkowania. Większość państw dynastycznych aktywnie regulowała obszary takie jak budowa statków, górnictwo i produkcja soli. Podczas gdy rolnictwo nadal kształtowało umysły uczonych i urzędników, rzemieślnicy wszelkiego rodzaju, w tym wróżbici, uzdrowiciele i artyści, zaludniali coraz bardziej zurbanizowane sceny życia kulturalnego i codziennego Song, Yuan i Ming.

### **Biurokracja, stypendia i wiedza specjalistyczna**

Klasyczna chińska teoria państwa przedstawiała rolników (nong) i uczonych (shi) jako filary społeczeństwa, ponieważ pielęgnowali ciała i umysły społeczeństwa. Dla porównania, rzemieślnicy (gong) i kupcy (shang), pozostałe dwie z czterech osób (simin), miały niewielkie znaczenie. Teoria sztuki rządzenia dynastii Song i Ming szczególnie ceniła rolnictwo, omawiając jego rytualne i techniczne zawitości szczegółowo w różnych gatunkach. Używali znacznie bardziej regulacyjnego tonu, omawiając rzemiosło i handel. W sztuce rządzenia i myśli intelektualnej z tej epoki, praktyczne ręce często odgrywały role drugoplanowe. Rzemieślnicy, którzy przyjmowali oficjalne role, coraz częściej ukrywali swoje zawodowe pochodzenie, manewrując elitarną, a zatem naukową retoryką w genealogii swojej rodziny i dziełach. Państwa Liao, Jin i Yuan ustanowiły nieco inny ton, skupiając się na sztuce praktycznej i sztukach walki, a mniej interesując się tekstami. Pod koniec ery Ming w XVII wieku rzemieślnicy, kupcy i przedsiębiorcy systematycznie zapewniali swoim dzieciom edukację literacką,

zgodnie ze współczesnymi ideałami społecznymi i obawami ekonomicznymi. Stąd historycznie przeważało pojęcie praktycznie zaangażowanych urzędników-literatów (a nie praktyków z oficjalnymi rolami). „Uczeni” (shi) są natomiast wszechobecni w chińskich tekstach, ale ich definicja jest często niewyraźna, tak że słowo „uczony” wskazuje na społeczny wzór przesiąknięty różnorodnymi i zmieniającymi się znaczeniami historycznymi. Na najbardziej ogólnym poziomie termin „uczony” w okresie od X do XVII wieku odnosi się do osoby, która była piśmienna w klasycznym kanonie myśli. Uczeni Song stanowili rządzącą elitę, ustanawiając ideę moralnego obowiązku uczonego do porządkowania społeczeństwa i myśli. Yuan wykorzystywał tychuczonych biurokratów, jednocześnie obniżając ich reputację społeczną i rolę polityczną. Pod koniec ery Ming uczeni byli heterogeniczną grupą fuzjonistów wykształconych literacko urzędników, bogatych kupców, posiadaczy ziemskich, wybitnych artystów i intelektualistów — niektórzy z nich mogli mieć również rzemieślnicze wykształcenie. Niezależnie od tonu dyskursywnego konkretnego okresu dynastycznego, struktury instytucjonalne były kompleksowe, obejmując wszystkie grupy społeczne i funkcjonalne oraz zadania. Państwo potrzebowało rzemieślników do budowy pałaców, utrzymywania dróg wodnych i wodnych oraz produkcji i przetwarzania żywności, dóbr zależnych i pożądanых luksusów. W takich dziedzinach jak produkcja porcelany i jedwabiu, budowa statków, broń, produkcja soli, górnictwo, mennictwo i wiele innych zadań, produkcja była okazjonalnie instytucjonalizowana, a państwo kontrolowało produkcję, użytkowanie i konsumpcję poprzez dzierżawę narzędzi, rekrutację pracowników oraz poprzez podatki i inne opłaty. Urzędnicy, którzy odgrywali wiodącą rolę polityczną i społeczną, mieli codzienny kontakt z praktyczną wiedzą i dlatego byli w stanie zarządzać rytualnymi, ekonomicznymi, społecznymi i politycznymi implikacjami pracy ręcznej i umiejętności rzemieślników. Napięcie między intelektualną postawąuczonych a ich publiczną rolą kształtuje pojęcia praktyki i teorii, wiedzy, umiejętności i doświadczenia w literaturze od czasów Song do dynastii Ming. Tekst z III wieku p.n.e. na temat sztuki rządzenia i rytuałów „Rites of Zhou” (Zhou li), który pozostał ogólnym podręcznikiem do debat państwowych, podkreślał niebiańską oficjalność (tianguan) w kategoriach sześciu sztuk (liuyi): rytuału (li), muzyki (yue), łucznictwa (she), wożenia rydwanów (yu), kaligrafii (shu) i arytmetyki (shu). Od X wieku, kiedy egzaminy urzędnicze (keju) stały się kluczem do urzędniczości i statusu społeczno-politycznego, uczeni kwestionowali rolę wykształcenia i talentu per se, ważąc wiedzę instytucjonalną w stosunku do nauki moralnej i indywidualnego wyrafinowania umysłu uczonego. Spośród wielu obszarów samoświadomych dziedzin nauki w Chinach, niektóre, takie jak matematyka (shuxue, suanfa), harmonia matematyczna (lülü), astronomia matematyczna (lifa, tianshu), astrologia (tianwen), medycyna (yi) i materiały medyczne (bencao — jako część medycyny) były okazjonalnie włączane do zarządzania państwem. „Nowa polityka” (xinfu) Wang Anshi (1021–1086) wzywała konkretnie do edukacji w takich dziedzinach jak matematyka, medycyna, farmacja i astronomia. Jego idee wpłynęły na biurokrację Song, Jin, Yuan i Ming oraz ideały ekspertyzy, a wiele z tych dziedzin zostało wdrożonych do systemu edukacji i uwzględnionych w egzaminach urzędniczych. Inne przedmioty, w tym alchemia zewnętrzna lub wewnętrzna (nei, waidan, fu lian), lokalizacja lub geomancja (dili, kanyu, fengshui) i badanie rzeczy (wuli, wulei, xianglei, gewu) stanowiły pola głównie poprzez odniesienia do określonego korpusu tekstowego. Wiele z nich było przedmiotem bardziej indywidualnych badań naukowych w dziedzinie filozofii i filologii. Mityczni cesarze starożytności reprezentowali praktyczne zadania, które były ważne dla państwa i nauki. Shennong reprezentował wartość rolnictwa lub leczenia, podczas gdy Wielki Yu symbolizował inżynierię hydrauliczną. Często identyfikowano charyzmatyczny tekst założycielski, taki jak „Materia Medica of Shennong” (Shennong bencao). Rzemieślnicy również przyczynili się do tego dziedzictwa tekstowego, takiego jak podręcznik stolarski „Canon of Lu Ban” (Lu Ban jing). Chociaż pochodzenie tego tekstu jest niejasne i może pochodzić z późnej epoki Ming, w swoim czasie tekst służył do uzasadniania znaczenia wiedzy i umiejętności stolarskich, a rzemieślnicy używali tej książki do inicjowania ekspertów w rytuałach i technikach tego zawodu.



## **Dynastia Song**

Niezależnie od pojęć takich jak sześć sztuk, rzeczywistość od Song do Qing była taka, że uczeni byli moralnie wyszkolonymi i literackimi biegłymi polimatami, którzy rozumieli i, jako urzędnicy, nadzorowali praktyczne zadania, ale rzadko je wykonywali. Politycy Song, tacy jak wicekanclerz (pingzhang shi) Fan Zhongyan (989–1052) i wysoki kanclerz Sima Guang (1019–1086), stali się historycznymi wzorami do naśladowania dla aktywistów politycznych z dynastii Ming i osób zarządzających praktycznymi zadaniami, ponieważ byli dumni z robienia czegoś więcej niż tylko nadzorowania. Fan na przykład był równie zaniepokojony relacjami trybutarnymi, jak zarządzaniem dużymi projektami hydraulicznymi lub kontrolą głodu. Sam Fan również definiował obowiązek uczonego w raczej praktycznych kategoriach. Twierdził, że uczeni powinni doradzać cesarzowi, nadzorować kampanie wojskowe, służyć swoim miejscowościom lub zarządzać systemem edukacji. Fan opracował kilka pomysłów na temat wiedzy naukowej, które Wang Anshi później wykorzystał w swojej polityce reform. Jednakże pojęcie wiedzy obu mężczyzn, podobnie jak większości ich rówieśników, dotyczyło głównie utrzymania tożsamości uczonego, a nie praktyka. Pojęcia ekspertyzy lub roli praktyki i teorii również różniły się w zależności od osobistych zainteresowań jednostek. Na przykład poeta Su Shi (1037–1101), współczesny Su Songowi, pracował w medycynie i rolnictwie i interesował się przemianami materialnymi (liandan shu). Niezależnie od indywidualnych zainteresowań, wszyscy ci mężczyźni opierali edukację naukową na dziesięto- i jedenastowiecznej nauce o nauce zmian (yixue). W związku z tym Fan promował również badanie klasycznego kanonu „Księgi Przemian” (Yijing), w szczególności rozdziału Xici. Filozoficzne i moralne teksty, takie jak „Analecty” (Lunyu), „Wielka nauka” (Daxue) i „Doktryna środka” (Zhongyong) zyskały na znaczeniu w XII wieku za sprawą Zhu Xi (1130–1200), który uważał, że świat jest zdeterminowany przez dualizm między li i qi. Głęboko zainteresowany wszechstronną interpretacją klasyki konfucjańskiej, Zhu Xi opierał się na klasycznej literaturze chińskiej, aby zainicjować nowe idee. Zhu Xi był odnoszącym sukcesy urzędnikiem za swojego życia, a jego synkretyczne idee stawały się coraz bardziej popularne wśród współczesnych elit. Zhang Zai reprezentuje inny nurt biegłych uczonych, którzy pełnili podrzędne stanowiska w epoce Song. W przeciwieństwie do Zhu, Zhang twierdził, że wszystko jest częścią większego przepływu qi, a zatem porządek wszechświata, społeczeństwa, państwa i jednostki nie może być oddzielony. Zhang również nie pochwałał zinstytucjonalizowanego podejścia państwa do nauki, ale co ciekawe, jego opozycyjna metafizyka moralna faktycznie wzmocniła system społeczny jego czasów, otwierając nowe możliwości dla tych uczonych, którzy skupili swoje kariery na służbie cywilnej, tylko po to, by zdać sobie sprawę, że państwo nie ma dla nich odpowiednich stanowisk: rola opozycyjnego intelektualisty wycofującego się do życia prywatnego stała się uprawnioną i honorową alternatywą dla kariery urzędnika państwowego. Zhang obwinał poprzednich uczonych, którzy: „znali ludzi, ale nie znali nieba. Szukają cnotliwych ludzi (xianren), a nie mędrców (shengren)”. Namawiał swoich kolegów, by wypełniali swoje obowiązki poprzez przywództwo moralne, kształtując codzienne praktyki i wartości oraz studiując wszechświat. Zhang twierdził, że ostatecznie urzędnicy-uczeni będą odpowiedzialni za zachowanie wszystkich — cesarza, ludu i siebie samych. Teoria Zhanga dała bezrobotnym i zwolnionym uczonym cel wykraczający poza służbę państwową. Sam Zhang trzymał się z dala od Realpolitik i nauczał nauki „zmiany” (yi) dla zarobku. Został wezwany z powrotem na dwór w roku 1069, ale wkrótce pokłócił się z reformatorskim premierem Wang Anshi i wrócił do domu. Sprzeciw Zhanga przyniósł mu pochwały emerytowanego wysokiego kanclerza Sima Guanga, który później zdeponował Wang Anshi, ale który również nie zgadzał się z Zhang Zai w kwestii pragmatycznych realiów polityki.

## **Dynastia Yuan**

Epoka Yuan przyniosła nową atmosferę do debat na temat umiejętności i talentów uczonych, jak pokazano w małej broszurze „Przewodnik szkolny po praktykach urzędowania” (Lixue zhi’nan), który

został skompilowany w 1301 r. przez Xu Yuanrui, lokalnego przywódcę z powiatu Suzhou. Mongolskie armie Khubilai Khana (1215–1294) zdobyły powiat Suzhou w 1276 r. w drodze do stolicy Hangzhou, aby obalić reżim Song trzy lata później. Po objęciu władzy Khubilai wykorzystał administrację Han, w szczególności praktyków medycyny, przepowiedni, astrologii i fizjonomii. Stając w obliczu strukturalnej zmiany dynastycznej, wykształcony Xu skompilował swój „Przewodnik”, aby opisać umiejętności i zadania urzędników sądowych na szczeblu lokalnym, wyjaśniając, w jaki sposób idee praktyki i teorii można dostosować do współczesnych potrzeb. Pozornie przewodnik Xu zalecał połączenie konfucjańskich dążeń naukowych i osobistej moralności, a także wymienienie zasad i przepisów, które były niezbędne do pełnienia prawnej roli wiejskiego urzędnika. Xu zdawał sobie sprawę z natury osobistej pracy urzędnika, więc w pierwszym rozdziale poświęconym programom edukacyjnym i strategiom migracyjnym zidentyfikował dwa istotne kwalifikacje do tej roli — zachowanie (xingzhi) i umiejętności (caineng). Uważał, że „zachowanie” obejmuje cnoty, takie jak uczciwość i lojalność; a „umiejętności” obejmują zarządzanie różnymi zawodami (xingqian shuxian), talent do debaty (yuyan bianli), umiejętności obliczeniowe (suanfa jingming), schludną kaligrafię (zihua duanzheng), znajomość przepisów i prawa (tongxi tiaofa) i dobrą znajomość kanonu konfucjańskiego (xiaojie rushu). W rzeczywistości broszura Xu była reakcją na wiodące mongolskie prerogatywy, celowo interpretując studia filozoficzne i filologiczne jako kwestię praktyczną; i definiując umiejętności literackie i teoretyczny dyskurs moralności (który poprzednia dynastia Song uczyniła warunkiem wstępnym do władzy) jako narzędzia technologiczne. Xu reprezentuje zatem grupę uczonych w Yuan, którzy pozostali oddani dziedzictwu Song. Podczas gdy mongolscy władcy tamtych czasów czcili naukę, nie faworyzowali klasycznej nauki Song-literati. Mongolska elita pozostawała stosunkowo ostrożna wobec chińskiej elity i zwykłych ludzi, którzy przewyższali ich liczebnie i znajdowali się na własnym terytorium. Zamiast przymusu, jak często sugerowano, mongolscy władcy faktycznie stosowali subtelną kombinację zastraszania i nieinterwencji w życiu codziennym i, podczas gdy zgarniali zyski rynkowe i towary rolne, wykorzystywali talenty naukowe do popierania swoich rządów.

## **Dynastia Ming**

W początkowych latach okresu Ming instytucje i ideały mongolskie nadal odgrywały rolę, ale późniejsze pokolenia podkreślały powrót nauki dynastii Ming do myśli Han i Song. Kiedy państwo Ming uczyniło naukę Cheng-Zhu głównym aspektem egzaminów urzędniczych w XIV wieku, nauka i debaty Song powróciły w pełnej sile. Teoria li Zhu Xi zyskała na znaczeniu jako część doktryny państwa Ming, umieszczając qi w opozycji do polityki państwa - stanowisko, które często zajmowali jej entuzjaści z epoki Song. Interpretacja qi przez Zhang Zai stała się podrzędną częścią twierdzenia li Zhu Xi, ale jest ważna, ponieważ wpłynęła na teorie wielu uczonych dynastii Ming zainteresowanych dziedzinami myśli naukowej i technologicznej, takimi jak badanie natury, spraw i rzeczy. Rozumienie praktycznej sztuki rządzenia w epoce Ming obejmowało praktyczne umiejętności techniczne i studia historyczne — uosobienie szerokiej grupy myślicieli z tej dynastii, których historycy Ge Rongjin i Zhang Qizhi nazwali zbiorową szkołą „praktycznej nauki” (shixue) lub „uczonych qi”. Chociaż filozofowie dynastii Ming, tacy jak Wang Tingxiang (1474–1544), Wu Tinghan (1491–1559), Han Bangqi (1479–1556), Wang Fuzhi (1619–1692) i Fang Yizhi (1611–1671), dyskutowali kwestie praktyczne i omawiali zjawiska takie jak dźwięk, elektryczność i metrologia, aby wyjaśnić qi, jest wysoce nieprawdopodobne, aby zgodzili się z anachronistyczną klasyfikacją Ge Rongji, ponieważ ich zdaniem prawdziwe zrozumienie przychodziło poprzez wrodzoną (liang) wiedzę menciańską jednostki na temat „dobra”, uzyskaną dzięki jej własnemu indywidualnemu podejściu, a nie poprzez naukę cielesną. Wang Yangming (1471–1529) zasugerował, że taka wiedza na temat „dobra” musi być realizowana poprzez działania w realnym świecie. Wrodzonej wiedzy nigdy nie można oddzielić od wiedzy uzyskanej poprzez widzenie i słyszenie (jianwen). Dla Liu Zongzhou (1578–1645) wiedza była tak samo związana z rzeczami materialnymi, jak i z rozważaniami moralnymi lub etycznymi. Misjonarze jezuicy po raz pierwszy wkroczyli do chińskiej

wiedzy za życia Liu, ale to ludzie tacy jak Xu Guangqi (1562–1633), minister na dworze, pomogli jezuitom promować zachodnią scientia. Xu wymyślił zwrot „uzyskiwanie wiedzy poprzez gruntowne badanie zasady rzeczy” (gewu qiongli), aby odnieść się do badań natury, które przyczyniły się do fizycznego i materialnego zrozumienia świata. Obejmowało to kwestie moralne, techniczne i społeczno-polityczne związane z wiedzą geograficzną, botaniczną, medyczną, matematyczną, inżynierską i filozoficzną, a także wiedzę z Zachodu — scientia. Pod koniec dynastii Ming i na początku dynastii Qing filozofowie, którzy potwierdzili, że qi tworzy ortodoksyjne *parem esse*, stali się ściśle związani z opozycją polityczną. Myśliciele tacy jak Wang Tingxiang, Luo Qinshun, Liu Zongzhou, Tang Hezheng (1538–1619) i Song Yingxing (1582–1666?) ustalili ponadto, że natura moralności i zasady stanowiła istotę jakości qi (qi zhi). Nauka w XVII wieku, która wyłoniła się ze starcia kultur Ming i Qing, odwoływała się do tradycji nauki Song pozbawionych praktycznych, konkretnych i instrumentalnych aspektów, które uczeni z XVIII wieku panujący w Qing zaczęli podkreślać w nauce dowodowej (kaozheng), ponieważ Qing ogłosili szkołę nauki Song Cheng-Zhu nowym ortodoksyjnym systemem wierzeń.

## **Kodyfikacja ciał wiedzy**

### **Niebo**

Kiedy Su Song rozpoczął pracę nad swoją astronomiczną wieżą zegarową, dynastia Song panowała już prawie od wieku. Spustoszenia wojny zostały przewyciężone, a nowe ośrodki miejskie wypełniał hałas otoczenia ekonomicznego i kulturalnego dobrobytu. Nowa elita opracowywała instytucjonalne struktury zarządzania, aby zarządzać społeczeństwem i państwem, w tym takie aspekty, jak obliczanie kalendarza i badania astronomiczno-metrologiczne. Od początku swoich rządów dynastycznych Songowie celowali w prowadzeniu zapisów astronomicznych, nieustannie gromadząc nowe dane poprzez obserwację i monitorowanie gwiazd. Od czasów panowania Yuanyou (1034–1037) państwo Song sprawdzało i mierzyło konstelacje gwiazd raz na dekadę, szczególnie skrupulatnie w pierwszych dwóch przypadkach. Sam Su Song brał udział w tej kontroli w epoce Yuanfeng (1078–1085) i stworzył mapę gwiazd. W ciągu 160 lat epoka Północnej dynastii Song zainicjowała dziewięć reform kalendarza. Po podboju dokonany przez Jurchen Jin w 1127 r. państwo Południowego Song poszło w jego ślady, wprowadzając dziesięć reform w ciągu 152 lat. Większość z tych reform kalendarza miała na celu obserwację nieba poprzez zwiększenie dokładności i wyrafinowania ich instrumentów astronomicznych. Astronomowie zdobywali również wiedzę z książek i tworzyli więcej relacji tekstowych. Już w latach 60. XX wieku Gabinet Astronomiczny (tianwen yuan) posiadał 1561 „rozdziałów” (juan) dla swoich pracowników. Drugi cesarz Song, Taizong (976–997), miał dużą bibliotekę dzieł astronomicznych, liczącą łącznie 2561 rozdziałów. Czwarty cesarz Song, Renzong (1022–1063), opracował krótki opis sfery armilarnej Su Songa, który był rozpowszechniany w pałacu, ale nie dalej. W 983 r. kanclerz (pingzhang shi) Li Fang (925–996) włączył część zapisów gabinetu do encyklopedycznego „Imperial Observations of the Taiping Era” (Taiping yulan, 984). Sto lat później, w 1084 r., kanclerz Sima Guang skopiował je do swojego „Comprehensive Mirror of Governance” (Zizhi tongjian), dodając zapisy z okresu między Wschodnim Jin a Późniejszą Erą Zhou dotyczące komet i zaćmień (hunxing rishi). Jedną z innowacji w podejściu Songów do astronomii było to, że debaty tekstowe były prowadzone poza dworem. Ta otwartość była częściowo spowodowana wrażliwym statusem politycznym uczonych-urzędników, którzy często byli zwalniani tak szybko, jak byli mianowani. Shen Kuo (1031–1095), jeden z najwybitniejszych polimatastronomów-matematyków w historii Chin i współczesny Su Songowi, na przykład, zdobył doświadczenie astronomiczne jako dyrektor astronomii (Sitian jian). Po przejściu na emeryturę Shen Gua skompilował prywatną antologię „Rozmowy pędzla ze strumienia snów” (Mengxi bitan), w której opisał astronomię i geometrię (jihe), omówił zegary wodne (louke), brązowe sfery armilarne i gnomony. W ten sposób uczeni tacy jak Shen

Kuo coraz częściej przyjmowali swoją rolę politycznych i intelektualnych przywódców, pomimo jakiegokolwiek uznania dynastycznego lub mianowania sponsorowanego przez państwo, dzieląc się swoją wiedzą i opiniami w książkach. Dlatego Shen Kuo nadal doradzał państwu z zewnątrz, aby sprawdzało zapisy różnych departamentów odpowiedzialnych za astronomię jako sposób „ochrony przed błędami” (fang xuwei). Kiedy Su Song rozpoczął swój projekt, dane z nieba były bardzo dobrze znane ludziom zarówno na dworze, jak i poza nim, a cesarz i jego dwór byli pod presją zwiększenia wiedzy astronomicznej. Podczas misji dyplomatycznej w 1077 r. Su Song zdał sobie sprawę, że dynastia Khitan Liao (907–1125), która sprawowała władzę w północno-zachodniej Azji, potrafiła obliczyć kalendarz z większą dokładnością niż Song. Wyższa wiedza Liao na temat nieba stanowiła poważne zagrożenie dla władców Song, którzy nieustannie walczyli o zalegalizowanie swoich rządów poprzez zjednoczenie terytoriów za pomocą środków wojskowych i politycznych. Rok 1088 był nieszczęśliwy. Cesarzowa wdowa Gao (1032–1093) chroniła interesy klanu cesarskiego, reprezentując swojego 12-letniego syna i cesarza Song ynasty Zhezong (1076–1100), patronując konserwatywnemu kanclerzowi Sima Guangowi, który sprzeciwiał się grupie reformatorów kierowanej przez Wang Anshi. W swoich rolach urzędników Sima i Wang spierali się o właściwy sposób rządzenia, a jako uczeni toczyli ożywione intelektualne debaty na temat swoich własnych ról i właściwego sposobu zdobywania wiedzy. Su Song trzymał się z daleka od takich dworskich frakcyjnych zmagani, zawsze odmawiając przyłączenia się do jednej lub drugiej grupy, ale źródła wskazują, że był gotowy budować strategiczne sojusze, aby wesprzeć swoją wizję stworzenia astronomicznej wieży zegarowej, wykorzystując model w skali przez całe lata 80. XI wieku do argumentowania swojej sprawy. W 1082 roku akademik Hanlin Wang Anli (1034–1095), brat słynnego reformatora Wang Anshi, zwrócił się do urzędnika astronomicznego Ouyang Fa (1040–1089), stwierdzając, że:

instrumenty z epoki Zhidao (995–1007) i Huangyou (1049–1054) są wszystkie wadliwe i nie posiadają żadnego dowodu galerowego (ju). Obecnie drewniane próbki wykonane ze sfery armilarnej i zegara wodnego przygotowano do wręczenia cesarzowi.

W odpowiednim czasie Ouyang Fa dostarczył więcej informacji o niezbędnych dostosowaniach nowego instrumentu. Modele zawsze były używane jako narzędzia robocze w astronomii. Próbkowanie było sposobem na zapobiegnięcie ogromnemu ryzyku i inwestycji potrzebnych do brązowej sfery armilarnej, która jako reprezentacja wszechświata zapewniała fizyczną formę do zademonstrowania dynastycznych roszczeń do prawdziwej wiedzy i sprawiedliwych rządów. Uczony Hanlin Xu Jiang (1037–1111) odniósł się do projektu Su Songa: „gdy zostanie wyprodukowany wcześniej zatwierdzony drewniany model napędzanej wodą sfery armilarnej i okaże się, że jest dokładny w odniesieniu do houtian [ekspozycji], wyprodukować inną brązową wersję”. Nowością w epoce Song było to, że modele stały się częścią ustalonego instytucjonalnego procesu negocjacji.

W ramach tego procesu model był używany do udowodnienia wykonalności projektu. Jak pokazują państwowe zapisy archiwalne „Kontynuacji projektu raportu o finansach i sztuce rządzenia” (Xu zizhi tongjian changbian) (pierwotnie opracowanego przez Simę Guanga), proces ten wymagał od kanclerzy zobaczenia i zaświadczenia o tej wykonalności: „Cesarska Sala Yanhe wezwała wszystkich kanclerzy (fuchen) na inspekcję nowo wyprodukowanego modelu”. Gdy byli przekonani, że model działa, malarze dworscy zaczęli tworzyć plany (tu) budowy wieży i sfery armilarnej. Cztery miesiące później kanclerze zostali poproszeni o „zebranie się w Sali Chonghe w celu inspekcji planów budowy sfery armilarnej”. Następnie sfera armilarna została odlana z brązu w ciągu następných dwóch miesięcy, a budowa wieży rozpoczęła się. Dokumenty biurokratyczne skupiają się na polityce projektu, więc nie ujawniają szczegółów technicznych, takich jak sposób pracy z modelem w skali lub jaki wpływ różne materiały mogą mieć na mechanikę lub projekt. Źródła jasno pokazują jednak, że astronomowie Songów stosowali całą gamę metod komunikacji w swoim dyskursie i analizie: teksty, modele, materiały

próbne, rzeźby, szkice, obrazy diagramowe i mapy gwiazd. Wiedza była rozproszona w społeczeństwie, ponieważ sfera armilarna i wieża zegarowa Su Songa oraz podobne projekty były wspólnymi dziełami różnych instytucji rządowych. Han Gonglian (b.d.), drobny urzędnik w Ministerstwie Personelu (libu), poparł propozycję Su Songa. Yuan Zhenggong, dyrektor wydziału Ministerstwa Robót Publicznych (gongbu yuan wailing) i były uczeń Su Songa, przyczynił się do stworzenia modelu sfery armilarnej i odlania go z brązu w siódmym roku panowania Shaoxinga (1094–1096). Shan E (1031–1110), zarządca pałacowy, został wyznaczony do produkcji instrumentów. Jeden po drugim urzędnicy Północnej dynastii Song składali wnioski o cztery różne sfery armilarne (hunyi), wydając ponad 20 000 jin — znaczną część ich rocznych dochodów — na zagadnienia astronomiczne. Trend tekstualizacji trwał również w Południowej dynastii Song. Uczni, tacy jak poeta i minister obrzędów (libu shangshu) You Mao (1127–1197), byli znani jako posiadacze dziewięćdziesięciu pięciu traktatów astronomicznych juan. Do połowy XII wieku państwowy korpus wiedzy astronomicznej również znacznie się rozrósł. Zheng Qiao (1104–1162) zidentyfikował 369 różnych rodzajów (zhong) zapisów o wzorach niebieskich (tianwen) przechowywanych w Wielkim Sekretariacie. Zhu Xi uwzględnił zagadnienia astronomiczne w swoim historiograficznym „Zarysie i szczegółach wszechstronnego lustra” (Tongjian gangmu), a Ma Duanlin (1254–1324) w równym stopniu zmanifestował miejsce astronomii w swojej historycznej reprezentacji państwa Song: „Kompleksowe badanie literatury” (Wenxian tong kao). Jako naoczny świadek przejścia dynastycznego z Song do Yuan, Ma Duanlin opracował swój przewodnik administracyjny, ponieważ „obawiał się, że system dynastyczny się rozpadnie”. Podobnie jak poprzedni historiografowie, zbierał dane o znakach, takich jak komety, meteory i inne niezwykłe zjawiska niebieskie, ale skupił większość swojej uwagi na aparacie instytucjonalnym Song, który dobrze znał, będąc drugim z sześciu synów jednego z ostatnich wielkich kanclerzy (canzhi zhengshi, chengxiang), Ma Tingluana (1222–1289). Opisy Ma Duanlina pokazują, że biurokracja Song zajmująca się niebiosami została powołana w celu znalezienia wskazówek dotyczących pilnych współczesnych problemów, a wróżbiarstwo i prognozowanie były kluczowe dla południowego państwa Song. Studenci starający się o przyjęcie do Biura Astronomicznego musieli zatem wykazać się znajomością trzech metod wróżbiarstwa, aby zdać egzaminy prowincjonalne. Większość form przewidywania obejmowała matematykę (shuxue), a nie wiedzę astronomiczną (tianwen). Astrologia (tianshu) wymagała wiedzy astronomicznej i dlatego była zwykle ograniczona do dworu cesarskiego. Cesarz potrzebował informacji astrologicznych, aby zachować swoje panowanie i swoją dynastię oraz zapobiec nieszczęściom dla swojego ludu, wróżąc z wiadomości z nieba i wykonując odpowiednie ofiary i rytuały w odpowiedzi. W pewnym stopniu to skupienie historiografii było napędzane motywami ideologicznymi i próbami państwa Song uzasadnienia swoich rządów przeciwko Jin, którzy byli nie tylko silną siłą militarną rządzącą północnymi Chinami, ale także równym konkurentem w dziedzinie zrozumienia astronomii. Rzeczywiście, w pewnym sensie Jin byli nawet bardziej kompetentni, modelując edukację astronomiczną na podejściu dynastii Tang, a nie północnej Song. W ten sposób Jin ustanowili trzy gałęzie (ke) nauki astronomii: (1) szkołę wzorców niebieskich (tianwen) z dziewięćdziesięcioma uczniami, (2) kalkulację kalendarzy (lishu) z pięćdziesięcioma pięcioma uczniami i (3) studia nad zegarem wodnym klepsydry (louke), która zwykle uczyła czterdziestu uczniów. Uczniowie wstępowali do Biura Astronomicznego zgodnie z tym stosunkiem. System edukacyjny Jin w zakresie badań astronomicznych opierał się zatem na połączeniu specjalistów w zakresie produkcji kalendarzy, mechanizmów pomiaru czasu oraz teoretycznej i empirycznej obserwacji wzorców niebieskich, z ilościowym naciskiem na te ostatnie. Wielu uczniów miało pochodzenie Han. Zwykli ludzie z plemienia Dżurdzeńów często zajmowali niższe stanowiska. Zasadniczo każdy zwykli ludzie w wieku od 15 do 30 lat mogli jednak przystąpić do egzaminu wstępnego z astronomii, który odbywał się co trzy lata. Egzamin obejmował arytmetykę obliczeń kalendarzowych, takich jak kalendarz Xuanming (xuanming li), zrozumienie rytualnego kanonu „Księgi Małżeńskiej” (Hunshu), a także „Nową Księgę Li Ziemi” (Dili xinshu), która łączyła obrzędy i regulacje dotyczące pochówku i małżeństwa. Studiowali

„trzy formy” (sanshi) wróżenia i obliczeń: ukryte pnie (dunjia), pierwotną jedność yin i yang (taiyi) oraz sześć niebiańskich pni (liuren). Ponadto kandydaci byli testowani z metod wróżenia i studiów permutacji. Na egzaminie sugerowano sześć opcji, które należało ukończyć w ciągu dwóch dni egzaminacyjnych.

### **Dynastia Yuan**

Słynny Temudżyn Czyngis-chan (1162?–1227) twierdził, że jego pochodzenie pochodzi od boskiej siły tengri, która dała mu prawo do rządzenia wszystkim pod niebem. Udobruchał niebiosa rytuałami, takimi jak skrapianie mleka kobylego na cześć przodków lub składanie ofiar z owiec, aby złagodzić chorobę w rodzinie. Praktyki i teorie wróżbiarstwa były również centralnym punktem wierzeń mongolskich i z tej perspektywy następcą Czyngis-chana, Wielki Chan Möngke (1251–1259), promował badanie nieba i zaprosił na swój dwór perskiego astronoma Dżamala al-Dina Muhammada ibn Tahira ibn Muhammada al-Zajdiego (brak daty). Uważa się, że buddyjski mnich Liu Bingzhong (1216–1247), który wyróżniał się w matematyce i astronomii, pobudził początkowe zainteresowanie Kubilaja praktykami i teoriami kalendarza, co najwyraźniej wspierali chińscy doradcy. Wieloetniczny i wielokulturowy dwór Kubilaja-chana połączył chińską astronomię z szerszym kontekstem Pax Mongolica, a była to wymiana dwustronna. Chińscy astronomowie podróżowali na zachód i stali się aktywni, na przykład w nowo wybudowanym obserwatorium Persian Maragha (znajdującym się we współczesnym Iranie) Ilkhanat, założonym w 1258 roku przez Chana Hülägü. Z drugiej strony, perscy, muzułmańscy i indyjscy eksperci napłynęli do stolicy Yuan, Pekinu, przywożąc na dwór instrumenty astronomiczne, astrolabia, diagramy sfer armilarnych, zegary słoneczne oraz globusy ziemskie i niebieskie. Kubilai założył Instytut Muzułmańskiej Astronomii (huihui sitian jian) w 1271 roku — przed ostateczną klęską Południowej Dynastii Song w 1279 roku — a Instytut działał równolegle do Chińskiego Biura Astronomicznego aż do wczesnej dynastii Qing w XVII wieku. Miał około czterdziestu pracowników, w tym personel administracyjny, nauczycieli i uczniów, i koncentrował się głównie na islamskim systemie astronomicznym (huihuili), tworząc perskie kalendarze zij w Pekinie. W 1279 roku astronomowie dworscy zaczęli konstruować nową sferę armilarną i drewniany gnomon, aby ustanowić nowy „system przyznawania pór roku” (shoushili), a zaledwie dekadę później instrumenty te zostały odlane z brązu. Guo Shoujing (1231–1316), chiński astronom chana, wykorzystywał koncepcje islamskie, takie jak dostosowywanie czasów zjawisk do ich długości geograficznej. Używał również metod trygonomiczno-geometrycznych do komunikowania się między współrzędnymi ekliptycznymi i równikowymi, ale nie przyjął islamskiego zijes. Guo zaplanował również prototypy wysokiego gnomonu i uproszczonego instrumentu do codziennego użytku, ale jak wykazał Sivin: „stary sprzęt i prototypy dostarczyły większości danych dla systemu przyznawania pór roku, o którym donosi Historia Yuan”. Mongołowie tak bardzo cenili złoto, że nawet pozłocili brązową sferę armilarną z okresu huangyou, zachowując instrument jako niezbędny i emblemat. Stało się tak pomimo faktu, że poprawiony mechanizm sfery armilarnej Guo Shoujinga okazał się lepszy, rozwiązując wiele wcześniejszych problemów.

### **Dynastia Ming**

Kalendarz Guo Shoujinga pozostał najdokładniejszym w historii chińskiej astronomii matematycznej przez następne czterysta lat, a więc aż do późnych lat panowania dynastii Ming. Mongolska i perska wiedza astronomiczna również pozostała centralnym punktem podejścia dynastii Ming do nieba. Pierwszy cesarz dynastii Ming, Zhu Yuanzhang, zmienił jednak polityczny program obserwacji nieba, powierzając Biuru Astronomicznemu zadanie wypatrywania dziwnych zdarzeń i anomalii (bianyi) w odniesieniu do gwiazd, planet, koniunkcji, wiatru, chmur, mgły lub rosy. Oznaczało to, że każde biuro astronomiczne musiało być wyposażone w platformę obserwacyjną. Pierwszy dyrektor Biura Astronomicznego, Liu Ji (Bowen, 1311–1375), wkrótce wyciągnął ogólne biurokratyczne porady

dotyczące tego zadania w swojej „Tajnej polityce astronomicznej” (Tianwen milüe). Literackie relacje Liu stanowiły narzędzia pracy obok samych dokumentów biurowych i były stale cytowane w późniejszych pomnikach tronowych, aby wykazać autorytet lub perswazję. Liu wymagał od astrologicznych notatek Biura Astronomicznego, aby chronologicznie wymieniać zapisy wszelkich pomyslnych symboli (xiangyi) w „Prawdziwych zapisach dynastii Ming” (Ming shilu), podobnie jak późniejszy starszy wielki sekretarz (shoufu) młodego cesarza Wanli (1563–1620) Zhang Juzheng (1525–1582) podczas rządzenia państwem Ming. Pierwsze cesarskie obserwatorium Ming zostało zbudowane na południe od Nankinu dla chińskiego biura, ale wkrótce zostało przekazane odłamowi islamskiemu, gdy chińskie biuro przeniosło się na górę Jiming, na północny zachód od miasta. Mimo że była to nowa lokalizacja, Zhu Yuanzhang poprosił o stare instrumenty w Yuan Astronomical Bureau w 1368 roku. A kiedy Pekin ponownie stał się stolicą Ming w 1421 roku, za trzeciego cesarza Ming Zhu Di (panowanie Yongle, 1402–1424), najpierw użył obserwatorium Yuan, choć prawdopodobnie bez instrumentów. W 1437 roku zastępca dyrektora Astronomical Bureau poprosił o drewnianą replikę instrumentów Yuan w Nankinie i zlecił odlanie ich z brązu na potrzeby nowej platformy do obserwacji gwiazd (guanxing tai), która została zbudowana na szczycie murów miejskich Pekinu w pobliżu współczesnej Bramy Jianguo, gdzie do dziś można je znaleźć. Zmiana położenia szerokości geograficznej powinna była spowodować problemy: Pekin i Nankin różnią się o 7°, a co najmniej w jednym miejscu instrumenty musiały zostać wyregulowane. Zamiast tego notatki od lat 80. XV wieku odnotowują uszkodzenia, obwiniając rzemieślników za zepsucie. Kalibracje nie są jednak omawiane. Jednym z powodów może być to, że obowiązkowa odpowiedzialność za obserwację anomalii niekoniecznie wymagała metod ilościowych. Zhang Shen był pierwszym obserwatorem, który poruszył kwestię precyzji w odniesieniu do sfery armilarnej w 1502 r. Posunął się nawet do nadzorowania budowy nowych drewnianych prototypów, ale wszelkie propozycje nowych odlewów zostały odroczone. Trzydzieści lat później drewniane próbki zostały przedstawione dworowi, tylko po to, aby zostały skonfiskowane bezpośrednio przez Ministerstwo Obrzędów (Li bu) do codziennego użytku. Tymczasem brązowe instrumenty przy bramie miasta stały się artefaktami cesarskimi i jako takie nie mogły być modyfikowane bez cesarskiego zezwolenia, więc stały się niedokładne, nieużywane i podupadłe. Jezuita Matteo Ricci (1552–1610) zobaczył instrumenty w Obserwatorium Nankińskim w 1600 roku i odnotował w raporcie, że były ustawione na 36°, co było niedokładne zarówno dla Pekinu, jak i Nankinu. Wykorzystał to jako okazję, aby zilustrować zacofanie chińskiej astronomii. Ricci i jego następcy próbowali uzyskać dostęp do dworu, produkując i wystawiając instrumenty astronomiczne, globusy niebieskie, zegary słoneczne i szkła optyczne, aby wywołać ciekawość elity i zainteresowanie ich religijnym programem. Gdy Xu Guangqi awansował na stanowisko Ministra Obrzędów (libu shangshu), zarekomendował Niccolo Longobardo (1559–1654) i Johanna Terrenza (1576–1630) na stanowisko w Biurze Kalendarzowym. Po nich przyszli Giacomo Rho (1593–1638) i Johann Adam Schall von Bell (1591–1666), którzy zapewnili europejskiej wiedzy jezuickiej miejsce w chińskich badaniach nad niebem aż do późnego okresu dynastii Qing.

## **Ziemia - Rolnictwo i Hydraulika**

### **Dynastia Song**

Sfery armilarne lub globusy były jednocześnie instrumentami badawczymi i, jednocześnie, pomocą wizualną, pozwalającą uczonym zrozumieć konfiguracje i działanie niebios na poziomie materialnym. Z tego powodu państwo Song stosowało modele obok pisemnych i wizualnych relacji, aby rozpowszechnić wiedzę w swoich licznych regionach w dziedzinach takich jak rolnictwo, podczas gdy uczeni-urzędnicy coraz częściej redagowali informacje księgowe i wytyczne dla swoich kolegów na papierze. Jedno z wczesnych odniesień do wykorzystania modeli w państwie Song do takich celów wspomina epidemię bydła, która dotknęła Songzhou i Haozhou jesienią 997 r. W celu złagodzenia

niedoboru bydła w regionie podczas żniw i przygotowania pól na kolejny okres wzrostu, urzędnik Wu Yuncheng (918–?), doradca księcia (taizi zhongyun), zapewnił fundusze na zakup nowego bydła z regionów Jiangnan i Huainan, ale ich dostawa została opóźniona. Zdając sobie sprawę, że nie będzie natychmiastowej ulgi, Wu zalecił wprowadzenie pługów nożnych (tali). Takie pługi były pierwotnie promowane przez pierwszego cesarza Song, Taizonga, do karczowania ziemi w regionach takich jak Huaichu, w których nie tylko brakowało bydła, ale które były również słabo zaludnione. Zastępca dyrektora biblioteki pałacowej (mishu cheng) i asystent instytutu historycznego (shiguan), Chen Yaosou (961–1017), natychmiast odpowiedzieli na prośbę Wu, wysyłając posłańców z drewnianymi modelami pługa nożnego do Huainan. Niepiśmienni rolnicy mogli pojąć istotę tej wymodelowanej formy i nie mieli większego zastosowania dla pisemnych kompendiów. Ale uczeni-urzędnicy również zwracali uwagę na przyziemne praktyczne narzędzia w swoich pismach. Na przykład Zhou Qufei (jinshi 1163) opisuje pług nożny w swoim pamiętniku podróży z XII wieku dla swoich kolegów uczonych: „Ma kształt tyżki i musi mieć około sześciu chi długości. Na jednym końcu ma poziomo umieszczony kłoc o długości około jednego chi, wystarczający, aby chwycić go dwiema rękami. Do środka kija pługa po lewej stronie przymocowany jest krótki uchwyt, tak aby rolnik mógł nadepnąć na niego lewą stopą. Zhou docenił wartość tego pługa nożnego, ponieważ uprawa nowych ziem w celu zwiększenia produktywności rolnictwa nadal była priorytetem władców Song, podczas gdy ich lud był zmuszany do emigracji na południe. Zhou jednak wyraźnie celował w swoich kolegów uczonych, a nie w rolników. Książki były narzędziem do podnoszenia świadomości oficjalnego uczonego na temat przyziemnych problemów i wiedzy zwykłego człowieka, której potrzebował w swojej codziennej pracy. Wiele takich inicjatyw mających na celu rozpowszechnianie wiedzy na temat narzędzi rolniczych było wspomaganych przez imperialne próby promowania nowych upraw i metod rolniczych. Na początku XI wieku (1011) cesarz Zhenzong (968–1022) wprowadził odmiany ryżu, takie jak żółty, szybko dojrzewający ryż (huanglu) do uprawy ryżu i odporny na suszę champa (zhancheng dao) do upraw na sucho, aby wyżywić rosnącą populację Song. Lokalni urzędnicy, tacy jak Chen Fu (1076–1154), kontynuowali te postępy, publikując kompleksową „Księgę rolnictwa” (Nongshu) w 1149 roku. Chen, który twierdził, że opiera się na osobistych doświadczeniach, najwyraźniej kierował swoje przesłanie do swoich kolegów literatów lub, bardziej szczegółowo, lokalnych urzędników-literatów i wiejskich elit piśmiennych, przypominając im uporczywie o znaczeniu rolnictwa dla społeczeństwa i państwa. Chen mógł mieć nadzieję, że jego kompilacja zyska uznanie wyższych szczebli i pomoże mu uzyskać awans, chociaż mądrze powstrzymał się od wyraźnego wyrażania takich celów w swojej książce. W swoim piśmie Chen wyjaśnił swoją wiedzę specjalistyczną, zwracając uwagę na ignorancję kolegów w kwestiach, które uważał za kluczowe dla zadań rolniczych: seri- i ryzikultura oraz hodowla bawołów wodnych. W rzeczywistości instytucje dworskie były nadal budowane zgodnie z północnymi systemami rolniczymi, w jednostkach, które produkowały bydło, konie, owce i drób, a także pszczoły na miód i jedwabniki do produkcji tekstyliów, podczas gdy kultura żywności dworskiej zaczęła obejmować egzotyczne elementy południa. Uczeni na dworze konsultowaliby się z Jia Sixie (b.d.), który napisał książkę na temat „Podstawowych technik dla dobrobytu ludu” (Qimin yaoshu) w VI wieku po zamieszkaniu na północy Chin, gdzie dominowała uprawa roślin i hodowla. Ze względu na to doświadczenie Jia Sixie dołączył informacje o koniach, niu (w tym przypadku odnoszące się do północnego bydła i wołów), owcach, świniami, kurach, łabędziach, gęsiach i rybach. Skupienie Chen Fu odzwierciedla zmieniające się okoliczności życia Song, w wyniku których populacja Song zaczęła ciężko pracować na ziemiach południowych, ponieważ Jurchen Jin na północy zmusił ich do odejścia od ich poprzednich zasobów. Chen Fu i jego współpracownicy odkryli korzyści płynące z południowochińskiego klimatu i niektórych regionów, które wcześniejsze pokolenia uważały za nieokiełznane i dzikie. Uczeni opracowali więc przewodniki na temat hodowli jedwabników, uprawy i użytkowania drzew morwowych, przędzenia jedwabiu i produkcji herbaty. Rośliny takie jak drzewo oleiste i piwonia otrzymały poświęconą uwagę naukowców, podobnie jak lokalne kultury żywnościowe, ujawniając, jak zróżnicowane stały się Chiny pod rządami cesarskimi. Podjęto również



środki biurokratyczne w celu zapobiegania lub szybkiego reagowania na epidemie weterynaryjne, które mogłyby zagrozić bazie rolniczej całego regionu. Zreformowano przepisy dotyczące sprzedaży, handlu i transportu wołów i koni, aby odpowiedzieć na rozprzestrzenianie się chorób. Takie ograniczenia prawne dotyczące bydła ujawniają, że Songom brakowało zarówno energii lokomotywy, jak i energii odżywczej, co może wyjaśniać zainteresowanie tej epoki urządzeniami napędzanymi wodą, a także młynami wodnymi i wiatrakami. Współczesne obliczenia siły ludzkiej i zwierzęcej podkreślają, że jeden wół mógł zastąpić czterech do pięciu mężczyzn pracujących z pługami nożnymi, a zatem pługi nożne były mniej wydajne. Jednak w przypadkach epidemii, gdy plony musiały zostać natychmiast zebrane, pługi nożne stanowiły realną (i często jedyną) alternatywę. W 1139 r. państwo ponownie uciekło się do stosowania modeli, aby złagodzić spustoszenie spowodowane przez ogromną zarazę weterynaryjną, która dotknęła południowy Jiangnan. W tym czasie polityka państwa Song w zakresie kontrolowania epidemii zwierząt była już dobrze rozwinięta. Wprowadzono system ostrzegania, który zobowiązywał wszystkich urzędników do regularnego raportowania epidemii w ich regionie, co jest jednym z powodów, dla których zapisy historyczne sprawiają wrażenie epoki dotkniętej katastrofami. Podczas gdy bydło i konie mogły swobodnie wędrować po północnych równinach, pasterstwo stało się główną formą hodowli w regionach południowych, ponieważ lokalne biura zaczęły wynajmować bydło i bawoły wodne rolnikom, którzy nie mogli sobie pozwolić na utrzymanie własnego zwierzęcia pociągowego. Hodowla koni była modelem struktury biurokracji weterynaryjnej, której celem było ułatwienie produkcji rolnej w takim samym stopniu, jak prowadzenie kampanii wojskowych. Stajnie musiały być utrzymywane w całym imperium, aby poddać kwarantannie chore zwierzęta gospodarskie. Państwo Song mianowało również weterynarzy i lekarzy w instytucjach centralnych i lokalnych, a jego agencja cesarska przepisywała leki z dworu. Znaczenie, jakie sztuka rządzenia i intelektualna myśl Songów przypisywała dużemu inwentarzowi żywemu, jest wszechobecne również w rzeźbie i sztuce ilustracyjnej tej epoki. Artyści tworzyli nostalgiczne przedstawienia koni jako polityczną krytykę polityki i jako wspomnienie północnego stylu życia. Malarze opracowywali rodzime, egzotyczne lub mityczne ptaki, zwierzęta, ryby lub rośliny lub przedstawiali nowe obrazy bawołów wodnych pasących się między drzewami morwowymi i polami ryżowymi. Sztuka była jedną z form, za pomocą której ludzie pośredniczyli w godzeniu się ze zmieniającym się otoczeniem. W poezji uczeni zastanawiali się nad swoim materialnym światem, przyjmując formy komunikacji ustnej i zapamiętywania, takie jak pieśni używane przez cieśli, tkaczy lub hodowców jedwabników w ich codziennej pracy. Na przykład Lou Shu (1090–1162), urzędnik powiatowy w pobliżu stolicy cesarskiej Hangzhou, rozwinął w zestawie czterdziestu pięciu wersetów ideał płci „Uprawy i Tkactwa” (Gengzhi shi) (dwadzieścia jeden wersetów o uprawie ryżu i dwadzieścia cztery o hodowli jedwabników), który Wang Gang, oficer wojskowy z Jiangxi, opublikował wiek później w 1237 roku z towarzyszącymi ilustracjami drzeworytniczymi. Ilustrowana wersja wierszy Lou Shu stała się ikoną kulturową, a jej przedstawienie idealnego krajobrazu rolniczego było bez końca powielane przez cesarzy Ming i Qing. Woda była centralnym zasobem dla ekspansji ryzikultury w epoce Song, ale także problemem. Obrazy artystyczne odzwierciedlają obecność kontroli nad wodą w umysłach elit Song. Jednym z powodów tego było to, że stolica, Bianjing, znajdowała się w kotlinie u skrzyżowania dwóch rzek i w związku z tym była stale zagrożona powodzią. W tym samym roku, w którym Su Song zaproponował swój zegar, Shan E wręczył dworowi szczegółowy raport na temat rozbudowy dróg wodnych wokół rzek Changjiang i Wujiang, zapory Wuyan i dorzecza rzeki Jiazhu. Malowidła dworskie z tego okresu promują czyny mitycznego cesarza i ikony inżynierii wodnej Wielkiego Yu i celebrują projekty hydrauliczne, nawadniane krajobrazy, budowę kanałów i mostów, a także młyny wodne i urządzenia podnoszące. Wiele projektów państwowych Song racjonalizowało projekty oszczędzania wody na dużą skalę i nawadniania, które rozpoczęły się w okresie Tang. Przepływy wody były widoczne na obrazach krajobrazowych, podczas gdy ci literaci, których interesowało realistyczne przedstawienie, szczególnie interesowali się motywami takimi jak młyny wodne i statki, które stały się głównym źródłem transportu

dla ludzi i towarów na południu. Kanały budowano, aby zapewnić połączenie śródlądowe między północą a południem, unikając w ten sposób piractwa na szlakach przybrzeżnych. Zarówno w budownictwie okrętowym, jak i inżynierii hydraulicznej państwo uwzględniało modelowanie w swoich procesach biurokratycznych. Uczni doceniali modele w celach edukacyjnych i jako sposób na negocjowanie projektu z rzemieślnikami. Prefekt Chuzhou, Zhang Xue (?–1138): „chciał zbudować duży statek (da zhou), ale jego doradcy nie byli w stanie oszacować kosztów. (Zhang) Xue pokazał im zatem, jak wykonać mały model statku (jiao yi zao yi xiao zhou), a następnie, gdy jego wymiary pomnożono przez dziesięć (koszt pełnowymiarowego statku), udało się go pomyślnie oszacować”. W tym okresie państwo Song ujednoliciło metody skalowania w takich dziedzinach jak architektura, a nawet opracowało podręcznik „Standardów budowlanych” (Yingzao fashi) dla budowy pałaców. W 1158 r. państwo Jurchen Jin, które zmusiło lud Song do ucieczki na południe w 1127 r., zaprojektowało biurokrację państwową podobną do tej z Song. Zhang Zhongyan (działający około lat 1130–1140), pracujący dla Jurchen Jin, stworzył model, aby przekazać swój projekt statku niepiśmiennym rzemieślnikom. Zhongyan wykonał własnoręcznie małą łódź (xiao zhou), która miała kilka (dziesiątek) chi długości. Wszystko idealnie do siebie pasowało, od dziobu do rufy, bez potrzeby użycia kleju lub lakieru. Nazwał to swoim „modelem demonstracyjnym” (gu zi mao), który można było wykorzystać w celach dydaktycznych, a zdumieni rzemieślnicy okazali mu największy szacunek za to osiągnięcie. W tym momencie wydaje się, że biurokrata po raz pierwszy pokazał rzemieślnikom, jak budować statki. Gdy modele i miniatury zaczęto wykorzystywać w rytuałach pogrzebowych Song, uczeni stworzyli również modele, aby opisać problemy większego modelowania krajobrazu. W tym samym czasie co stoczniovcy Zhang Zhongyan i Zhang Xue, Tang Zhongyou (1138–1188) skonstruował model szczegółowo przedstawiający budowę mostu na jednym z najważniejszych szlaków przecinających rzekę w trzech miejscach w pobliżu miast Tiantai. Późniejsze źródła opisują zaangażowanie Tang Zhongyou w budowę mostów w anegdocie o naturalnej reakcji odpowiedzialnego urzędnika na niemoralne zachowanie spowodowane nieodpowiednimi okolicznościami. Tang przybył rano, ale musiał czekać, ponieważ system promowy był zajęty transportem podróżnych, handlarzy, zwierząt i towarów na drugą stronę. Tang musiał znieść widok „niemoralnych klientów, którzy stracili wszelką przyzwoitą powściągliwość”, dlatego postanowił zapytać lokalnych dygnitarzy, dlaczego nie ma mostu na tak ważnym skrzyżowaniu. Tang Zhongyou: „stworzył drewniany model, który umieścił w drewnianym stawie. Następnie dodał wody, aby naśladować skutki powodzi i uważnie obserwował postęp i cofanie się wody, gdy otwierał [basen]”. Następnie, jak podaje źródło, Tang zorganizował robotników przymusowych, aby wiosną rozpoczęli prace budowlane, które trwały do dziewiątego miesiąca. Na wschód od lokalnego punktu orientacyjnego, pawilonu Huanghua, zbudowano dwa nasypy. Tang zastrzegł, że mur ma być solidnie zbudowany z ogromnych głazów, w przeciwieństwie do zwykłej konstrukcji z cegły. Sam most składał się z trzech poziomów: „aby przerwać przepływ wody. Gdyby na południowym nasypie nastąpił przelew, woda trafiłaby do drewnianego brzegu, który mógł pomieścić 115 xiao [wody]”. Tang Zhongyou był, podobnie jak jego rówieśnicy Su Song i Zhu Xi, wielce utalentowanym urzędnikiem, który wykorzystywał cały repertuar możliwości w swojej epoce, aby służyć swojemu ludowi i państwu. Oprócz budowania mostów, jego historyczna reputacja opierała się na szczegółowej dyskusji historiograficznej na temat kwestii administracyjnych i rządowych, która obejmowała całą gamę metod publikacji: jego „ilustracje i traktaty cesarzy i królów na przestrzeni pokoleń” (Diwang jingshi tupu) gromadzi liczne wykwintne teksty, w tym odpowiadające im współczesne wykresy, ilustracje i mapy, które jego epoki stworzyły na temat astronomii i astrologii, praktyk i teorii prawnych, fiskalnych i wojskowych.

## **Dynastia Yuan**

Wzajemne oddziaływanie mongolskich nomadów i chińskich osiadłych praktyk rolniczych rozprzestrzeniło się po całej Azji, wpływając na życie gospodarcze i społeczne w epoce Yuan i

modyfikując je. Podbijając ludność Song, mongolski Yuan utrzymał struktury biurokratyczne państwa Song w regionie południowym w dużej mierze nienaruszone, chociaż podatki wzrosły. Relacje dzierżawy zostały ustanowione na gruntach prywatnych i rządowych, a rolnicy często płacili 50 procent swoich plonów jako czynsz. Na północy Yuan szeroko konfiskował grunty rolne na cele wypasu, co oznaczało, że zboże musiało być transportowane z południa na północ. Podczas gdy na południu było dużo wody, północ imperium często cierpiała z powodu suszy. Kiedy Khubilai Khan uczynił Khanbaliq (Cambaluc; znany w języku chińskim jako Dadu lub Tatu, czyli „Wielka stolica”) swoją stolicą, poprosił swojego urzędnika i astronoma Guo Shuojinga o wykorzystanie rzek i kanałów w regionie, aby zapewnić miastu wystarczającą ilość wody. W okresie Yuan urzędnicy nabywali i wykazywali się wieloma talentami, podobnie jak ich poprzednicy z dynastii Song. Kiedy Wang Zhen ukończył swoją „Księgę o rolnictwie” (Nongshu) w 1313 r., mógł korzystać z rosnącego archiwum tekstów specjalistycznych studiów i esejów na temat hodowli jedwabników i rolnictwa, metod hodowli kaczek, złotych rybek i koni oraz repozytoriów literackich na temat różnych roślin. Wang cytował również obficie zarówno Jia Sixie, jak i Chen Fu. Wang wyjaśnił, że jego książka o rolnictwie była potrzebna, aby złagodzić skutki katastrof i długiej wojny między Song i Yuan, które, jak uważał, nadal hamowały produktywność rolnictwa. Jednak książka Wangu nie tylko przywoływała idealną przeszłość. Była innowacyjna pod wieloma względami, ponieważ łączyła zarówno metody północne, jak i południowe. Ponadto Wang wplatał własne komentarze opisujące jego własne obserwacje i osobiste doświadczenia w teksty Jia i Chena. Najważniejszą nowością książek Wangu Zhena było łączenie wykorzystania tekstów i ilustracji. W swoim „Ilustrowanym rejestrze narzędzi rolniczych” (Nongqi tupu) połączył rysunki techniczne maszyn i narzędzi z objaśnieniami dotyczącymi ich konstrukcji i użytkowania, dostarczając „szablony działań” dla urzędników państwowych, którzy byli zobowiązani podróżować po imperium, aby objąć swoje różne stanowiska. Podejście Wangu Zhena odzwierciedla rosnące możliwości techniczne ery Yuan i dojrzewanie naukowych eksploracji środków wizualnych i tekstowych w celu uzupełnienia ich strategii i pomysłów. Podobnie jak Jia Sixie, Wang uwzględnił rozdział o hodowli zwierząt w swoich badaniach rolniczych. Sekcje dotyczące owiec i świń składają się głównie z cytatów z Qimin yaoshu, a sekcja dotycząca bydła i bawołów wodnych została w większości przedrukowana z Chen Fu. Wang skopiował również uwagi Chen Fu na temat zaniedbań w zakresie higieny w hodowli bydła, oddając szacunek zmianom wymuszonym przeprowadzką na południe, mimo że państwo Yuan zezwoliło teraz dużym zwierzętom hodowlanym na swobodne wędrowanie po północy. Wang Zhen chciał zachować wielość praktyk rolniczych i teorii swojego pokolenia, jednocześnie oferując porady dotyczące nowych lub alternatywnych metod, które można by wykorzystać w czasach kryzysu lub katastrofy. Wang przywiązywał dużą wagę do dydaktyki i konsultował się ze stolarzami, aby zrozumieć mechanizm i konstrukcję urządzeń do podnoszenia wody, a także prostych narzędzi, takich jak brony lub siewniki, a nawet sam badał przygotowanie gleby, aby móc wyjaśniać techniki rolnicze swoim rówieśnikom. Wang był szczerze zainteresowany rozpowszechnianiem wiedzy o metodach rolniczych wśród swoich kolegów, którzy często musieli prznosić się z posterunku na posterunek w całym imperium. W odpowiednim czasie Wang wspierał również inicjatywy państwa Yuan mające na celu promowanie uprawy nowych upraw i roślin. Na przykład szczegółowo wyjaśnił dwuwalcową, niesprzęgłą odziarniarkę bawełny, która przetwarzała włókno, które państwo mongolskie wprowadziło do Chin. Było to częścią aktywnego zachęcania rolników przez państwo Yuan do rozpoczęcia produkcji bawełny, którą promowało od 1289 r. W 1296 r. uprawa bawełny była tak rozpowszechniona, że państwo mogło włączyć bawełnę do swojego systemu podatkowego, chociaż nadal promowało uprawę bawełny, utrzymując stawkę podatku niższą niż w przypadku jedwabiu lub konopi.

## **Dynastia Ming**

Od końca dynastii Ming do początku Qing uczeni-urzędnicy coraz bardziej rozwijali bibliotekę literacką lokalnych praktyk rolniczych. Na przykład „Księga rolnictwa Shena” (Shen shi nongshu) i „Suplement do księgi rolnictwa” (Bu Nongshu) Zhang Luxianga (1611–1674) opisują osiągnięcia rolnicze w północnej prowincji Zhejiang. Obie książki opisują narzędzia rolnicze i ich zastosowanie w codziennych czynnościach, takich jak przygotowanie gleby, nawadnianie, transport obornika i jego wykorzystanie jako nawozu, a także ochrona upraw. Podobnie jak ich poprzednicy, obejmowały one również uprawę roślin i roślin, leśnictwo, hodowlę zwierząt i przemysł tekstylny gospodarstwa domowego. Coraz większa liczba ulotek „wspierających rolnictwo” (quannong) i encyklopedii domowych była publikowana w celu rozpowszechniania wiedzy o nowych uprawach, takich jak słodkie ziemniaki, kukurydza i tytoń. Rolnictwo stale się różnicowało, szczególnie w Jiangnan, które miało żyzną glebę. Rolnicy i urzędnicy eksperymentowali z różnymi odmianami ryżu i narzędziami rolniczymi, stosowaniem nawozów i systemami upraw. Kupcy i urzędnicy poprawili swoją świadomość głównych odmian i pododmian ryżu, zwłaszcza ryżu o średnim i późnym plonie, wybierając i propagując nowe odmiany, aby dostosować się do urbanizującego się społeczeństwa. Urzędnicy i rolnicy promowali stosowanie narzędzi, w tym grabi (tieda) i niwelatora (tiandang) używanych do wyrównywania pola, ponieważ oba ułatwiały produkcję ryżu. Trzy- lub sześcioboczne grabie były kluczowe przy sadzeniu pszenicy na grzbietach, co było kluczowe dla podwojenia plonów ryżu i pszenicy na polach ryżowych. Rolnicy eksperymentowali również z różnymi nawozami, od obornika ludzkiego po wytloki olejowe i mieszanki każdego z nich, aby produkować dwa lub trzy plony rocznie, takie jak ryż latem i uprawy na suchych terenach, takie jak pszenica, fasola i rzepak zimą. Pod koniec okresu Ming, Xu Guangqi zamieścił szczegółową listę różnych rodzajów nawozu, które były wówczas używane, w swoich „Complete Books of Agricultural Politics” (Nongzheng quanshu, 1625–1628), wyjaśniając sposób ich wykorzystania, popularyzując, a także wprowadzając innowacje w podstawowej, choć znaczącej technologii chińskiej praktyki rolniczej, która umożliwiłaby państwu wyżywienie rosnącej populacji. Podobnie jak we wcześniejszych okresach Song i Yuan, praktyka rolnicza epoki Ming była ściśle powiązana z zarządzaniem drogami wodnymi. Wczesne podejścia Ming do inżynierii hydraulicznej opierały się na pomysłach Guo Shoujinga i Yu Ji (1272–1348) dotyczących budownictwa wodnego z północno-zachodniego regionu. Skutki reorganizacji hydraulicznej często stawały się widoczne w zmieniających się wzorcach upraw, co stymulowało kolejną reformę podatków i systemu pańszczyźnianego, który Ming odziedziczyli po Yuan. Zhu Yuanzhang, pierwszy cesarz Ming, twierdził, że kontynuacja praktyki Yuan polegającej na dziedziczeniu zawodów w dziedzinie rzemiosła i rolnictwa, w połączeniu z systemem kwotowym dla pracy pańszczyźnianej przy państwowej produkcji jedwabiu, soli i porcelany, a także górnictwie, mennictwie i pracach budowlanych na dużą skalę, była korzystna zarówno dla państwa, jak i zwykłych ludzi, ponieważ zapobiegała korupcji i czyniła żądania państwa bardziej przewidywalnymi. Podczas gdy wprowadzono system kwotowy, syn Zhu Yuanzhang i urzędnicy podczas panowania cesarza Yongle wkrótce zaczęli zaburzać równowagę systemu w obszarze dóbr luksusowych, takich jak jedwab, zwiększając żądania dworskie. W rzeczywistości system mógł działać tylko tak długo, jak długo pragnienia i żądania pozostawały statyczne, a obowiązki konserwacji i napraw były stale spełniane. Pomimo celu stałości, nowe schematy doływów, katastrofy, takie jak powódzie lub susze, a nawet wahania lokalnych wzorców upraw lub plonów stanowiły stałe wyzwania. W piętnastym wieku urzędnicy w delcie Dolnej Jangcy próbowali zastąpić podejście reagowania kryzysowego w dziedzinie zarządzania hydraulicznego trwającymi programami ciągłych napraw i konserwacji, aby rozłożyć inwestycje finansowe na pokolenia. Ta nowa polityka umożliwiła lokalnym obszarom zbieranie funduszy i mobilizację siły roboczej zgodnie z innymi lokalnymi potrzebami, zmniejszając w ten sposób obciążenie lokalnej społeczności takimi pracami. Jednak ten system oznaczał również, że z czasem zakres projektów się zmniejszył, a spory dotyczące zasobów wodnych lub nieporozumienia dotyczące obowiązków konserwacyjnych pojawiły się. Miejsowości coraz częściej odwracały się od jakiegokolwiek zaangażowania finansowego lub

organizacyjnego wykraczającego poza ich regionalne kompetencje. Oznaczało to, że duże plany były zagrożone, co prowadziło do częstych incydentów katastrof na Rzece Żółtej podczas dynastii Ming, które wymagały uwagi rządu centralnego. W ten sposób wielu znanych ministrów i innych członków dworu późnego Ming, w tym Xu Guangqi i jezuita, zaangażowało się w budowę wałów, regulację rzek i budowę kanałów. Znaczenie, jakie przywiązywano do regulacji wody w literackim rozumieniu rolnictwa epoki Ming, pokazuje, jak nacisk przesunął się w stronę jedwabnictwa i uprawy ryżu. Kultura wizualna i materialna odzwierciedla tę zmianę w obliczu braku dużych zwierząt gospodarskich, takich jak bydło, konie, osły i wielbłądy. Podobnie zmieniły się państwowe struktury biurokratyczne, zwracając uwagę na jedwab, uprawy żywności i rzemiosło, takie jak produkcja porcelany.

### **Człowiek: medycyna i opieka zdrowotna**

Edukacja medyczna i instytucje istniały już w czasach dynastii Han, jednak wiele z tego, o czym się mówi, było przeznaczone wyłącznie dla dworu i elity. Wraz z instytucjonalizacją medycyny przez Songów pojawiła się koncepcja „konfucjańskich lekarzy” (ruiyi) — ludzi, którzy łączyli nauką erudycję i wartości moralne z wiedzą medyczną. Nauka medyczna została szybko zintegrowana z akademią Hanlin (Hanlin yuan), najwyższą szkołą nauki w państwie. Podejście medyczne Songów było inkluzywne i kontekstualizowane, zamiast izolować chorobę lub samo ciało ludzkie, co wyraźnie odzwierciedla biurokratyczny krajobraz tej epoki. Struktury instytucjonalne w opiece nad końmi były podobne do struktur opieki nad ludźmi, zwłaszcza w odniesieniu do leczenia farmaceutycznego i dyrektyw mających na celu kontrolowanie epidemii. Literatura produkowana przez państwo miała na celu głównie poprawę samoleczenia i przepisywania leków, a zatem często miała charakter farmaceutyczny. Uważano, że ciała funkcjonują w podobny sposób, więc wiele z tego, co napisano o ludziach, miało równie dobrze funkcjonować w opiece nad zwierzętami. Uczniowie Song postrzegali choroby zwierząt i ludzi jako przypadki zaburzeń naturalnej harmonii natury lub świata, czego dowodem były kłęski żywiołowe, a ostatecznie spowodowane błędnym zachowaniem człowieka. Z pewnością ludzie musieli aktywnie uczestniczyć w leczeniu i postępować moralnie, aby ułatwić leczenie. Lekarze byli zatem mniej zainteresowani składnikami leków niż ekologią człowieka, pytając, czy ludzie są moralnie słabi, czy też nie mają wystarczającego zrozumienia zasad naturalnych i dlatego działali bezmyślnie. Poszczególne choroby, epidemie i katastrofy były uważane za kwestię wiedzy, moralności i działania. Instytucjonalne ustawienia higieny i opieki medycznej od X do XVII wieku odzwierciedlały wiarę w ostateczną odpowiedzialność człowieka, kładąc nacisk na nadzór, strategię zapobiegania, wiedzę i edukację zarówno w opiece nad ludźmi, jak i nad zwierzętami. Ważne jest, aby zauważyć, że wszelkie paralele między strukturami państwowymi w zakresie medycyny weterynaryjnej i ludzkiej nie były wyłącznie wynikiem, na przykład, pozornego zamykania Songów do rozbudowanej biurokracji — instytucje były podobne, ponieważ koncepcje i podejścia medyczne odpowiadały sobie. Zarówno w sektorze medycyny ludzkiej, jak i weterynaryjnej, instytucje dynastyczne Song powstawały fragmentarycznie, w wyniku ożywionych debat na temat higieny publicznej i opieki medycznej. Ten pojawiający się charakter opieki zdrowotnej Song jest widoczny w historycznym rozwoju dworskiego kunsztu, który rozpoczął się jako instytucja, która oddzielała kości, obdzierała ze skóry i kroїła mięso, mięśnie i jelita martwych koni, wołów, wielbłądów i osłów, a następnie stała się lokalnym urzędem sądowym, który wybierał urzędników na lekarzy weterynarii i uczył zwykłych ludzi, którzy byli rozmieszczani w wojskowej i cywilnej opiece weterynaryjnej w całym kraju. Rzemieślnicy (gongjiang) z dykcji, urzędnicy pomocniczy pałacu (qin congguan), urzędnicy cesarskiego woźnicy (qimazhi junshi) i strażnicy (xiangbu) zostali zatem poproszeni o przygotowanie jelit i mięsa oraz o „naprawę” (xiang bu suo jiao, dosłownie „naprawę”) kości, aby nowi absolwenci i urzędnicy metropolitalni i prowincjonalni (suo jiao di guan xuexi) mogli je studiować jako pomoce naukowe. Rejestrowanie tych działań było obowiązkowe. Badacze musieli skrupulatnie raportować wszystkie te procedury, w tym dostarczać ilustracje (tu) „do późniejszej inspekcji” (dosłownie: przechowywać w rezerwie yigong biyong).

Podejścia instytucjonalne z północnej i południowej ery Song wskazują na autentyczne pragnienie standaryzacji i synergii, które, jak się wydaje, naukowcy uważali za jedyny sposób na wdrożenie konkretnych środków na dużym terytorium. Imponującym materialnym przejawem wysiłków normalizacyjnych uczonych medycyny z dynastii Song był odlew z brązu ludzkiego ciała, który był używany jako narzędzie dydaktyczne do nauczania przepływów qi-ciała i szkolenia lekarzy wojskowych, którzy towarzyszyli wojsku lub byli instalowani w biurach w całym kraju. Debaty tekstowe tamtych czasów odzwierciedlają równie głębokie obawy dotyczące standardów, które wielu urzędników uważało za jedyny sposób na zarządzanie różnorodnymi potrzebami i wymaganiami imperium. Wang Anshi założył aptekę cesarską w celu rozpowszechnienia stosowania przepisanych formuł dla tych, którzy nie mogli sobie pozwolić na lekarza lub indywidualną opiekę medyczną. Oddział medyczny został zainstalowany w akademii Hanlin, produkującej regularne aktualizacje materia medica zleconej przez cesarstwo, które były rozpowszechniane w całym systemie państwa cesarskiego. Teksty były kluczowe dla prób ujednoczenia leczenia medycznego przez dynastię Song, a państwo rozpoczęło kilka kampanii w celu opublikowania receptur i mikstur. W 974 r. dwór cesarski zlecił Lu Duoxunowi (925–996) opublikowanie jego „Nowo ustalonej Materia Medica ery Kaibao” (Kaibao xin xiangding bencao), proponując na przykład wietnamski korzeń Sophora (shandou gen): „jako skuteczne leczenie żółtaczk koni, gorączki i kaszlu. Zabija również robaki”. Robaki, czyli owady lub ich larwy, były uważane za głównych winowajców chorób zwierząt gospodarskich i równie niebezpieczne dla ludzi. Gdy medyczna metoda zapobiegania lub leczenia okazała się skuteczna, informacja była powielana i rozpowszechniana w całym imperium. Te i późniejsze prace rozwijały składniki, smaki, zapachy, kolory i cechy klasyfikacyjne leków. „Pierwsza część o najwyższych ziołach” (Caobu shangpin zhi shang) w klasyfikacji ziół leczniczych na wypadek sytuacji nadzwyczajnych w erze Daguan (Daguan jingshi denglei beiji bencao) opisuje fuji zigen w jasnych szczegółach jako „gorzki w smaku, zimny i nietrujący”, dostarczając wskazówek do jego stosowania przez niewykwalfikowanych pacjentów, jak również dla lekarzy, którzy nie znali tej rośliny. Ugruntowane we wczesnych dniach rządów dynastycznych i pojęciowo ukształtowane podczas reform Qingli w latach czterdziestych XI wieku, wiele pomysłów i wysiłków pierwszego wieku przyniosło owoce głównie pod koniec panowania cesarza Shenzonga (1048–1085). Podejście państwa Song do medycyny po 1076 r. należy rozpatrywać w kontekście reformy gospodarczej i społeczno-politycznego przewrotu zainicjowanego przez wielkiego radnego Wang Anshi. Państwo Północne Song nieustannie rozważało reformę i udoskonalenie struktur instytucjonalnych, które następnie wdrożyło państwo Południowe Song i era Jurchen Jin. Na przykład w epoce Jin „cesarska sekcja medyczna” (taiyishu) została przemianowana na cesarskie biuro medyczne (taiyi ju), zarządzając i konfigurując edukację medyczną autonomicznie. Dwór Jin podzielił swoich trzystu studentów na dziewięć kategorii (ke). W 1140 roku lekarze specjaliści stanowili również część parlamentu ministerialnego (shangshu sheng) i ministerstwa personelu (libu), a ich głównym obowiązkiem była troska o zdrowie cesarza. Jin wprowadził również system szkoleń i egzaminów, regularnie co trzy lata testując kandydatów do służby w sądzie medycznym. Ci, którzy nie zdali egzaminu, mogli kontynuować naukę i pracować jako lekarze dla zwykłych ludzi, ale nie dla cesarza (lub dworu?). Teorie medyczne podążały za tradycjami Północnych Song, w szczególności prace opublikowane w epoce Huizong (1111–1118), a klasyczne teksty z poprzednich okresów zostały również zintegrowane. Podczas gdy lekarze z Południowego Song nadal uważali ideę cesarskiej apteki za trudną do zrozumienia, medycyna recepturowa zyskała duże znaczenie w epoce Jin. Uczniowie kształcili się, pracując u boku praktykujących lekarzy. Mianowanie lekarzy zostało zinstytucjonalizowane na poziomie stolicy, dystryktu i rynku. Podobnie jak system sądowy, lokalny system medyczny miał odrębne gałęzie (ke) i opierał się na pracach referencyjnych, takich jak „Dyskusja na temat przepisów z Xuanming” (Xuanming lunfang) lub „Wzory zapobiegające chorobom spowodowanym przez zimno” (Fanghai zhige). Praktycy, tacy jak Liu Zongsuo (b.d.), badali szczególne

choroby, takie jak te zwane „chorobami o gorącej naturze” (rexing bing) w swoim traktacie „Dyskusja na temat gorąca ognia [faza]” (Huore lun).

### **Dynastia Yuan**

Pod koniec ery Song, szkoły medyczne zostały założone w całym imperium, jak ujawnia kompilator tekstów Yuan Wang Yuan w swoim zapisie lokalnego systemu medycznego, który istniał za jego życia. Wang podkreślił kontrast między literackim podejściem Song do opieki zdrowotnej a mongolskim kultem yin-yang nauki poprzez język i szkoły medyczne, zauważając jednocześnie, że tradycja medyczna Song ceniła również takie akty, jak zaklęcia, śpiewy i uzdrawianie rytualne. Następcy Kubilajchana rekrutowali wróżbitów lub lekarzy do swoich armii i rządu podczas podboju Eurazji. Nie wszystkie z tych poborów były niewolnictwem; w rzeczywistości eksperci otrzymywali przywileje, takie jak zwolnienia podatkowe i korzystne stanowiska w potężnej cesarskiej akademii medycznej. W przeciwieństwie do systemu Song, w którym oficerowie medyczni byli klasyfikowani tak nisko, jak 6, Mongołowie klasyfikowali oficerów medycznych tak wysoko, jak 2, co było podobne do stanowiska ministerialnego. W medycynie, podobnie jak w astronomii, mongolski Juan podwoił liczbę nominacji we wszystkich instytucjach, łącząc chiński gabinet lekarski Han (taiyi yuan) z muzułmańskim „biurem szerokiej łaski” (guanhui si), aby promować muzułmańskie leczenie. Jeśli chodzi o profesjonalną wiedzę, Kubilajchan ignorował pochodzenie etniczne, zatrudniając chińskich lekarzy, takich jak Xu Guozhen (b.d.), który pochodził z pokoleń lekarzy, a także muzułmańskich praktyków, takich jak Ngai-Sie Isu’a (1227–1308). Obu mężczyzn konsultowano w ogólnych kwestiach politycznych, jak i w medycynie. Mongołowie prawdopodobnie byli pod wpływem wysoko rozwiniętych instytucji medycznych w świecie islamskim tamtych czasów i nauczyli się szanować ekspertów medycznych. Ogromne szpitale powstały w krajach islamskich od IX wieku. Centralne zapisy państwowe ujawniają działanie instytucji dworskich, które głównie obsługiwały dwór i region stołeczny, pokazując, jak władcy mongolscy pozostawiali szczegóły opieki medycznej miejscowym, którzy konsultowali się ze szkołami świątynnymi. Xu Heng (ur. 1209), syn Xu Guozhena i najbardziej wpływowego zwolennik szkół neokonfucjańskich na dworze Khubilai, radził młodym mężczyznom, aby wstępowali do służby medycznej w szkołach świątynnych, a nie na podstawie egzaminu urzędniczego, jak to miało miejsce w epoce konfucjańskiej. W tych szkołach świątynnych uczniowie uczyli się od wzorców do naśladowania, a nie z książek. Ponieważ Yuan promował naukę medycyny w celu wykorzenienia fałszywych lekarzy i niepiśmiennych praktyków, większą wiarę przypisywano tekstom niż indywidualnym umiejętnościom. W 1269 r. ministrowie zasugerowali, że: „od tej pory ludzie z różnych wydziałów medycznych będą pracować w swojej specjalności, gdy zobaczą pacjenta, będą polegać na kanonach medycznych, aby określić objawy, przepisać lekarstwo, zastosować akupunkturę lub spalić moksę”. Reiko Shinno sugeruje, że takie szkoły medyczne prawdopodobnie kształciły praktyków pierwszego pokolenia, w przeciwieństwie do edukacji medycznej w ramach struktur pokrewieństwa, przekazywanej z ojca na syna.

### **Dynastia Ming**

Zdrowie publiczne w epoce Ming stało się ponownie kwestią lokalną, ponieważ lekarze coraz częściej wracali do myślenia w kategoriach przypadków, rozumiejąc choroby jako pojedyncze, kontekstualizowane wydarzenia. W takich przypadkach ogromny wpływ biurokratycznego porządkowania na naukowe rozumienie natury, nieba, Ziemi i ludzi był szczególnie widoczny, ponieważ idea wzorców w tej epoce obejmowała równe znaczenie myśli politycznej, filozoficznej i społecznej. Państwo Ming stawało się coraz bardziej obojętne na edukację medyczną i leczenie, pozostawiając takie zadania filantropom sponsorowanym lokalnie lub prywatnie, zamiast urzędnikom. Podczas gdy urzędnicy Han w okresie Yuan instalowali opiekę medyczną w strukturach świątynnych kultu trzech protoplastów, pozwalając każdemu uczyć się od drugiego, Ming zaniedbał funkcje takich świątyń jako

ośrodków uzdrawiania, promując zamiast tego ortodoksyjne konfucjańskie doktryny nauki medycznej na dworze. Apteki charytatywne i biura medyczne były utrzymywane aż do panowania Xuande (1399 - 1435). W latach sześćdziesiątych XVI wieku lokalne struktury były w ruinie, a kompetentni lekarze starali się unikać pracy w słabo płatnych i podupadłych lokalnych biurach medycznych.

### **Wiedza, nauka i biurokracja**

Od czasów Song do ery Ming struktury biurokratyczne w znacznym stopniu wpłynęły na podejście do kodyfikacji i rozpowszechniania wiedzy, a papierowa biurokracja rosła. Nauka Song kształtowała sfery i formaty wiedzy, ponieważ literaci definiowali swoją własną tożsamość społeczną i polityczną jako rządzącą elitę, obejmując literaturę i sztukę nawet bardziej niż ich poprzednicy, arystokratyczni władcy Tang. Jednak wraz z wynalezieniem druku i papieru uczeni zaczęli również coraz bardziej niepokoić się o pochodzenie wiedzy i linie myślenia. Antykwarianizm, czyli badanie „dobrych kwestii starożytności” (haogu), rozkwitł, skupiając się na trzech dynastiach poprzedzających Han, „pismie na brązach i kamieniach”, tj. epigrafice (jinshi xue), „pochodzeniu znaków” (ziyuan xue), logografii (wenzi xue) i „inskrypcjach na stelach” (beiming). W tych dziedzinach uczeni stworzyli podstawy dla dziedziny badań dowodowych (kaozheng), która osiągnęła dojrzałość w okresie panowania dynastii Qing. Odkrywając i śledząc starą wiedzę, uczeni próbowali zrozumieć rytuały i moralność poprzez konserwację lub odzyskiwanie przedmiotów. Wraz z postępem i komercjalizacją materiałów drukowanych uczeni stali się zatem coraz bardziej krytyczni wobec prawd przeszłości, ponieważ były one przedstawiane we współczesnym druku. Podnoszenie wątpliwości co do reprodukcji starożytnej wiedzy działało jak katalizator dla badań nad naturą rzeczy i spraw, niebem, ludźmi i Ziemią. Wynalazki techniczne i materiały stawały się coraz bardziej widoczne w druku, co ułatwiała codzienna biurokracja. Uczeni zastanawiali się nad znaczeniem i potencjałem rzeczy oraz „ustalonych metod” (lifa), polityki i planów operacyjnych (jinglue) lub wytycznych (gui) w celu zarządzania społeczeństwem, państwem i przepływami wiedzy. Jako urzędnicy i moralni przywódcy społeczeństwa, mężczyźni tacy jak Zeng Gongliang (998–1078) i Ding Du (990–1053) zapisali przepis na proch strzelniczy w roku 1044. Ich traktat „Podstawy spraw wojskowych” (Wujing zongyao) przedstawił cywilnej elicie broń, taką jak dywan ognisty (huotan), do użycia w wojnach z Liao, a później z Jurchen Jin i mongolskim Yuan. Wiele z tych broni było już używanych przez jakiś czas, zanim pojawiły się w relacjach literackich. Jest to ogólny wzór zapisów innowacji z epoki Song. Kiedy zajęli stolicę Bianjing, Jurchen nabyli szereg chińskich technologii, takich jak astronomiczna wieża zegarowa Su Songa. Chociaż Jin nie udało się odtworzyć zegara Su Songa, umiejętnie wykorzystali broń prochową w atakach na Mongołów, którzy w XIII wieku wkroczyli na terytorium Jin. Broń palna (qiang) pomogła odeprzeć mongolski atak na Bianjing w 1232 r., ale nie uchroniła Jin przed porażką, ponieważ Mongołowie szybko się dostosowali, wykorzystując nową broń z lepszymi umiejętnościami wojskowymi. Na przykład w 1236 r. armaty były szeroko stosowane. Wiedza zawarta w książkach przetrwała nawet wtedy, gdy praktyczna umiejętność wcielania tej wiedzy w życie zanikła, ponieważ uczeni w Chinach byli zainteresowani śledzeniem pochodzenia rzeczy i zachowaniem starożytnych idei. Na przykład „Oficjalna historia Song” odnotowuje, że w 1027 r. malarz Yan Su (960?–1040?) (który pełnił również kilka lokalnych i centralnych stanowisk w ciągu swojego życia) próbował zbudować i ulepszyć rydwan zwrócony na południe (zhinan che). Drugą próbę podjął artysta Wu Deren w 1107 r., który próbował zbudować i ulepszyć rydwan zwrócony na południe (zhinan che). Chociaż teksty opisywały strukturę i formę pojazdu, wiedza o tym, jak go stworzyć, została utracona. Historycy i uczeni z okresu Tang, a coraz częściej od Song, śledzili pochodzenie rzeczy i spraw w relacjach literackich jako sposób na przypomnienie cesarzowi (i sobie) o złożoności wiedzy, jako sposób na wyjaśnienie kluczowych kwestii w celu zrozumienia, a zatem właściwego rządzenia światem. Te badania, budujące linie zależnych wynalazków do produkcji rzeczy i spraw (w tym instytucji, zwyczajów, rytuałów i kwestii moralnych), również ustanowiły zaufanie do nowych idei i innowacji, łącząc wszystko nowe z przeszłością. W



okresie Ming katalog badań nad pochodzeniem rzeczy znacznie się rozrósł. Nauka od starożytnych lub z oryginalnych pism pozostała nieustającą debatą estetyczną przez cały X do XVII wieku, przekraczając granice dynastyczne państw Song, Liao, Jin, Yuan i Ming. Starożytne historie dostarczały dowodów na to, że rzeczy działały, były niezawodne i skuteczne. W związku z tym Zhao Bingwen (1159–1232), który piastował stanowisko wysokiego ministra w okresie rozkwitu i upadku dynastii Jin, zaproponował dynastię Tang jako wzór uczciwości i życzliwości. Z kolei poeta Yuan Haowen (1190–1257), który również żył w okresie panowania dynastii Jin, opowiadał się za konfucjańskimi kategoriami estetycznymi Song i poezją klasyczną, podczas gdy Li Chunfu (1177–1223) opowiadał się za „oryginalnym pismem”, całkowicie ignorując starożytne słowa. Uczeni od X do XVII wieku pisali i publikowali teksty, ale stosowali również modele, szkice, artefakty i inne środki w celu zachowania i innowacji różnorodnych „kultur wiedzy” w wielu regionach panowania dynastii Song, Liao, Jin, Yuan i Ming.

### **Rewolucja naukowa**

CHOĆ nadal kwestionowana przez historyków, którzy wolą podkreślać ciągłość leżącą u podstaw wszelkich zmian historycznych, „rewolucja naukowa” stała się akceptowanym określeniem okresu, w którym pojawiło się coś rozpoznawalnie podobnego do współczesnej nauki. Chociaż termin ten jest prawdopodobnie błędny — ponieważ „rewolucja” trwała około dwóch stuleci — nie można zaprzeczyć, że ludzkie wysiłki zmierzające do zrozumienia świata przyrody przeszły tak radykalne zmiany począwszy od XVI wieku, że pod koniec XVII wieku nastąpiła całkowita zmiana. To w pełni kompleksowa natura tych wydarzeń i naprawdę niezwykle osiągnięcia z nich wynikające sprawiły, że okres ten jest postrzegany jako okres rewolucji. W latach 1500–1700 obraz świata zmienił się z geocentrycznego skończonego kosmosu zagnieżdżonych sfer niebieskich, który nie dopuszczał żadnej pustej przestrzeni, na heliocentryczny układ słoneczny w nieskończonym wszechświecie, który był pusty, z wyjątkiem miejsc usianych gwiazdami. Przeważająca wiara w jakościową dychotomię między niebem a Ziemią (niebo postrzegane jako coś zupełnie innego niż Ziemia) ustąpiła miejsca wierze, że planety są jak Ziemia, a gwiazdy jak Słońce, oraz akceptacji uniwersalnej stosowalności praw natury. Co więcej, prawa natury nie były już postrzegane po prostu jako zwykłe regularności (pszczoły robią miód, Słońce wschodzi na wschodzie), ale zostały po raz pierwszy skodyfikowane jako precyzyjne stwierdzenia dotyczące tego, jak działają konkretne aspekty świata, i były postrzegane jako uchwytyjące związki przyczynowo-skutkowe między zjawiskami i mające moc predykcyjną. Powstały nowe teorie ruchu, powstawania życia i jego organizacji, zrewidowana anatomia człowieka i nowa fizjologia. W tym okresie wprowadzono również metodę eksperymentalną do tego, co wcześniej było zasadniczo kontemplacyjną „filozofią przyrody”, a także nową wiarę, że analiza matematyczna, pomimo swojej wyraźnie abstrakcyjnej natury, może być używana do pomocy w zrozumieniu wyników eksperymentów i w zrozumieniu świata fizycznego w szerszym ujęciu. Wcześniej kontemplacyjna filozofia przyrody również przeszła dramatyczną zmianę, gdy przyjęła ideę, wcześniej ograniczoną do praktyków sztuk matematycznych i okultystycznych, że wiedza o świecie przyrody powinna być wykorzystywana dla dobra ludzkości. Wraz z tymi zmianami pojawiły się nowe formy organizacji i instytucjonalizacji wśród osób zainteresowanych badaniem świata przyrody; w szczególności był to okres, w którym powstały społeczeństwa poświęcone zrozumieniu natury. Rewolucja naukowa miała miejsce w Europie Zachodniej i chociaż w dużej mierze jej punktem wyjścia była wiedza o świecie przyrody, która najpierw rozwinęła się w starożytnej Grecji, a następnie została przekształcona przez uczone islamskich, a następnie przez średniowiecznych uczone chrześcijańskich, to jednak znacznie przekroczyła to, co osiągnęły te wcześniejsze cywilizacje i inne, takie jak chińska. Chociaż nauka stała się obecnie przedsięwzięciem międzynarodowym, nadal można uczciwie powiedzieć, że na przykład japoński laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki jest praktykiem zachodniej nauki (w taki sam sposób, w jaki japoński pianista koncertowy lub skrzypek gra muzykę zachodnią). Historia rewolucji naukowej jest

zatem również, w części, historią powstania Zachodu. Z pewnością jest to opowieść o początkach wiedzy o świecie przyrody, którą obecnie nazywamy wiedzą naukową, która stała się tak widoczna w kulturze Zachodu, a następnie świata. Literatura na temat rewolucji naukowej jest ogromna, cudownie bogata i złożona. Co więcej, wciąż się rozwija. Poniżej znajduje się konieczna selektywna relacja z tych aspektów rewolucji, które zyskały najwyższy profil w historiografii nauki.

### **Jak to wszystko się zaczęło: renesans i rewolucja naukowa**

Łatwo zauważyć, że rewolucja naukowa, podobnie jak reformacja protestancka, stanowi ważną część szerszych zmian w autorytecie intelektualnym, które były charakterystyczne dla okresu znanego historykom jako renesans, a zatem można powiedzieć, że ma te same ogólne przyczyny, co ta główna zmiana w historii Europy. Pełne sprawozdanie z jej przyczyn musiałyby zatem obejmować upadek starego systemu feudalnego i rozwój handlu, wraz z towarzyszącym mu wzrostem silnych państw i monarchii narodowych w okresie narastającego upadku Kościoła rzymskokatolickiego i Świętego Cesarstwa Rzymskiego. W krótkim sprawozdaniu takim jak to musimy jednak ograniczyć się do tych inicjujących przyczyn, które, jak widać, miały najbardziej bezpośrednie skutki. Ale zanim przejdziemy do tych kwestii, warto również zauważyć, że sam renesans nie powinien być postrzegany jako mający własną wcześniejszą tożsamość, która pozwala nam widzieć rewolucję naukową jako jedynie odprysk tego większego ruchu — zmiany, które stanowiły rewolucję naukową, nie mniej niż zmiany, które stanowiły reformację protestancką, były częścią zmian, które doprowadziły historyków do postrzegania renesansu jako głównego punktu zwrotnego w historii i pomogły uczynić renesans tym, czym był. Wiele zmian w renesansie wynikało z wynalezienia druku i nowego wykorzystania kompasu magnetycznego i prochu strzelniczego (które były najwyraźniej znane na Wschodzie od dawna), z których wszystkie miały poważne reperkusje kulturowe i ekonomiczne. Można również zauważyć, że miały one bezpośredni wpływ na rozwój wiedzy przyrodniczej i postawy wobec niej. Druk i produkcja papieru (również przejęte ze Wschodu) umożliwiły rozpowszechnianie wiedzy jak nigdy dotąd; a kompas i proch strzelniczy pokazały, jak użyteczna może być wiedza o naturalnych mocach rzeczy. Kompas magnetyczny umożliwił żeglarzom wypływanie na otwarte morze, zamiast trzymania się linii brzegowej, i odegrał znaczącą rolę w renesansowych podróżach odkrywczych. Ale te podróże miały inny, bardzo istotny wpływ na późniejsze myślenie. Nie jest prawdą, że wykształceni myśliciele przed odkryciem Nowego Świata przez Krzysztofa Kolumba (1451–1506) zakładali, że Ziemia jest płaska. Starożytni Grecy wiedzieli, że jest kulista, a wpływowy wczesny Ojciec Kościoła, św. Augustyn (354–430), przestrzegał chrześcijan przed dosłownym traktowaniem Biblii, gdy sugerowała, że świat jest płaski, ponieważ tylko ośmieszyliby się w oczach pogan. Mimo to w średniowieczu rozwijała się idea, że kula Ziemi unosi się w większej kuli wody, przy czym tylko jedna półkula Ziemi znajduje się nad wodą. Idea ta rozwinęła się z początkowych założeń zaczerpniętych od Arystotelesa (384–322 p.n.e.), starożytnego greckiego myśliciela, którego autorytet zdominował średniowieczną filozofię przyrody. Istniał jednak pogląd alternatywny, promowany przez Klaudiusza Ptolemeusza (ok. 90–ok. 168), późniejszego starożytnego greckiego pisarza, który stał się głównym autorytetem w technicznych przedmiotach astronomii i astrologii. Geografia Ptolemeusza (lub Kosmografia, jak ją przetłumaczono) stała się na nowo dostępna dla łacińskiego Zachodu w 1406 r. i było z tego jasne, że po prostu wierzył w pojedynczy „globus lądowy” — to znaczy, że Ziemia była po prostu pojedynczą kulą, której powierzchnia składała się z mas lądowych i oceanów lub mórz; nie było dodatkowej kuli wodnej, w której unosiła się Ziemia. Geografia Ptolemeusza z jednej strony zachęcała wielkich nawigatorów okresu renesansu do wiary, że możliwe jest opłynięcie globu (bez zagubienia się w rzekomo większej sferze wody, w której kula ziemską miała unosić się na wodzie), podczas gdy z drugiej strony renesansowe opłynięcia globu pokazały, że Ptolemeusz miał rację, a rzekomo arystotelesowskie teorie opracowane przez średniowiecznych filozofów były błędne. Ale było kilka innych ważnych skutków tych podróży. Eksploracja Nowego Świata i innych części poza Europą spowodowała wzrost świadomości

relatywizmu kulturowego. Było to szczególnie niezwykle w przypadku Chin, gdzie wysoce zaawansowana cywilizacja nie miała żadnego związku z judeochrześcijańską tradycją religijną, która wcześniej była uważana za synonim cywilizacji. Ponadto pokazała, że tradycyjna mądrość (ponownie pochodząca z autorytetu Arystotelesa, ale w tym przypadku również wspierana przez Ptolemeusza), że życie nie może przetrwać na antypodach, była błędnie pojmowana. To prowadzi nas do kolejnego ważnego aspektu renesansu, który miał mieć daleko idące reperkusje dla zrozumienia świata przyrody. Niektóre z politycznych i ekonomicznych zmian w renesansie przejawiały się w pojawianiu się potężnych i bogatych jednostek lub rodzin (najwyraźniej uosabianych na przykład przez rodziny rządzące w różnych miastach-państwach renesansowych Włoch — Medyceusze we Florencji, Sforzowie w Mediolanie itd.), które mogły demonstrować i wzmacniać swoją pozycję, działając jako świeccy mecenasami artystów i uczonych. To właśnie ci świeccy mecenasami umożliwili rozkwit sztuk wizualnych w tym okresie — co jest oczywiście jedną z najbardziej widocznych cech renesansu. Równie ważne dla naszych celów było jednak patronat uczonych, którzy byli zachęceni do gromadzenia bibliotek wielkich ksiąg dla swoich mecenasów. Rezultatem było ponowne odkrycie pism wielu starożytnych filozofów i towarzyszące temu uświadomienie sobie, że Arystoteles nie był filozofem, jak nazywali go średniowieczni filozofowie i teologowie, ale był po prostu filozofem. Co więcej, odkrycie ksiąg poświęconych filozofii starożytnej, zwłaszcza *Żywotów filozofów* autorstwa Diogenesa Laertiosa (żyjącego w II w. n.e.), uświadomiło nam, że dla samych starożytnych Arystoteles wcale nie był najbardziej podziwianym filozofem.

Ważne jest, aby zauważyć, że program nauczania na wydziałach sztuk pięknych wszystkich uniwersytetów w Europie w dużej mierze opierał się na filozofii przyrody Arystotelesa. Ponieważ wszyscy studenci musieli zostać magistrami sztuk pięknych, zanim mogli kontynuować naukę na tak zwanych wyższych wydziałach (teologii, prawa i medycyny), oznaczało to, że najlepiej wykształceni ludzie w całej Europie byli dogłębnie przesiąknięci arystotelesowską filozofią przyrody. Ich inwestycja wydawała się teraz coraz bardziej bezpodstawna. Odkrycie pism innych filozofów, w tym Platona (ok. 427–347 p.n.e.), neoplatoników, stoików i epikurejczyków, dostarczyło bogatego funduszu alternatyw. Eklektyczne próby połączenia najlepszych cech nowo dostępnych starożytnych filozofii odniosły pewien sukces w filozofii moralnej i politycznej, ale były mniej udane w filozofii przyrody. Jedną z alternatyw było zatem przejście z Arystotelesa na Platona lub innego starożytnego myśliciela. Inni filozofowie renesansu, być może bardziej zdezorientowani lub bardziej zaniepokojeni obaleniem tradycyjnego autorytetu intelektualnego, coraz częściej odrzucali uciekanie się do jakiegokolwiek autorytetu i zwracali się ku doświadczeniu osobistemu jako najlepszemu sposobowi zdobywania wiedzy o naturze. Ważnym wpływem był tutaj fakt, że jedną z odrodzonych starożytnych filozofii, która była uważana za popularną wśród samych starożytnych, był sceptycyzm — z wbudowanym odrzuceniem autorytetu.

Podróże odkrywcze i ponowne odkrywanie przez uczonych alternatywnych filozofii do filozofii Arystotelesa coraz bardziej prowadziło do odrzucenia ludzkiego autorytetu jako ważnego źródła wiedzy. To z kolei miało reperkusje w religii, a te z kolei przełożyły się na negatywne nastawienie do autorytetu. Kiedy Marcin Luter (1483–1546) odrzucił autorytet papieża i księdza w religii, nalegając zamiast tego, aby każdy człowiek był swoim własnym kapłanem w kapłaństwie wszystkich wierzących, zachęcał wiernych do samodzielnego czytania Biblii. W naszym świeckim świecie moglibyśmy to uważać jedynie za potwierdzenie autorytetu Biblii. Ale dla Lutera ludzki autorytet papieża lub lokalnego księdza stawał między wierzącym a źródłem prawdy. Tak więc czytanie Biblii samemu (co było wówczas zakazane dla zwykłego wierzącego) oznaczało odrzucenie autorytetu i udanie się do źródła. Świat przyrody był często uważany za drugą księgę Boga i tak jak od wiernych oczekiwano, że sami przeczytają Księgę Pisma Świętego, tak pobożnym filozofom przyrody wydawało się, że Bogu można służyć, czytając Księgę Natury. Filozofia przyrody zaczęła być postrzegana w średniowieczu jako

służebnica tak zwanej „królowej nauk”, teologii. Przed renesansem istniała tylko jedna teologia, reprezentowana przez ortodoksję rzymskokatolicką, i tylko jedna filozofia przyrody, reprezentowana przez scholastyczny arystotelizm rozwinięty przez średniowiecznych scholastyków. Oprócz wszystkich innych skutków fragmentacji zachodniego chrześcijaństwa po reformacji, miał on wpływ na wzmocnienie odrzucenia autorytetu ludzkiego i podkreślenie potrzeby sięgnięcia do źródła prawdy. W przypadku filozofii przyrody oznaczało to po prostu sam świat przyrody. Podczas gdy filozofowie przyrody kiedyś szukali odpowiedzi na wszelkie pytania dotyczące świata przyrody w księgach Arystotelesa, teraz uznano to za nie do obrony. Alternatywą było badanie samego świata przyrody. Choć może się to nam wydawać proste i oczywiste, stanowi to zasadniczą i niezwykle ważną zmianę w historii ludzkich wysiłków. Nadszedł czas na opracowanie nowego, doświadczalnego lub empirycznego podejścia do rozumienia świata fizycznego. To nowe podejście zostało wyraźnie zilustrowane przez radykalnego szwajcarskiego reformatora religijnego, filozoficznego i medycznego znanego jako Paracelsus (1493–1541). Nie tylko pisał prace reformatorskie, rozwijając unikalnie oryginalny system medycyny, ale także otwarcie bronił swojego nowego podejścia na gruncie empiryzmu. Na przykład w ogłoszeniu kursu, który zamierzał wykładać na Uniwersytecie w Bazylei w 1527 r., odrzucił „to, czego nauczali starożytni” na rzecz „naszej własnej obserwacji natury, potwierdzonej rozległą praktyką i długim doświadczeniem”. Łatwo zauważyć, po gwałtownej reakcji przeciwko Paracelsusowi, że jego odrzucenie autorytetu Galena (ok. 130–201) i Awicenny (980–1037), którzy odgrywali tę samą autorytatywną rolę w medycynie, co Arystoteles i św. Tomasz z Akwinu (1225–1274) w filozofii przyrody, było postrzegane przez wielu nie tylko jako atak na tradycyjną medycynę sankcjonowaną przez kolegia lekarskie w całej Europie, ale jako atak na same kolegia, a nawet jako atak na Kościół i państwo, których kolegia były postrzegane jako przedstawiciele.

Zaledwie dwa lata po tym, jak Karol I (1600–1649) został ścięty przed Pałacem Whitehall, Royal College of Physicians w Londynie został potępiony jako „Palace Royal of Galenical Physick”. Kiedy sekciarski zielarz Nicholas Culpeper (1616–1654) po raz pierwszy przetłumaczył sponsorowaną przez College Farmakopeę na język angielski (1649), dokonał jeszcze bardziej szkodliwego porównania: „Papiści i College of Physicians nie pozwolą, aby Divinity & Physick były drukowane w naszym języku ojczystym”. Pomimo radykalnej i wywrotowej natury dużej części nauk Paracelsusa, wiele aspektów jego nowego systemu medycyny zostało przyjętych i wchłoniętych przez zrewidowane wersje bardziej tradycyjnej medycyny. Jednym z powodów tego był niewątpliwie postrzegany empiryczny sukces paracelsjanizmu, wspierający w ten sposób skuteczność tej nowej metodologii. Lekarze byli przecież profesjonalistami, którzy chcieli zarabiać na życie, płacąc pacjentom honoraria; jeśli nowe terapie wydawały się prowadzić do nowych lekarstw, nieuchronnie pacjenci ich poszukiwali, a praktycy je oferowali. Jednak zwiększony empiryzm zapanował nawet w dziedzinach medycyny, które nie miały bezpośredniego wpływu na sukces terapeutyczny. Reputacja Andreasa Vesaliusa (1514–1564) opierała się nie tylko na jego znakomicie ilustrowanym podręczniku anatomicznym *De humani corporis fabrica* (O budowie ciała ludzkiego, 1543), książce, która z pewnością pokazuje kluczowe znaczenie druku, ale także na jego nowej metodzie nauczania. Podczas gdy wcześniej wykładowcy anatomii czytali jedno z dzieł anatomicznych Galena, podczas gdy chirurg wykonywał odpowiednie sekcje, Vesalius zrezygnował z lektur i wykonał własne sekcje, omawiając ze studentami procedurę i to, co ona ujawniła. Niedługo potem (1594) jego uniwersytet w Padwie zbudował pierwszą specjalnie zbudowaną anatomiczną salę wykładową ze stromo nachylonymi rzędami siedzeń, umożliwiającą wszystkim studentom wyraźny i niezbyt odległy widok na zwłoki. Paracelsus, a bez wątpienia także inni, nawet spoza szeregów jego zwolenników, nie dostrzegli żadnej wartości dla lekarza w „anatomii zwłok”, ale ostatecznie wyższy poziom studiów anatomicznych miał przynieść praktyczne korzyści. Liczne nowe odkrycia dokonane przez Vesaliusza i jego następców w Padwie, a także ich nacisk na znaczenie anatomii porównawczej dla zrozumienia ludzkiego ciała, miały doprowadzić do odkrycia krążenia krwi przez Williama Harveya.

Harvey (1578–1657) był studentem w Padwie w latach 1597–1602 i kontynuował rodzaj studiów anatomicznych, których nauczył się w Padwie po powrocie do Anglii. Podczas gdy inne szkoły medyczne skupiały się wyłącznie na ciele człowieka, padewski nacisk na wartość anatomii porównawczej pozwolił Harveyowi wykonywać wiwisekcje na psach i innych zwierzętach. Dzięki temu Harvey mógł zobaczyć bijące serca w akcji i pójść znacznie dalej niż to, co było możliwe dzięki prostej inspekcji martwych ludzkich serc. Harvey był w stanie wykazać, że galenowe założenie o dwóch oddzielnych układach w ciele — układzie żylnym pochodzącym z wątroby i układzie tętniczym pochodzącym z serca — było całkowicie błędne i że istnieje tylko jeden układ, który odprowadza krew z serca do wszystkich części ciała przez tętnice i przywraca ją żyłami, aby mogła być recykulowana w nieskończoność. Chociaż początkowo spotykało się z oporem, eksperymentalne demonstracje Harveya dotyczące jego odkrycia (opublikowane w 1628 r.) były tak eleganckie, a jego publiczność tak przyzwyczajona do znaczenia eksperymentu w ujawnianiu prawd o naturze, że jego teoria wkrótce została zaakceptowana. Oznaczało to natychmiastową konieczność przeformułowania całego systemu fizjologii galenowej. Rezultatem było zebranie wysiłków anatomów i fizjologów z całej Europy, co doprowadziło kolejno do licznych nowych odkryć. Wesaliusz twierdził, że odkrył ponad dwieście błędów w pracach anatomicznych Galena; obwiniął za nie fakt, że Galenowi jego rzymscy władcy zabronili przeprowadzania sekcji zwłok ludzkich. To rozumiałe, ale znacznie mniej rozumiałe jest dla nas, że błędy te nie zostały zauważone przed XVI wiekiem. Wesaliusz jasno dał do zrozumienia, że powodem tego było właśnie niewolnicze przywiązanie do starożytnego autorytetu, który został teraz odrzucony przez Wesaliusza i innych myślicieli renesansowych:

Współcześni anatomowie są tak mocno zależni od nie wiem-jakiej jakości w pisarstwie swojego przywódcy, że w połączeniu z niepowodzeniem innych w przeprowadzaniu sekcji, haniebnie skrócili pisma Galena do krótkich kompendiów i nigdy nie odeszli od niego — jeśli kiedykolwiek zrozumieli jego znaczenie — o szerokość gwoźdźca. Rzeczywiście, w przedmowach do swoich książek ogłaszają, że ich pisma są w całości poskładane z wniosków Galena i że wszystko, co jest ich, jest jego. . . . Tak całkowicie wszyscy mu się poddali, że nie ma lekarza, który oświadczyłby, że nawet najmniejszy błąd kiedykolwiek został znaleziony, a tym bardziej można go teraz znaleźć, w anatomicznych książkach Galena, chociaż teraz jest to dla mnie jasne dzięki odrodzonej sztuce sekcji . . .

### **Rewolucja w rewolucji: Rewolucja kopernikańska**

Nie można zaprzeczyć, że głównym aspektem rewolucji naukowej była reforma astronomii wprowadzona przez Mikołaja Kopernika (1473–1543) w jego dziele *De revolutionibus orbium coelestium* (O obrotach sfer niebieskich, 1543). Chociaż jej wpływ początkowo ograniczał się do technicznej społeczności astronomów, ostatecznie doprowadziła nie tylko do zrewidowanej kosmologii, ale także do zrewidowanej fizyki. Łatwo zauważyć, że to również nastąpiło po renesansowych podróżach odkrywczych i ponownym odkryciu starożytnej filozofii. Już pierwszy rozdział książki Kopernika potwierdza, że Ziemia jest pojedynczym globusem wodno-łądowym, jak opisano w *Geografii* Ptolemeusza; jakkolwiek problematyczna była teoria Kopernika dla jego współczesnych, musiał on uznać, że łatwiej było twierdzić, że ziemski glob Ptolemeusza był w ciągłym ruchu niż twierdzić, że kula wody, w której kula Ziemi unosiła się z jedną półkulą nad powierzchnią wody, była w ciągłym ruchu. Ale jeśli *Geografia* Ptolemeusza ułatwiła Kopernikowi obronę jego stanowiska, to właśnie ponownie odkryte starożytne pisma zainspirowały go do wykucia tego stanowiska. Powszechnie wiadomo było, że techniczny opis astronomiczny przedstawiony w swojej najpełniejszej i najbardziej użytecznej formie przez Ptolemeusza w *Almagest* (jak był znany na podstawie tytułu nadanego mu przez uczonych islamskich, od których przybył na łańciski Zachód) nie był naprawdę zgodny z zagnieżdżonymi homocentrycznymi sferami, które stanowiły kosmos Arystotelesa. Starożytna kosmologia przyjmowała za pewnik, że ruchy niebieskie były idealnie kołowe,

idealnie jednorodnie (to znaczy, że ruchy utrzymywały stałą prędkość) i były skupione na Ziemi. W rzeczywistości, jak wiemy obecnie (dzięki odkryciom dokonanyom podczas rewolucji naukowej), planety przyspieszają i zwalniają, gdy wraz z Ziemią krążą wokół Słońca, a ich orbity są eliptyczne, a nie kołowe. Matematyczna pomysłowość Ptolemeusza pozwoliła mu opisać zbiór wartości definiujących ruchy każdej z planet, które w większości odpowiadały jednolitym ruchom kołowym. Jednak ruchy planet musiały być wyobrażane nie jako skupione na Ziemi, ale jako poruszające się po wymagowanych okręgach, zwanych epicyklami, które z kolei poruszały się po okręgach wokół większego okręgu, deferentu, który okrążał Ziemię, chociaż skupionego w punkcie w przestrzeni w pewnej odległości od Ziemi. Astronomom, a tym bardziej filozofom, wcale nie było jasne, czy mimośrodowe koła w kołach Ptolemeusza można uznać za zgodne z prostą kosmologią homocentryczną. Co więcej, relacja Ptolemeusza nie oferowała spójnego systemu, lecz jedynie zbiór wartości do traktowania każdej planety po kolei. Dla Kopernika wynik był tym, co moglibyśmy rozpoznać jako potwora Frankensteinia. Jest to, jak pisał, tak jakby ktoś wziął z różnych miejsc ręce, stopy, głowę i inne kawałki, bardzo dobrze przedstawione, być może, ale nie do przedstawienia pojedynczej osoby; ponieważ te fragmenty w ogóle nie należałyby do siebie, złożono by z nich potwora, a nie człowieka. Kopernik wziął na siebie zadanie stworzenia nowej astronomii, która byłaby zgodna z kosmologią, ale czyniąc to, musiał zmienić nie tylko astronomię, ale także kosmologię. Wydaje się jasne, że wziął na siebie to zadanie, przynajmniej częściowo, ponieważ chciał przywrócić to, co widział w starożytnych pismach jako ścisły sojusz między astronomią a kosmologią, zanim Ptolemeusz siłą je rozdzielił. Nie musimy zagłębiać się w zawłości, a Kopernikowi nie udało się w pełni, ponieważ on również trzymał się założenia, że ruchy niebieskie muszą być równomierne i idealnie koliste, ale umieszczając Ziemię wśród planet, doszedł do systemu, w którym kolejność planet względem Słońca mogła zostać ustalona przez geometrię, a kolejność ta pokrywała się z kolejnością sugerowaną przez długości orbit planetarnych (orbity Merkurego były najkrótsze, Saturna najdłuższe). Kolejność ta nie była nowa (poza faktem, że Ziemia znajdowała się teraz między Wenus a Marsem, w miejscu wcześniej zajmowanym przez Słońce) — długość orbity została wykorzystana przez Ptolemeusza do ustalenia kolejności planet, ale było to jedynie konwencjonalne, a Ptolemeusz nie miał innych sposobów na potwierdzenie kolejności. Zgodność geometrii Kopernika z konwencjonalnym porządkiem wystarczyła, aby przekonać Kopernika, że jego teoria jest poprawna. Jednak niewielu z jego bezpośrednich współczesnych postrzegało ją w ten sam sposób. W końcu, geometryczna subtelność, a w zasadzie kwestia estetyczna dotycząca zgodności geometrii z tradycją, to nic w porównaniu z niezwykle mało prawdopodobnym twierdzeniem, że Ziemia się porusza.

Astronomia Ptolemeusza była w takim nieładzie w XVI wieku (jej niedokładności narastały przez stulecia), że astronomowie chętnie przyjęli nowy system Kopernika. W większości jednak nadal uważali, że jest on niezgodny z kosmologią skoncentrowaną na Ziemi i widzieli w nim jedynie ulepszony model matematyczny bez żadnych podstaw w prawdzie. Mimo to nowe podejście do obserwacji i testowanie odwiecznych twierdzeń w odniesieniu do rzeczywistości fizycznej, wniosło inne zmiany do astronomii i kosmologii. Wiodący astronom, Tycho Brahe (1546–1601), wierzył, że dokładne obserwacje umożliwią reformę astronomii bez konieczności zakładania ruchu Ziemi. Jako bogaty członek duńskiej szlachty wyposażył swój pałac, Uraniborg, w imponujące urządzenia obserwacyjne i inne instrumenty astronomiczne i ugruntował swoją pozycję obserwatora o niespotykanej dotąd dokładności. Ale miał też szczęście być świadkiem rzadkiego zdarzenia, które obecnie nazywa się supernową (eksplodującą gwiazdą) w 1572 roku. Widoczne nawet w świetle dziennym zjawisko musiało być uważane przez myślicieli Arystotelesa za atmosferyczne. Ale Tycho wziął na siebie zmierzanie paralaksy tego nowego światła na niebie — takie pomiary umożliwiają oszacowanie odległości od Ziemi, a więc mogą ustalić, czy było to zjawisko podksiężycowe, czy niebieskie. Tycho był w stanie ustalić ponad wszelką wątpliwość, że była to rzeczywiście nowa gwiazda na niebie. Następnie

użył tych samych technik, aby ustalić, że komety, które znowu miał szczęście móc obserwować gołym okiem (teleskopy nie były jeszcze wynalezione), również znajdowały się nad Księżycem. Te wyniki były bardzo znaczące, ponieważ obaliły twierdzenie Arystotelesa, że niebo jest doskonałe i niezmiennie, a w konsekwencji, że nowe gwiazdy są niemożliwe, a komety, podobnie jak meteory, muszą być zjawiskami atmosferycznymi (lub meteorologicznymi), zachodzącymi pod Księżycem. Kulminacja tego rodzaju obserwacji astronomicznych została opisana w *Siderius nuncius* Galileusza (*Message from the Stars*, 1610), po użyciu przez niego teleskopu, instrumentu, który niedawno został wynaleziony w Holandii do celów komercyjnych. Galileusz (1564–1642) donosi o obserwowaniu efektów, które sugerowały mu, że na Księżycu są morza, góry i doliny, a zatem nie jest on jedynie eterycznym światłem na niebie, ale masywnym ciałem dokładnie takim jak Ziemia. Galileusz nie wspominał o sugestii, że jeśli to masywne ciało może być uznane przez wszystkich za poruszające się po niebie, to samo może dotyczyć Ziemi. Galileusz wykazał również, że Jowisz ma własne satelity, tak jak Ziemia ma swój Księżyc. Ponownie, było to ważne, ponieważ Ziemia wydawała się anomalią w systemie kopernikańskim (w którym wszystko krąży wokół Słońca, z wyjątkiem Księżyca). Na koniec Galileusz wykazał, że istnieje niezliczona ilość gwiazd, które są niewidoczne gołym okiem i stają się widoczne dopiero po obejrzeniu przez teleskop. To rozwiązało kolejny zarzut wobec teorii Kopernika. Według nowej teorii gwiazdy muszą być niepojęte dalej od Ziemi niż w starym geostacjonarnym systemie świata, ponieważ nie wykazują paralaksy — to znaczy, nie wykazują ruchu, gdy są obserwowane w odstępach sześciu miesięcy lub gdy są obserwowane z przeciwnych stron ogromnej orbity Ziemi. W odpowiedzi na to zwolennicy Kopernika przedstawili już sugestię, że być może wszechświat jest nieskończony pod względem rozmiarów, a gwiazdy są w nim rozproszone; teleskopowy widok Galileusza na znacznie więcej gwiazd, niż było widocznych gołym okiem, nadał temu pogładowi większą wiarygodność. Galileusz odebrał teorię Kopernika kilku wyspecjalizowanym astronomom i kilku niekonwencjonalnym filozofom przyrody i zwrócił na nią uwagę wszystkich wykształconych czytelników. Co więcej, jego determinacja, by wykazać prawdziwość teorii Kopernika, doprowadziła go do konfliktu z kościołem, *cause célèbre*, która uczyniła teorię Kopernika niemożliwą do zignorowania. Ale argumenty Galileusza na rzecz kopernikanizmu zostały uzupełnione przez staranną i przełomową astronomię matematyczną Johanna Keplera (1571–1630). Korzystając z niezwykle dokładnych obserwacji Marsa dokonanych przez Tycho i wierząc, że nie powinien zadowolić się przybliżoną zgodnością (ponieważ wierzył, że Tycho został wysłany przez Boga, aby pomóc mu zreformować astronomię), Kepler ostatecznie zerwał z tradycją niebieskiej kolistości i ustalił, że planety poruszają się po elipsach i przyspieszają i zwalniają w przewidywalny sposób podczas wykonywania swoich orbit. Prace Keplera zostały ostatecznie przypieczętowane, gdy Izaak Newton (1642–1727) wykazał w swoich *Principia mathematica* (1687), że ruchy planet wynikają z powszechnej zasady ciążenia.

Teoria Kopernika miała implikacje wykraczające daleko poza astronomię. Widzieliśmy już, że doprowadziła do teorii nieskończonej przestrzeni, ale to z kolei doprowadziło do nowych spekulacji na temat możliwości istnienia pustej przestrzeni, czyli próżni. Arystoteles odrzucił istnienie próżni jako sprzeczność samą w sobie, ale ogrom przestrzeni między orbitą Saturna, najbardziej oddalonej planety, a najbliższymi gwiazdami, której wymagała teoria Kopernika, sugerował, że przestrzeń musi być po prostu pusta. W związku z tym możliwość lub nieistnienie próżni stało się obszarem wzrostu w filozofii przyrody po Koperniku. Pierwszą pompę powietrzną, służącą do tworzenia sztucznej próżni, wynalazł w 1650 roku burmistrz Magdeburga w Niemczech, Otto von Guericke (1602–1686). Eksperymenty z pompami powietrznymi wkrótce nabrały własnego życia i doprowadziły do poważnych reform wiedzy naukowej w wielu dziedzinach, ale faktem pozostaje, że te eksperymentalne badania wyrosły z rewolucji kopernikańskiej. Guericke jasno stwierdza w swojej książce *Experimenta nova... de vacuo spatio* (*Nowe eksperymenty z pustą przestrzenią*, 1672), że jego głównym zamiarem na początku eksperymentów było zapewnienie wsparcia dla teorii Kopernika. Co ciekawe, Guericke wynalazł

również pierwszy generator elektryczności statycznej (kulę stopionej siarki, która wytwarzała ładunek statyczny po potarciu), aby dostarczyć dalszych dowodów na korzyść Kopernika. Guericke pokazał, jak jego siarkowa kula przyciągała różne małe obiekty, które następnie pozostawały na jej powierzchni, gdy kula była obracana. „Teraz możemy zobaczyć”, napisał Guericke, „jak kula naszej Ziemi utrzymuje i utrzymuje wszystkie zwierzęta i inne ciała na swojej powierzchni i przenosi je ze sobą w swoim codziennym dwudziestoczterogodzinnym ruchu”. Zjawiska elektryczne opisane przez Guericke'a natychmiast przyciągnęły uwagę i ponownie doprowadziły do istotnych nowych rozumień świata przyrody, ale te nowe osiągnięcia również początkowo wynikały z kopernikanizmu. Znaczenie bodźca kopernikańskiego dla nowego rozumienia przestrzeni — nieskończonej i pustej — można dostrzec w koncepcji przestrzeni absolutnej Isaaca Newtona. Prawa ruchu Newtona przedstawione w jego *Principia mathematica* są ważne tylko przy założeniu, że istnieje rzeczywista, niezmienna, nieoddziaływująca, nieskończona pusta przestrzeń, która stanowi arenę, na której wszystkie ciała poruszają się i oddziałują na siebie nawzajem. W przeciwieństwie do przestrzeni Arystotelesa, w której istnieją tak zwane naturalne miejsca dla każdego z pięciu elementów i w której naturalne ruchy są zupełnie różne w różnych regionach (linia prosta, w górę i w dół, naturalne ruchy pod Księżycem; kołowe naturalne ruchy nad nim), przestrzeń Newtona musi być wszędzie taka sama w całej swojej nieskończonej rozciągłości, niezróżnicowana i nienaruszona przez ciała w niej się znajdujące, krótko mówiąc, jest przestrzenią absolutną. Kiedy Newton napisał swoje *Matematyczne zasady filozofii przyrody*, zaczął od zdefiniowania terminów technicznych i pojęć, których miał zamiar użyć. Mimo kluczowego znaczenia pojęcia przestrzeni absolutnej dla jego fizyki, nie musiał go jednak definiować. „Nie definiuję przestrzeni absolutnej”, po prostu napisał, „jako dobrze znanej wszystkim”. W 1687 roku była ona rzeczywiście dobrze znana (choć nie jednomyślnie akceptowana — niektórzy filozofowie przyrody nadal obstawali przy pojęciu przestrzeni jako odnoszącej się jedynie do ciał ją zajmujących), ale tylko w wyniku przyjęcia teorii Kopernika i żądań tego systemu dotyczących reformy poprzednich poglądów na przestrzeń. Co więcej, teoria Kopernika doprowadziła do nowych prac nad teorią ruchu. Według Arystotelesa nic nie może się poruszać, jeśli nie jest poruszane przez coś, a jeśli czynnik poruszający przestaje działać, ruch również ustanie. Ale jeśli Ziemia jest w ruchu, jak mówi Kopernik, co utrzymuje ją w ruchu? Stało się to głównym problemem dla zwolenników Kopernika. William Gilbert (1544–1603), londyński lekarz i przyszły reformator filozofii przyrody, wpadł na pomysł wykorzystania magnetyzmu do wyjaśnienia ruchu Ziemi. Zdając sobie sprawę z prac wcześniejszych studentów magnetyzmu, że sama Ziemia jest gigantycznym magnesem, Gilbert argumentował, że ponieważ magnesy mogą spontanicznie poruszać się same, muszą mieć duszę — sam Arystoteles przyznał, że ożywione rzeczy mogą się poruszać same — a jeśli Ziemia jest magnesem, musi mieć duszę, a zatem może się poruszać. Animistyczne idee Gilberta zostały przyjęte przez późniejszych myślicieli, choć zwykle dopiero po przekształceniu jego pojęcia magnetycznej duszy w pewnego rodzaju siłę magnetyczną lub zasadę (nie postrzeganą już jako ożywioną, jedynie ukrytą). Kepler przyjął tę ideę, aby wyjaśnić, w jaki sposób planety mogą poruszać się po elipsach, a jego teoria siły magnetycznej działającej między Słońcem a planetami została łatwo zastąpiona w *Principia mathematica* Newtona przez przyciągającą siłę grawitacji. Tymczasem Galileusz rozwijał własną teorię tego, jak Ziemia utrzymuje się w ruchu, a jego teoria może prowadzić, ponownie osiągając punkt kulminacyjny w pracach Newtona, do zasady bezwładności. Zasada ta odrzuca arystotelesowską konieczność ciągłego ruchu, argumentując, że raz zainicjowany ruch będzie trwał, dopóki coś go nie zatrzyma. Galileusz uważał, że taki wieczny ruch musi być kołowy — gdy coś zostanie wprawione w ruch po okręgu, będzie się tak poruszać w nieskończoność. Ale Kartezjusz i inni wskazali na ruch w linii prostej jako naturalną formę ruchu, a Newton położył na to pieczęć i jednocześnie wykazał, że ruchy planet mogą być jedynie odchyłone od ruchu w linii prostej i wygięte w elipsę w wyniku stale działającej siły — grawitacji. Chociaż Galileusz mylił się co do ruchu bezwładnościowego, miał znacznie więcej szczęścia w eksperymentalnych badaniach nad swobodnym spadkiem i był w stanie zastąpić założenie



Arystotelesa, że ciała spadają tym szybciej, im są cięższe, swoim prawem swobodnego spadku, które głosi, że wszystkie ciała spadają (pomijając wszelkie zakłócenia ze strony ośrodka, w którym spadają) z tą samą prędkością.

### **Zastąpienie Arystotelesa: od filozofii okultystycznych do filozofii mechanicznej**

Kopernikanizm nie był jedyną innowacją, która miała tak szerokie konsekwencje. Niezadowolenie z systemu Arystotelesa, narastające w wyniku badań naukowych opartych na starożytnych alternatywnych filozofiach i coraz większej liczbie odkryć, które ujawniły omyłność jego systemu (od potwierdzenia globu ziemskiego do pojawienia się nowej gwiazdy w 1572 r. itd.), doprowadziło do coraz bardziej cynicznego odrzucania jego filozofii przyrody. Obejmowało to odrzucenie jego hylemorficznej teorii materii i towarzyszącą temu próbę wyjaśnienia wszystkich zjawisk materialnych w kategoriach czterech (tak zwanych) jawnych cech: gorąca, zimna, suchości i wilgoci. Hylemorfizm odnosi się do założenia Arystotelesa, że ciała składają się z materii (hyle) i formy (morphe) — materia nie może istnieć bez formy (wyobraź sobie bryłę materii, która nie ma żadnego kształtu); i nie ma sensu mówić o formie niczego, więc forma musi zostać narzucona jakiejś materii. Aby wyjaśnić niezliczone różne odmiany ciała (od metalu, przez drewno, po puch, parę i dalej), Arystoteles przyjął linię redukcjonistyczną i założył, że wszystko można wyjaśnić w kategoriach różnych kombinacji czterech elementów (ziemi, wody, powietrza i ognia). Te cztery elementy ucieleśniały cztery podstawowe, nieredukowalne, jakości (ogień był gorący i suchy; ziemia zimna i sucha; woda zimna i mokra; powietrze gorące i mokre). Arystoteles chciał wyjaśnić wszystkie zmiany ciał w kategoriach tych czterech widocznych jakości — to znaczy czterech jakości, które były oczywiste i łatwo wykrywalne przez zmysły (zwłaszcza przez dotyk). Niestety, Arystoteles był zmuszony uznać, że nie wszystkie właściwości ciał można sprowadzić do tych czterech jakości. Chociaż na przykład coś gładkiego można by założyć, że ma w swoim składzie wodę — ponieważ wilgoć wydawała się w dotyku korelować z gładkością; a napój, który rozgrzewa, musi mieć w swoim składzie powietrze lub nawet ogień — co moglibyśmy powiedzieć o zdolności magnezu do przyciągania kawałka żelaza? Ta zdolność nie wydawała się być wytłumaczalna w kategoriach żadnej z czterech cech. Wilgotność mogła odpowiadać za lepkość, więc przywieranie żelaza do magnezu można było postrzegać jako wynik wiążącej wilgoci, ale co powodowało, że żelazo przesuwało się w kierunku magnezu? W niektórych przypadkach ogień wydawał się przyciągać do siebie rzeczy — powietrze i inne lekkie rzeczy — ale żaden ogień nie mógł przyciągnąć kawałka żelaza. Nie było innego wyjścia, jak zaakceptować dowody dostarczone przez doświadczenie, że magnesy mają ukrytą jakość, a tej jakości nie można sprowadzić do cech jawnych. Arystoteles i jego średniowieczni scholastyczni zwolennicy unikali odwoływania się do cech okultystycznych, tak bardzo, jak to możliwe — starając się wyjaśnić wszystko w kategoriach cech jawnych. Jednak filozofowie renesansu coraz częściej uciekali się do cech okultystycznych. Mówiono, że rośliny lecznicze działają poprzez swoje cechy jawne. Niektóre rośliny były chłodzące (zarówno po zjedzeniu, jak i po zastosowaniu jako okład) i mogły być używane do zwalczania gorączki; inne były napotne lub moczopędne i mogły być używane do osuszania kogoś, kto cierpiał na nadmiar wilgoci w organizmie. Jednak rośliny, o których w lokalnej tradycji danego regionu wiadomo było, że mają właściwości lecznicze, ale o których nie wspomniał Arystoteles ani jego starożytny następca i specjalista od roślin, Teofrast (ok. 371–ok. 287 p.n.e.) lub późniejszy Dioskurides (ok. 40–90 n.e.), nie zawsze mogły być postrzegane jako działające dzięki jednej z widocznych cech. Zostało to pogłębione przez wzrost liczby roślin leczniczych przywiezionych do Europy z Nowego Świata. Tam, gdzie nie było starożytnego autorytetu wskazującego, w jaki sposób roślina wywierała swoje działanie lecznicze, filozofowie przyrody coraz częściej uciekali się do cech tajemnych. Następnie najbardziej ambitni filozofowie renesansu próbowali opracować własne systemy filozofii przyrody, które, jak mieli nadzieję, zastąpiłyby coraz bardziej nie do utrzymania system Arystotelesa. Początkowo wszystkie te potencjalne systemy zastępcze opierały się w dużej mierze na zasadach okultystycznych. Przypuszczalnie wszyscy ci innowatorzy zauważyli rosnącą użyteczność cech

okultystycznych i postrzegali je jako niedostatecznie wykorzystany aspekt arystotelizmu, który potencjalnie mógłby być wykorzystany jako podstawa nowej filozofii. To nowe podejście do okultyzmu zostało niewątpliwie zachęcone przez ponowne odkrycie starożytnych pism przypisywanych greckiemu bogu, Hermesowi Trismegistusowi (który był uważany za prawdziwego mędrca, którego mądrość została uznana za tak wielką, że został ubóstwiony przez starożytnych). Chociaż zasadniczo neoplatońskie, a zatem raczej religijne w tonie, te ponownie odkryte pisma były powiązane z różnymi alchemicznymi i innymi magicznymi tekstami, które również przypisywano Hermesowi Trismegistusowi. W rezultacie świeccy myśliciele renesansu byli w stanie przewyciężyć ograniczenia Kościoła wobec magii (która dla Kościoła zawsze była kojarzona z działalnością demonów) i twierdzić, że magia naturalna (magia oparta nie na działalności demonów, ale na naturalnych okultystycznych mocach rzeczy — okultystycznych mocach nadanych tym rzeczom przez Boga podczas Stworzenia) była częścią najstarszej mądrości znanej człowiekowi. Podstawą tych twierdzeń było przekonanie, że Adam wiedział wszystko, a po Upadku jego mądrość była sukcesywnie zapominana z pokolenia na pokolenie. Ale im dalej w przeszłość mógł się cofnąć uczony, tym bliżej był odzyskania mądrości Adama. Hermes był powszechnie postrzegany w renesansie jako współczesny Mojżeszowi i pogański mędrzec, który jeszcze nie zapomniał wszystkiego, co wiedział Adam.

Pierwszym tłumaczem neoplatońskich pism hermetycznych z greki na łacinę był Marsilio Ficino (1433–1499), który rozwinął swój własny okultystyczny system filozofii, *De vita* (O życiu, 1489). Okazał się on niezwykle wpływowy i zapoczątkował modę wśród najbardziej ambitnych myślicieli renesansu na rozwijanie alternatywnych systemów filozofii. Początkowo wszyscy ci, którzy próbowali rozwijać alternatywne nowe filozofie, polegali w większym lub mniejszym stopniu na podejściach okultystycznych lub magicznych. Do czołowych postaci należą tutaj Giovanni Pico della Mirandola (1463–1494), Pietro Pomponazzi (1462–1525), Cornelius Agrippa (1486–1535), Paracelsus, Girolamo Fracastoro (ok. 1477–1553), Jean Fernel (ok. 1497–1558), Girolamo Cardano (1501–1576), Bernardino Telesio (1509–1588), Francesco Patrizi (1529–1597), Giordano Bruno (1548–1600), William Gilbert (1544–1603), Francis Bacon (1561–1626) i Tommaso Campanella (1568–1639). Jean Fernel zajął stanowisko bliskie arystotelizmowi, ale ze znacznie większą rolą dopuszczającą cechy okultystyczne. Francesco Patrizi, przeciwnie, odrzucił arystotelizm niemal całkowicie i rozwinął filozofię, która była znacznie bliższa neoplatonizmowi. Inni zajęli stanowiska gdzieś pośrodku spektrum między okultystycznym arystotelizmem a bardziej ficiniańskim neoplatonizmem. Chociaż niektórzy, tacy jak Fernel i Paracelsus, okazali się wpływowi i zgromadzili zwolenników, żaden z nich nie był w stanie przekonać większości swoich wykształconych współczesnych, że dotarli do prawdziwej filozofii, godnej zastąpienia arystotelizmu. Następnie, na początku XVII wieku, pojawiła się nowa i potężna alternatywa dla filozofii okultystycznych. Możliwe, że to radykalnie odmienne podejście zrodziło się ze sposobów myślenia, które były stosunkowo powszechne wśród praktyków matematyki, ale obecny stan badań historycznych pozwala nam jedynie stwierdzić, że dwóch czołowych myślicieli matematycznych niezależnie rozwinęło całkowicie kinematyczne podejście - innymi słowy, próbowali wyjaśnić wszystkie zjawiska fizyczne wyłącznie w kategoriach ciał w ruchu. Tymi dwoma radykalnymi innowatorami byli Galileo Galilei i René Descartes (1497–1650). Trzeci innowator, który rozwinął fizykę kinematyczną, Isaac Beeckman (1588–1637), faktycznie zapoznał Kartezjusza z tym nowym sposobem uprawiania fizyki, ale w przeciwieństwie do Kartezjusza nigdy nie rozwinął w pełni swojej filozofii przyrody i nigdy nie opublikował swoich idei, więc nie miał późniejszego wpływu na rozwój (poza pośrednim, poprzez Kartezjusza). Czwartym myślicielem, który próbował rozwinąć całkowicie fizykę kinematyczną, był Thomas Hobbes (1588–1679), ale jego system fizyki był pochodną kombinacji idei Galileusza i Kartezjusza. Galileusz był tak samo stanowczo przeciwny magicznym sposobom myślenia, jak arystotelizmowi, i wygląda na to, że pojął możliwość rozwinięcia fizyki kinematycznej, gdy zdał sobie sprawę, że ruch Ziemi Kopernika może dostarczyć wyjaśnienia pływów — wyjaśnienia, które nie

obejmowało okultystycznego wpływu Księżyca. Związek między Księżycem a pływami był znany od czasów starożytnych i zakładano, że wynikał z okultystycznego wpływu. Poruszająca się Ziemia zasugerowała jednak Galileuszowi, że oceany mogą się obracać, gdy Ziemia się obraca (szczegóły są skomplikowane, ale Galileusz przytoczył analogię do słodkiej wody przewożonej przez lagunę do Wenecji w barkach — jeśli ruch barki się zmienił, woda przesunęłaby się i podniosła albo z przodu, albo z tyłu barki). Zaangażowanie Galileusza w tę ideę było tak duże, że nawet pływy uważał za dowód, że Ziemia musi się poruszać, jak powiedział Kopernik. W związku z tym uczynił swoją teorię pływów podstawą swojej próby udowodnienia prawdziwości teorii Kopernika w swoim Dialogu o dwóch najważniejszych układach świata (1632) — było to to samo dzieło, w którym wprowadził wspomnianą wcześniej ideę, że gdy raz wprawi się ciało w ruch po okręgu, będzie ono nadal to robić w nieskończoność, chyba że coś je zatrzyma (ponownie, było to kluczowe dla jego fizyki kinematycznej). W swojej ostatniej pracy, Rozważania o dwóch nowych naukach (1637), rozwinął dalej swoją kinematykę i udało mu się nawet wyjaśnić przyspieszenie w swobodnym spadku bez odwoływania się do ukrytej idei grawitacji (ograniczając dyskusję na temat przyspieszenia spowodowanego grawitacją do faktu, że ciału nadane są „równe przyrosty prędkości” — nie ma dyskusji na temat tego, dlaczego prędkość wzrasta). Tymczasem francuski matematyk, René Descartes, opracował o wiele bardziej wszechstronną i systematyczną fizykę kinematyczną. Descartes miał ją opublikować w 1633 r., gdy usłyszał o potępieniu Galileusza przez Inkwizycję za propagowanie kopernikanizmu. Ponieważ system Descartesa opierał się również na założeniu, że Kopernik miał rację, zakazał swojej pracy, a jego w pełni rozwinięty system został opublikowany dopiero w 1644 r. jako Principia philosophiae (Zasady filozofii). System Descartesa jest bogaty i złożony, ale w swej istocie łączy filozofię atomistyczną z fizyką opartą na siłach odśrodkowych generowanych, gdy ciało jest wprawiane w ruch obrotowy (pomyśl o wirowaniu kamienia w procy — kamień ma tendencję do oddalania się od środka obrotu). Atomizm był jedną ze starożytnych filozofii, które zostały ponownie odkryte przez uczonych renesansowych i starały się wyjaśnić wszystko w kategoriach ruchu, zderzeń, łączenia i rozpraszania atomów. Może się to wydawać bliskie kinematyce, ale najbardziej znany z odnowicieli atomizmu, Pierre Gassendi (1592–1655), na przykład, założył, że atomy mają własne wewnętrzne energie i zasady ruchu. W związku z tym Gassendi był postrzegany jako bliższy tradycji wywodzącej się od Ficina, a jego atomizm ma wbudowane wyraźne elementy okultystyczne. Nie było tak w przypadku Kartezjusza; jeśli włączył niewyjaśnione zasady działania do swojego najwcześniejszego myślenia, wkrótce był w stanie je wyciąć i opracować całkowicie kinematyczny system, w którym wszystko było wyjaśniane w kategoriach ruchów niewidzialnie małych cząstek, ich zderzeń i przenoszenia ruchu z jednej cząstki na drugą w tych zderzeniach. To właśnie w odniesieniu do przenoszenia ruchu Kartezjusz rozwinął swoje trzy prawa natury (trzecie z nich zostało uzupełnione o siedem reguł kolizji) — pierwsze wyraźne stwierdzenie precyzyjnych praw, które następnie można było wykorzystać do analizy i przewidywania zachowania ciał nieożywionych. Próby Galileusza i Kartezjusza opracowania systemów filozoficznych, które nie opierały się na zasadach okultystycznych, zostały natychmiast uznane za potencjalnie użyteczne i okazały się bardzo wpływowe. Kartezjusz stał się znany jako filozof mechaniczny, ponieważ wszelkie zmiany fizyczne były wyjaśniane w kategoriach ząbienia się, tarcia i kolizji części materialnych. Kartezjusz rozszerzył to nawet na istoty żywe, tak że rośliny i zwierzęta (a nawet ciała ludzkie — chociaż przyznał, że u ludzi istnieje nieśmiertelna dusza) były postrzegane jako automaty. Stanowiło to zasadniczą zmianę w teoriach życia. Dla Arystotelesa tylko żywe istoty były zdolne do samodzielnego ruchu (w tym wzrostu w przypadku roślin), a ta zdolność oznaczała obecność duszy w samoporuszającej się, żywej istocie (choć jedynie duszy wegetatywnej lub duszy zwierzęcej). Ale Kartezjusz zauważył, że zegary i inne automaty (żył w czasach, gdy pomysłowi rzemieślnicy byli w stanie tworzyć niezwykle automaty) mogły poruszać się same, a mimo to nikt nie wywnioskował z ich ruchów, że mają dusze. Kartezjusz odrzucił wszystko oprócz racjonalnej, nieśmiertelnej duszy istot ludzkich (którą zachował z powodów religijnych), a żywe istoty były w takim samym stopniu maszynami, jak wszystko inne w jego

filozofii mechanicznej. System Kartezjusza był tak w pełni opracowany, tak wszechstronny w swoim zakresie (przynajmniej w zasadzie), że zaczął wypierać arystotelizm na uniwersytetach — szczególnie w Holandii. W jego rodzinnej Francji kartezjanizm był postrzegany jako zagrożenie dla zdrowej religii i przez pewien czas był zakazany przez Koronę, ale wydaje się uczciwie powiedzieć, że kolejne pokolenie francuskich filozofów przyrody, a w szczególności ci, którzy stanowili nowo założoną Académie des Sciences w 1666 r., byli przeważnie kartezjańscy. Nie oznacza to, że wady systemu Kartezjusza nie zostały zauważone (system był bardziej pomysłowy niż praktyczny), ale był to niewątpliwie jedyny system filozoficzny, który był w stanie zastąpić w pełni kompleksowy system Arystotelesa, cały i kompletny — żaden inny myśliciel nie przedstawił systemu, który choćby się do niego zbliżył. W czasach, gdy arystotelizm był uważany za nie do utrzymania, kartezjanizm był powszechnie uważany za jedyny system filozoficzny zdolny zająć jego miejsce.

W Wielkiej Brytanii system kartezjański nie radził sobie tak dobrze. Filozofia przyrody w Anglii była silnie dotknięta filozofią Francisa Bacona, pierwszego wielkiego filozofa, który pojawił się w Anglii od czasów średniowiecza. Bacon próbował rozwinąć własną okultystyczną (opisano ją jako półparacelsjańską) filozofię przyrody, ale jego główny wpływ wynikał z programu, który opracował w celu reformy filozofii przyrody. Zawsze uznawano, że właściwości okultystyczne można odkryć lub zrozumieć jedynie w wyniku doświadczenia: nic w wyglądzie magnesu nie pozwala nam przewidzieć jego wpływu na żelazo, ale uczymy się tego łatwo, gdy widzimy, jak magnes oddziałuje z kawałkiem żelaza. Niektórzy z wcześniejszych myślicieli tradycji okultystycznej, tacy jak Paracelsus, Fernel i Cardano, wyraźnie mówili o potrzebie oparcia filozofii przyrody na doświadczeniu (i oczywiście szło to w parze, jak widzieliśmy, z antyautorytarnymi aspektami myślenia renesansowego), ale Bacon był pierwszym filozofem, który przedstawił filozoficzną obronę doświadczenia i uzasadniony opis znaczenia tego, co stało się znane jako metoda eksperymentalna. Tę metodę, a szerzej podejście Bacona, przyjęło kolejne pokolenie angielskich myślicieli, a nowa filozofia, która rozwijała się w Anglii, zaczęła być nazywana filozofią eksperymentalną. System Kartezjusza był w większości przedstawiany jako filozofia racjonalistyczna, logicznie wychodząca z początkowych założeń. Kiedy Kartezjusz przedstawiał pozornie eksperymentalne dowody, interpretował je w sposób, który odpowiadał jego z góry przyjętym doktrynom. Na przykład przywłaszczył sobie eksperymentalną demonstrację Harveya dotyczącą krążenia krwi, ale uczynił ją słuszną dla jego własnego mechanistycznego wniosku, a nie bardziej okultystycznego wniosku Harveya. Eksperymenty Harveya wyraźnie wykazały, że skurcz serca był jego aktywnym udarem i doszedł do wniosku, że serce ma niewyjaśnioną zdolność do wielokrotnego kurczenia się. Było to zbyt okultystyczne dla Kartezjusza, który upierał się, że serce jest tak gorące, że może wybuchowo odparować krew napływającą z płuc, tym samym nadmuchując serce i wysyłając krew do wielkiej tętnicy. Z tego wynikało, że rozszerzenie serca musi być jego aktywnym uderzeniem, a Kartezjusz zasugerował, że to właśnie wykazały eksperymenty Harveya. W związku z tym angielscy czytelnicy Kartezjusza mieli skłonność do podejrzliwości wobec jego pracy i nadal oferowali własną, opartą na eksperymentach wersję filozofii przyrody. Dla angielskich myślicieli ważne było, aby ich eksperymenty można było przedstawić jako wykonywane w sposób wolny od teorii (bez teoretycznych uprzedzeń), tak jak metoda eksperymentalna została opracowana przez Bacona w jego *Novum organum* (Nowy Organon, 1620, nawiązującym do tradycyjnego tytułu nadanego zebranym dziełom Arystotelesa na temat logiki — *Organon*). Kulminację angielskiego podejścia można zobaczyć w *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Matematyczne zasady filozofii przyrody, 1687) Izaaka Newtona. Nieporównywalne zdolności Newtona jako matematyka pozwoliły mu wyjaśnić ruchy planet, określone przez Keplera, na podstawie założeń, że planety dążą do nieograniczonego poruszania się po liniach prostych (zasada bezwładności), ale są nieustannie przyciągane do Słońca siłą, która zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości między Słońcem a planetą (zasada powszechnego ciążenia). Akceptując tradycję Bacona, Newton nie odczuwał żadnych oporów, aby przedstawić

mechanistyczne wyjaśnienie działania grawitacji na planetach, jakiego żądali kartezjanie. Kartezjanie wyjaśniali grawitację w kategoriach pchania w dół stale opadających niewidzialnie małych cząstek, ale dla Newtona te domniemane strumienie cząstek były hipotetycznymi bytami bez dowodów, które niezależnie weryfikowałyby ich istnienie. Grawitacja Newtona, podobnie jak siła przyciągania magnesu, została po prostu potwierdzona z jednej strony codziennym doświadczeniem, a z drugiej faktem, że ruchy ciał dotkniętych grawitacją można było analizować i przewidywać w kategoriach matematycznych praw natury Newtona (które zastąpiły trzy prawa Kartezjusza i okazały się o wiele bardziej użyteczne). „I wystarczy”, pisał Newton, „że grawitacja naprawdę istnieje i działa zgodnie z prawami, które przedstawiliśmy i jest wystarczająca, aby wyjaśnić wszystkie ruchy ciał niebieskich i naszego morza”. Ważne jest jednak, aby zauważyć, że angielscy filozofowie przyrody nie mieli monopolu na eksperymentalizm. Galileusz, którego badania ruchu były prowadzone za pomocą starannie zaprojektowanych eksperymentów toczenia kul po równi pochyłej lub eksperymentów z wahadłami, na przykład, pomógł ustanowić silną tradycję eksperymentalną we Włoszech. Najłatwiej to dostrzec w pracy Accademia del Cimento, założonej w 1657 roku przez kilku zwolenników Galileusza, jako instytutu zajmującego się filozofią eksperymentalną. Nawet w Holandii i Francji, gdzie racjonalistyczna filozofia Kartezjusza odniosła największy sukces, podejścia eksperymentalne były wykorzystywane do testowania jego twierdzeń. Jednym z najstynniejszych i najbardziej dalekosiężnych przykładów tego był zestaw eksperymentów przeprowadzonych przez Blaise'a Pascala (1623–1662), aby ustalić, wbrew Kartezjuszowi, możliwość istnienia przestrzeni próżniowej i rolę ciśnienia atmosferycznego w różnych zjawiskach. Kontynuując twierdzenia Evangelisty Torricellego (1603–1647), ucznia Galileusza, że kolumna rtęci w szklanej rurce, której dolny koniec jest zanurzony w kąpielu rtęci, jest utrzymywana przez ciśnienie atmosfery na powierzchni rtęci w kąpielu, Pascal doszedł do wniosku, że niższe ciśnienie atmosferyczne na szczycie góry będzie w stanie utrzymać jedynie krótszą kolumnę. Hipotezę Pascala potwierdziły eksperymenty przeprowadzone podczas wspinaczki na Puy de Dôme w środkowej Francji, a następnie stwierdził, że przestrzeń nad rtęcią w rurce jest próżnią, publikując wyniki tego i innych eksperymentów w *Experiences nouvelles touchant le vide* (Nowe eksperymenty dotyczące próżni, 1647). Eksperymenty z przestrzenią pustą zostały następnie opracowane i przeprowadzone w Royal Society przez Roberta Boyle'a (1627–1691) i Roberta Hooke'a (1635–1703), przy użyciu pompy powietrza, która była ulepszeniem pompy Otto von Guericke'a, więc jest jasne, że od Torricellego do Royal Society poprzez Pascala i Guericke'a, eksperymentalizm był ruchem europejskim. Próby zastąpienia systemu Arystotelesa rozpoczęły się więc od uciekania się do okultystycznych pojęć i filozofii natury, które w różnym stopniu opierały się na założeniach dotyczących okultystycznych cech i mocy rzeczy. Od *De sympathia et antipathia rerum* Fracastoro (O sympatii i antypatii rzeczy, 1546) do zadeklarowanego celu Newtona w Przedmowie do *Principia*, aby wyjaśnić wszystkie zjawiska w kategoriach „pewnych sił, dzięki którym cząstki ciał, z powodu nieznanych dotąd przyczyn, są albo wzajemnie popychane ku sobie... albo odpychane i oddalają się od siebie”, filozofowie przyrody mieli tendencję do zakładania, że ciała mają niewyjaśnione (choć dane przez Boga) zasady działania, które wyjaśniają wiele zjawisk natury. W tym szerszym obrazie możemy dostrzec wysiłki Galileusza, Beeckmana, Kartezjusza i Hobbesa, aby wycofać się ze wszelkiego stosowania niewyjaśnionych mocy i zasad działania i powoływać się wyłącznie na bierne ciała w ruchu jako na ich zasady wyjaśniające. Ten wyłącznie kinematyczny ruch ostatecznie zawiódł (choć Kartezjusz miał wielu zwolenników aż do XVIII wieku), ale był wystarczająco silny, aby zmienić charakter bardziej okultystycznych i dynamicznych filozofii przyrody. Podczas gdy nowo zaproponowane filozofie przyrody przed Galileuszem i Kartezjuszem były jawnie okultystyczne, później nowe filozofie miały tendencję do bycia dynamicznymi wersjami filozofii mechanistycznej, w której założenia dotyczące niewyjaśnionych mocy i aktywnych zasad rzeczy były uzasadniane w kategoriach doświadczenia. Chociaż Newton pisał w Przedmowie do *Principia* o przyciąganiu grawitacyjnym, działaniu na odległość, którego ani Galileusz, ani Kartezjusz nie mogli zaakceptować ani na chwilę, nadal czuł się w stanie

przedstawić je jako część filozofii mechanicznej: „Chciałbym, abyśmy mogli wyprowadzić resztę zjawisk Natury”, pisał, „przez ten sam rodzaj rozumowania z zasad mechanicznych”.

### **Nowe filozofie i społeczeństwo: patronat i pragmatyzm**

Rozwój intelektualny, bez względu na to, jak tajemny i abstrakcyjny, nie odbywa się w próżni, bez odniesienia do czegośkolwiek poza innymi intelektualnymi osiągnięciami. W powyższym sprawozdaniu, chociaż skupialiśmy się głównie na rozwoju intelektualnym, aby zrozumieć te osiągnięcia, musieliśmy odwołać się do szerszego kontekstu, zaczynając od szerokiego kontekstu zbioru historycznych zmian znanych jako renesans. Ale było wiele bardziej szczegółowych zmian społecznych i politycznych, które uczyniły rewolucję naukową tym, czym była. Jeśli wzrost magii był możliwy dzięki jej nowo zdobytej szanowanej renomie po odzyskaniu korpusu hermetycznego, jej przyjęcie w praktyce zawdzięczało więcej obietnicy pragmatycznej użyteczności niż jakimkolwiek doktrynom hermetycznym. Tę samą troskę o pragmatyczne wykorzystanie wiedzy można dostrzec w rosnącej uwadze poświęcanej przez uczonych i inne elitarne grupy technikom i wiedzy rzemieślniczej rzemieślników. Rosnące znaczenie górnictwa i metalurgii w gospodarce Europy, na przykład, przyciągnęło uwagę intelektualistów o praktycznym nastawieniu. Pierwszym drukowanym sprawozdaniem na temat renesansowych technik górniczych, zawierającym instrukcje dotyczące wydobywania metali z ich rud, wytwarzania armat, a nawet wytwarzania prochu strzelniczego, było dzieło *De la pirotechnia* (1540) Vanuccio Biringuccio (1480–1339). Napisane po włosku przez inżyniera górnictwa, który awansował do rangi dyrektora arsenału papieskiego w Rzymie, było najwyraźniej przeznaczone jako podręcznik dla innych osób pracujących w podobnych okolicznościach jak sam Biringuccio. Można je porównać z dziełem *De re metallica* (1555) Georgiusa Agricoli (1494–1555). Agricola był uczonym humanistą, który nauczał greki na Uniwersytecie w Lipsku, zanim zajął się medycyną. Praktykując w obszarze górniczym i początkowo zainteresowany leczniczymi zastosowaniami minerałów i metali, wkrótce rozwinął obszerną wiedzę na temat górnictwa i metalurgii. Fakt, że *De re metallica* została wydana po łacinie, pokazuje, że była skierowana do odbiorców wykształconych na uniwersytecie, a nie do górników czy pracowników odlewni. Ponadto liczne wydania książki i szerokie rozpowszechnienie w całej Europie pokazują, że Agricola nie pomylił się co do odbiorców. Podobne historie można by opowiedzieć w innych dziedzinach. Chociaż Bernard Palissy (1509–1590) był tylko garncarzem, jego wysiłki na rzecz reprodukcji chińskiej porcelany przyniosły mu sławę. Mógł wygłaszać publiczne wykłady w Paryżu na tematy z zakresu mineralogii, geologii, hydrologii i rolnictwa. W 1580 roku opublikował swój zasób wiedzy w *Discours admirables*, nigdy nie tracąc okazji, by wychwalać zalety praktyki nad teorią. Wprowadzenie kompasu magnetycznego, jednego z głównych praktycznych wynalazków renesansu, stawianego obok druku i prochu strzelniczego, skutecznie doprowadziło do powstania nowej nauki o magnetyzmie. Zauważono, że igły kompasu nie wskazywały po prostu północy, a podejmowano różne próby wykorzystania ich innych ruchów, zwłaszcza zmienności i deklinacji, do określania długości lub szerokości geograficznej, gdy niebo przesłaniały chmury lub mgła. Tutaj na przykład odkrycie deklinacji przez emerytowanego żeglarza i producenta kompasów, Roberta Normana (działającego od 1590 r.), zostało podjęte i wyjaśnione przez Williama Gilberta w pierwszym gruntownym studium elektryczności i magnetyzmu, *De magnetibus* (O magnecie) z 1600 r. Inni uczeni zadowalali się ogólnymi wypowiedziami na temat znaczenia wiedzy rzemieślniczej. Hiszpański humanista i pedagog, Juan Luis Vives (1492–1540), uznał znaczenie tajemnic handlowych w swojej encyklopedii, *De disciplinis* (O dyscyplinach, 1531). Podobnie Francis Bacon chciał uwzględnić wiedzę i techniki rzemieślników w projektowanym kompendium wiedzy, które miało stanowić część jego *Instauratio magna* (Wielkiej Restauracji), głównej reformy nauki. Wpływ Bacona w tym względzie można dostrzec nie tylko w różnych grupach reformatorów społecznych w Anglii w latach wojny secesyjnej i bezkrólewia, ale także w Royal Society of London for the Promotion of Useful Knowledge, jednym z pierwszych stowarzyszeń poświęconych zdobywaniu i wykorzystywaniu wiedzy o naturze. Towarzystwo podejmowało szereg prób,

wykorzystując specjalnie opracowane kwestionariusze, aby poprosić swoich członków o podanie informacji na temat lokalnych technik rzemieślniczych i specjalistycznej wiedzy rzemieślników w miejscu zamieszkania i wokół niego. Pomysł polegał na stworzeniu „historii zawodów”, która miałaby uzupełnić zwykłe historie naturalne. Wspomnieliśmy już o roli świeckich mecenasów w stymulowaniu sztuki i skutecznym promowaniu ponownego odkrywania starożytnych filozofii innych niż Arystotelesa, poprzez zakładanie prywatnych bibliotek i zatrudnianie uczonych do ich rozbudowy. W średniowieczu jedynym mecenasem głównych obrazów był w zasadzie Kościół, co nieuchronnie przejawiało się w tematyce i stylu powstających obrazów. Świeccy patroni chcieli jednak (przynajmniej czasami) świeckich tematów i bardziej realistycznych przedstawień — a wynikający z tego wpływ na sztukę renesansu jest cudownie oczywisty. Ale świeccy patroni wpływali również na sposób studiowania świata przyrody i wykorzystywania tej wiedzy. Zasadniczo troska świeckiego patrona dotyczyła pragmatycznej użyteczności wiedzy, chociaż w niektórych przypadkach użyteczność ta mogła sprowadzać się do niczego więcej niż wywyższenia patrona — potwierdzenia jego bogactwa i władzy. Najwcześniejsze grupy badaczy natury wydają się być gromadzone przez bogatych patronów, w szczególności przez władców i książąt. Rzeczywiście dwory królewskie musiały być jednym z głównych miejsc spotkań uczonych i rzemieślników, co, jak już widzieliśmy, było jedną z charakterystycznych cech rewolucji naukowej. Niesamowicie wyszukane maski dworskie i festiwale pomyślane w celu publicznego zaprezentowania wspaniałości i chwały władcy wymagały ogromnego zespołu organizatorów. Uczni wymyślaliby odpowiednie tematy, łącząc tradycyjne pojęcia rycerskości i honoru z bardziej modnymi lekcjami zaczerpniętymi z nowo odkrytych klasycznych opowieści, podczas gdy architekci i inżynierowie projektowaliby wyszukane scenerie mające na celu zilustrowanie tematów moralnych, a szeroka gama innych rzemieślników i rzemieślników zostałaaby zebrana razem, aby uczynić to wszystko zapierającą dech w piersiach fizyczną rzeczywistością. Trudno sobie wyobrazić porównywalne miejsce w tym okresie dla twórczej współpracy uczonych i rzemieślników. Chyba że oczywiście byłoby to jedno z wielu miejsc, w których sztuki wojenne wymagały takiej współpracy.

Jeśli festiwale i wojny były tylko okazjonalnymi wydarzeniami, to oferowanie bardziej długoterminowego patronatu alchemikom i innym naturalnym magikom, inżynierom, matematykom, historykom przyrody i filozofom przyrody było oczywiście dokonywane w celu zwiększenia bogactwa, władzy i prestiżu patrona. Zazwyczaj oznaczało to, że patron był najbardziej zainteresowany pewnym praktycznym wynikiem pracy tych sług swojego dworu. Nawet w przypadku pozornie bardziej odległych i abstrakcyjnych odkryć fizycznych, można dostrzec takie praktyczne obawy w tle. Kiedy Galileusz, profesor matematyki na Uniwersytecie w Padwie, odkrył księżycy Jowisza za pomocą swojego teleskopu i nazwał je Gwiazdami Medycejskimi, na cześć rządzącej rodziny Medyceuszy z Florencji, targował się o patronat, oferując niebiańskie i quasi-boskie znaczenie księciu Cosimo, a także umieszczając go na mapach gwiazd. Ale na tym nie poprzestał. Próbuąc stworzyć tabele ruchów księżyców Jowisza, które, jak miał nadzieję, zapewnią sposób określania długości geograficznej na morzu, Galileusz potencjalnie przekształcił swoje odkrycie w jedną z największych praktycznych korzyści, z której Medyceusze nie mogli nie skorzystać. Praktykujący matematykę generalnie mieli tendencję do korzystania z pragmatycznych zainteresowań świeckich patronów. Rezultatem był wzrost statusu społecznego i intelektualnego, który pozwolił matematykom wysuwać śmielsze twierdzenia na temat ich przedmiotu, niż było to możliwe wcześniej. Matematyka była postrzegana w złym świetle przez Arystotelesa, który nalegał, że wiedza przyrodnicza musi być oparta na wyjaśnieniach przyczynowych — jeśli znane są przyczyny zjawiska, to zjawisko to jest właściwie rozumiane. Analiza matematyczna konkretnego zjawiska lub zestawu zjawisk nie mogła zaoferować rodzaju wyjaśnień przyczynowych, jakich żądali Arystoteles i jego późniejsi scholastyczni zwolennicy, i dlatego była uważana za mało przydatną dla kontemplacyjnej filozofii przyrody. Bardziej pragmatyczne obawy świeckich patronów mogły jednak często skorzystać z analizy matematycznej. Ponadto matematycy

mogliby również zasadnie twierdzić, że ich wyniki były zazwyczaj pewne, a zatem wiarygodne — co rzadko można powiedzieć o wynikach uzyskanych dzięki spekulacjom Arystotelesa.

Nowe zaufanie do matematyki można dostrzec na przykład w prezentacji Kopernika jego nowej teorii astronomicznej i kosmologicznej. Chociaż Kopernik nie potrafił w ogóle wyjaśnić, w jaki sposób Ziemia może się poruszać, był mimo to przekonany o fizycznej prawdziwości swojej teorii. Było tak, jakby Kopernik był skłonny zaakceptować prawdziwość swojej teorii nie, jak zażądałby tego Arystoteles, z przyczyn fizycznych i przyczynowych, ale po prostu dlatego, że matematyka wskazywała na jej prawdziwość (poprzez dostarczenie geometrycznego dowodu na kolejność planet, który pasował do kolejności sugerowanej przez okresy planetarne, i przez wyjaśnienie, w jaki sposób wszystkie planety wydawały się włączać w swoje własne ruchy roczny ruch Słońca — ponieważ był to w rzeczywistości roczny ruch Ziemi, rzutowany, jakby, na każdą planetę). Kiedy Kopernik opublikował swoje *De revolutionibus* w 1543 r., nie wszyscy matematycy mieli takie zaufanie do mocy swojej dyscypliny, ale kiedy Newton opublikował swój dowód zasady matematycznej filozofii przyrody w 1687 r., bitwa została wygrana, a matematyczne podejścia do zrozumienia świata fizycznego były od tamtej pory uważane za niezbędne. Chociaż Kopernik sam nie był zatrudniony przez bogatego patrona o pragmatycznych zainteresowaniach, trudno zaprzeczyć, że jego zaufanie do mocy matematyki zostało naruszone przez ogólny wzrost statusu matematyki i matematyków, który był głównym skutkiem świeckiego patronatu w renesansie. Polityczny potencjał wiedzy przyrodniczej był głównym powodem zainteresowania Francisa Bacona reformą środków zdobywania wiedzy i wykorzystywania jej, jak opisano w jego różnych oświadczeniach programowych i zilustrowano w jego wpływowej utopijnej fantazji, *Nowej Atlantydzie* (1627). Najbardziej widoczną cechą utopii Bacona jest szczegółowy opis instytutu badawczego, zwanego *Salomon's House*, poświęconego zdobywaniu wiedzy przyrodniczej i technologicznej dla dobra obywateli. Bacon wielokrotnie zabiegał o patronat nad swoją tak zwaną „Wielką Restauracją”, najpierw u Elżbiety, a następnie u Jakuba I, chociaż żadne z nich nie wyraziło na to zgody (nawet jeśli Bacon został, na krótko, Lordem Kanclerzem Jakuba). Jednak pośmiertna sława Bacona była taka, że Karol II z Anglii i Ludwik XIV z Francji dostrzegli polityczny potencjał rozszerzonej wiedzy o świecie przyrody i zaoferowali swój patronat tym, co miało stać się wiodącymi towarzystwami naukowymi w Europie, z których oba były wyraźnie wzorowane na *Salomon's House*. W przypadku Francji, przynajmniej dzięki Jean-Baptiste Colbertowi (1619–1683), generalnemu kontrolerowi finansów, *Académie Royale des Sciences* (1666), z jej etatowymi członkami, może być postrzegana jako ramię państwa. *Royal Society*, założone w roku restauracji monarchii angielskiej (1660), nigdy nie zyskało więcej niż nominalne poparcie ze strony administracji, która była zajęta pilniejszymi sprawami. Musiało więc być o wiele bardziej przeprasające w swoich próbach wykazania swojej przydatności dla państwa. Mimo to, można wywnioskować z propagandowej *Historii Royal Society of London* (1667) autorstwa Thomasa Sprata i innych wypowiedzi czołowych członków, że przynajmniej najbardziej zaangażowani członkowie *Society* postrzegali swoją metodę eksperymentalną jako środek do ustalania prawdy i pewności, a tym samym kończenia sporów w filozofii. To z kolei zostało przedstawione jako model, który mógłby zostać użyty do zakończenia sporów religijnych, które dzieliły Anglię od czasów sprzed wojen domowych, oraz do ustanowienia porządku i harmonii w państwie. Istnienie, nie mówiąc już o sukcesie, *Académie* i *Royal Society* pokazuje, że nowa filozofia przyrody była o wiele bardziej bezpośrednio zainteresowana sprawami politycznymi niż filozofia przyrody okresu średniowiecza. Ale nie były to bynajmniej jedyne nowe instytucje poświęcone studiowaniu świata przyrody. Rzeczywiście, Bernard de Fontenelle (1657–1757), sekretarz *Académie Royale des Sciences* od 1697 r., odniósł się do „nowej ery akademii”. W niektórych przypadkach grupa była zwoływana przez bogatego patrona zainteresowanego wiedzą przyrodniczą i jej eksploatacją. Jedną z najwcześniejszych z nich była grupa alchemików, astrologów i innych naukowców okultystycznych zebrana na dworze Rudolfa II (1552–1612) w Pradze; inną była *Accademia dei Lincei* (Akademia Rysiów), założona przez markiza di



Monticello, Federica Cesiego (1585–1630). Oczywiście atrakcyjność takich wspólnych przedsięwzięć można dostrzec również w zadziwiającym zainteresowaniu, jakie uczeni z całej Europy okazali Bractwu Różokrzyża, którego zamierzone reformy nauki, oparte na alchemii, paracelsjanie i innych okultystycznych ideach, zostały ogłoszone w dwóch manifestach, które ukazały się w 1614 i 1615 roku. W rzeczywistości, ku rozczarowaniu takich osób jak René Descartes (1596–1650), które próbowały nawiązać z nimi kontakt, Bractwo wydaje się być tak samo fikcyjne jak Dom Salomona Bacona. Manifesty zostały napisane przez teologa i alchemika, Johannesesa Valentinusa Andreae (1586–1654), najwyraźniej jako donośne wezwanie do podobnie myślących reformatorów; ale wydaje się, że szybko porzucił pomysł uczynienia Bractwa rzeczywistością, gdy zobaczył naturę zainteresowania, jakie ono wzbudziło. Jeśli jednak różokrzyżowcy nie doszli do skutku, wizja Bacona, jak już widzieliśmy, miała mieć głęboki wpływ. Samoświadomie reformatorskie nastawienie wczesnych towarzystw naukowych oraz ich publiczne deklaracje dotyczące ich metod i intencji w czasopiśmie i innych publikacjach wyróżniają je jako całkowicie różne od uniwersytetów. Kiedyś mówiono, że uniwersytety w tym okresie były instytucjami umiaramymi, całkowicie zafascynowanymi tradycyjnym arystotelizmem i ślepyimi na wszelkie innowacje. Teraz okazało się, że jest to całkowicie nieuzasadnione, a ważny wkład niektórych członków uniwersyteckich wydziałów sztuk pięknych i medycyny w innowacje w naukach przyrodniczych został ponownie potwierdzony. Niemniej jednak wydaje się uczciwe stwierdzenie, że to zazwyczaj poszczególni profesorowie wydawali się nowatorscy, a nie instytucje, do których należeli. Jeśli istniały wyjątki od tej reguły, to były to mniejsze uniwersytety niemieckie, gdzie lokalny książę mógł sprawować większą kontrolę nad uniwersytetem dzięki swojemu patronatowi. Wiele takich uniwersytetów wprowadziło znaczące zmiany w swoich programach nauczania. W szczególności wprowadzenie tego, co było znane jako chymia lub medycyna chemiczna (obejmująca paracelsjanizm i rywalizujące alchemicznie inspirowane formy medycyny) jako nowej dyscypliny akademickiej radykalnie przekształciło szereg niemieckich uniwersytetów. Podobnie, zainteresowanie potencjalnymi praktycznymi korzyściami magii naturalnej i innymi formami filozofii okultystycznej na dworze w Kassel pod rządami Moritza z Hesji-Kassel (1572–1632) doprowadziło do mianowania profesorów okultystów na Uniwersytecie w Marburgu, nie tylko na Wydziale Lekarskim, gdzie chymia stała się widoczna, ale również na wszystkich innych wydziałach. Mimo to w większości przypadków pozostaje prawdą stwierdzenie, że europejskie uniwersytety ogólnie wydawały się powolne w zmianach i instytucjonalnie oddane tradycyjnym programom nauczania, nawet jeśli poszczególni profesorowie mogli wydawać się nowatorscy. W przypadku nowych akademii lub stowarzyszeń jednak same instytucje były nowatorskie i miały znacznie większy wpływ na zmianę postaw wobec wiedzy naturalnej. Inną ważną cechą zainteresowania bogatych mecenasów cudami natury był rozwój tzw. gabinetów osobliwości, kolekcji rzadkości i osobliwości z trzech królestw natury: minerałów, roślin i zwierząt. Początkowo postrzegane być może jako nic więcej niż spektakle symbolizujące potęgę i bogactwo kolekcjonera, większe kolekcje wkrótce zaczęto postrzegać jako przyczyniające się do wiedzy przyrodniczej, dostarczające ilustracji różnorodności i cudów Bożego Stworzenia. Gabinety osobliwości stały się, jak powiedział Samuel Quiccheberg (1529–1567), nadzorca Wunderkammer Albrechta V Bawarskiego (1550–1579), teatrami mądrości. Plan Quiccheberga dotyczący organizacji takich kolekcji został opublikowany w 1565 roku jako *Inscriptiones... theatri amplissimi* i okazał się wpływowym wśród kuratorów gabinetów przez ponad wiek. Kurator kolekcji arcyksięcia Ferdynanda Tyrolskiego (1529–1595), Pierandrea Mattioli (1500–1577), stał się jednym z czołowych przyrodników epoki. Skupiając się szczególnie na okazach botanicznych w kolekcji, Mattioli w znacznym stopniu zastąpił pracę starożytnego autorytetu w dziedzinie botaniki, Dioskurydesa, w swoich wpływowych Komentarzach do Dioskurydesa (1558). Część sukcesu tej pracy wynikała z dokładnych ilustracji, dostarczonych przez rzemieślników również pod patronatem Ferdynanda. Większe i bardziej udane kolekcje wkrótce stały się wczesnymi atrakcjami turystycznymi, przyciągając dziesiątki gości na ich „Grand Tours”. Być może bardziej znaczący dla rozprzestrzeniania się

wiedzy przyrodniczej był fakt, że pozyskiwanie nowych okazów do kolekcji wymagało rozległych sieci zainteresowanych stron komunikujących się ze sobą na temat najnowszych odkryć i tego, gdzie je nabyć. Oczywiście, ostatecznie te kolekcje i ich oczywiste zastosowania pedagogiczne miały zainspirować powstanie bardziej dostępnych publicznie ogrodów botanicznych, menażerii i muzeów. Rzeczywiście, w niektórych przypadkach większe kolekcje stanowiły jądro pierwszych publicznych muzeów. Kolekcja rodziny Tradescant, nabyta przez Eliasa Ashmole'a (1617–1692), stanowiła jądro Ashmolean Museum w Oksfordzie, podczas gdy kolekcja Sir Hansa Sloane'a (1660–1753) zapewniła imponujący początek dla British Museum w Londynie.

### **Nowy autorytet filozofii przyrody**

Historyczne zapisy silnie wskazują, że współczesny ateizm pojawił się pod koniec XVI wieku — z pewnością słowo to zostało ukuto w tym czasie — i zwykle przypisuje się je odrodzeniu starożytnego sceptycyzmu (i innych skutecznie ateistycznych starożytnych filozofii, takich jak epikureizm), rozbiciu kościołów chrześcijańskich (i towarzyszącemu temu osłabieniu ich autorytetu) po reformacji oraz powstaniu nowej filozofii. Jednak rola filozofii przyrody w upadku wiary religijnej nie jest wcale jasna i prosta. Z pewnością nie było żadnego wewnętrznego powodu, dla którego którakolwiek z nowych filozofii przyrody miałyby odwieść współczesnych od wiary religijnej. Nie można jednak zaprzeczyć, że ci, którzy byli nastawieni na ateizm, byli w stanie łatwo przyswoić sobie najnowsze myślenie o świecie przyrody i wykorzystać je do celów ateistycznych, i tak też zrobili. W wyniku „afery Galileusza”, jak ją znali współcześni, teoria Kopernika jest często postrzegana jako symbol rzekomo wrogich relacji między nauką a religią. Jednak Kościół rzymskokatolicki nie podjął żadnych działań przeciwko teorii Kopernika, która została opublikowana w 1543 r. i poświęcona papieżowi, aż do 1616 r., kiedy to pochopnie wydał przeciwko niej orzeczenie. Postrzegana potrzeba wydania tego orzeczenia pojawiła się z powodu tego, co władze kościelne w Rzymie uznały za zenujący publiczny spór między Galileuszem a jego wrogami. Późniejszy rozwój afery można również uznać za bardziej zawdzięczany bezdusznej obojętności Galileusza na zdobywanie punktów od rywali i zamienianie ich w nieprzejednanych wrogów niż jakiegokolwiek rzekomej wrogości między nauką a religią. Z pewnością okoliczności prowadzące do potępienia Galileusza były tak wyjątkowe i specyficzne dla niego i jego działań, że nie należy wyciągać żadnych ogólnych wniosków na temat jakiegokolwiek rzekomej niezgodności między podejściem naukowym a religią. Galileusza nie potępiono za to, że był zwolennikiem teorii Kopernika, potępiono go za to, że napisał książkę promującą teorię Kopernika, podczas gdy (rzekomo) obiecał Kongregacji Indeksu (Inkwizycji), że nigdy nie będzie o tym dyskutował. Rzeczywiście, jeśli weźmiemy pod uwagę wszystkich głównych współtwórców rewolucji naukowej, łatwo zauważyć, że byli oni zazwyczaj pobożnymi wyznawcami, a w niektórych przypadkach, takich jak Robert Boyle i Izaak Newton, wnieśli nawet istotny wkład do współczesnej teologii. Ale bez względu na to, jak pobożny mógłby być twórca naturalistycznych innowacji, współcześni z własnym ateistycznym programem mogli zawsze przejąć te innowacje dla własnych celów. Koncepcja Kartezjusza dotycząca konkretnych praw natury, na przykład, doprowadziła go do głębokich spekulacji teologicznych. Był świadomy, że ciała nieożywione nie mogą „przestrzegać” praw natury i zakładał, że prawa te muszą być w jakiś sposób ustanowione i utrzymywane przez Boga. Jednak dla kolejnych pokoleń myślicieli łatwo było odrzucić to, co Kartezjusz uważał za nieusuwalne teologiczne implikacje praw natury i po prostu uznać prawa za wbudowane w bezbożną naturę. Ale ateści byli zbyt pochopni i nawet dzisiaj trwają ożywione debaty wśród filozofów nauki na temat dokładnego statusu praw natury i tego, jak mogą one mieć znaczenie. Podobnie, chociaż sam Kartezjusz nalegał na rzeczywistość nieśmiertelnej duszy, jego mniej pobożnym zwolennikom łatwo było ją odrzucić, tak jak odrzucił dusze roślinne i zwierzęce, i nalegać, że ludzie, nie mniej niż inne zwierzęta, są jedynie maszynami. Pobożni filozofowie przyrody byli przerażeni, widząc, jak ich idee są wykorzystywane w celach niereligijnych i nastąpił silny ruch w kierunku tego, co nazywa się teologią naturalną — teologią opartą nie na Piśmie Świętym, ale na

ukazaniu tego, co wydaje się być zawiłą konstrukcją świata przyrody i jego zależnością, w związku z tym, od najwyższego projektanta i stwórcy. Ale pędu sekularyzacji nie dało się zatrzymać. Teologia naturalna dała początek temu, co nazywano deizmem (akceptującym, na podstawach naturalistycznych, istnienie boskiego Stwórcy, ale odrzucającym ważność Pisma Świętego) i osłabiła autorytet Kościołów. Duchowni widzieli deizm jako coś niewiele odległego od ateizmu, a historia rosnącej sekularyzacji udowodniła, że mieli rację. Liczne sukcesy filozofów przyrody rewolucji naukowej podniosły autorytet wiedzy przyrodniczej i oznaczały, że można jej było używać do rywalizacji z długo utrzymywanym autorytetem Kościoła. Jednak wiedza naukowa nie mówi sama za siebie, tak samo jak Pismo Święte, a autorytet wiedzy naukowej był wykorzystywany na różne sposoby przez różnych myślicieli. Mimo to, jest to główne i ostateczne dziedzictwo rewolucji naukowej, że w następnym wieku, w Wieku Oświecenia, to doktryna naukowa, zwłaszcza doktryna Newtona, kształtowała teorię i praktykę, nie tylko w samych naukach przyrodniczych, ale w nowych „Naukach o człowieku”, obejmujących myśl moralną, psychologiczną, polityczną, ekonomiczną i socjologiczną.

### **Oświecenie Naukowe**

XVIII wiek nie zawsze był uznawany za znaczącą erę w dziejach nauki. Kilka dekad temu historycy uważali, że epoka ta została przyćmiona przez geniusz sir Izaaka Newtona. Newtonizm uważano za klucz do epoki, w której dominowały osiągnięcia Newtona w dziedzinie astronomii i filozofii przyrody. Cały wiek postrzegany był jako przedłużający się spokój po rewolucji naukowej poprzedniego stulecia i przed nadchodzącą burzą rewolucji przemysłowej. Ci, którzy postrzegali historię nauki w kategoriach takich „rewolucji”, nie znaleźli poważnych kandydatów aż do końca tego okresu, a i to być może jedynie w chemii. To, co wydawało się całym stuleciem nieustannego rozprzestrzeniania się już ugruntowanych idei – „normalnej nauki” bez żadnych znaczących przerw – z tego punktu widzenia nie wzbudziło większego zainteresowania. Postawa ta uległa zmianie, częściowo ze względu na nowe podejście do historii nauki, a częściowo ze względu na pojawienie się Oświecenia jako centralnego tematu w historii kultury XVIII wieku. Obecnie przywiązuje się mniejszą wagę do rewolucyjnych przemian intelektualnych, które ogólnie uważa się za mniej natychmiastowe i monolityczne, niż wydawało się wcześniej. Obecnie naukę postrzega się częściej jako zbiór praktyk niż jako strukturę idei. Stąd większą uwagę przywiązuje się do jego powiązań z technologią, komunikacją i handlem. Kiedy przyjrzymy się XVIII wiekowi, zobaczymy, że istniała wówczas pręźnie rozwijająca się kultura naukowa, w której działało wiele osób, które dawniej były pomijane w poszukiwaniu wielkich umysłów epoki. Obecnie naukowcy zwracają uwagę nie tylko na autorów znaczących tekstów naukowych, ale także na kompilatorów i plagiatorów, drukarzy i księgarzy oraz czytelników tych dzieł, wśród których znajdują się zarówno kobiety i dzieci, jak i mężczyźni. Oprócz obiegu tekstów śledzimy mapy i rysunki, instrumenty i artefakty, okazy i towary — wszystkie te media, za pośrednictwem których rozpowszechniana jest wiedza. Uznajemy nie tylko filozofów przyrody (prekursorów późniejszych „naukowców”), ale także rzemieślników, inżynierów, rzemieślników, nawigatorów, architektów, przyrodników, przedsiębiorców i wielu innych. W tym fermentie wiedzy uczestniczyli nie tylko najwybitniejsi myśliciele epoki, ale także wszyscy ludzie, którzy czytali książki i czasopisma, uczęszczali do szkół i na wykłady publiczne, kolekcjonowali rośliny i minerały, projektowali i budowali maszyny oraz dyskutowali na temat idei naukowych. Nowe spojrzenie na historię nauki szczęśliwie pokrywa się z nowym naciskiem na Oświecenie, przy czym termin ten jest używany nie tylko jako określenie okresu, ale także jako nazwa procesu zmian kulturowych („oświecenie” z małej litery). Proces ten polegał na przyspieszonym obiegu i wymianie, w wyniku czego środki komunikacji stały się powszechniejsze, a większa część społeczeństwa znalazła się w zasięgu przepływu informacji i opinii. Występowało ono w różnych formach i w różnych miejscach, wywołując różny stopień sprzeciwu wobec władz politycznych i religijnych oraz generując przeciwstawne siły reakcji. Konflikt ten koncentrował się w Europie Zachodniej, ale obejmował także Azję i Amerykę, co zbiegło się z fazą rozszerzania się wpływów ludów

europejskich na resztę świata. Głównym tematem badań i debat był sam proces rozwoju kulturowego, który był przedmiotem badań historycznych i studiów porównawczych współczesnych społeczeństw w innych miejscach. Dyskusje te często opierały się na pojęciu „natury ludzkiej”, rzekomo uniwersalnej podstawy charakteru człowieka, co odzwierciedlało dominujące założenie, że cały świat przyrody rządzi się jednolitymi prawami. Pojęcia natury ludzkiej zostały ukształtowane na podstawie badań nauk fizycznych i przyrodniczych, które w ten sposób stały się podstawą debat na temat ludzkich możliwości, postępu kulturowego i właściwego uporządkowania społeczeństwa. Francuski matematyk Jean-Baptiste d’Alembert uchwycił atmosferę wszechobecną i bezgraniczną dociekań intelektualnych w 1759 r., gdy napisał:

od zasad nauk świeckich do podstaw objawienia religijnego, od metafizyki do spraw smaku, od muzyki do moralności, od scholastycznych dysput teologów do spraw handlu, od praw książąt do praw ludów, od prawa natury do arbitralnych praw narodów. . . wszystko zostało omówione i przeanalizowane, albo przynajmniej wspomniane.

### **Narody i komunikacja**

W najświetniejszej próbie jego zdefiniowania, opublikowanej pod koniec okresu, który przyjęto w tym pojęciu, Oświecenie zostało utożsamione z procesem zmiany kulturowej. Esej Immanuela Kanta „Czym jest Oświecenie?” został opublikowany w *Berlinische Monatsschrift* w 1784 roku w odpowiedzi na pytanie postawione w czasopiśmie rok wcześniej. Ten krótki tekst był od tamtej pory wielokrotnie przedmiotem sporów i zacieklej interpretacji ze strony filozofów XX wieku. Kant utożsamiał oświecenie z „wyjściem ludzkości z niedojrzałości, w którą sama się wpakowała”. Zwrócił uwagę na swój otwarty charakter, stwierdzając, że jego współcześni żyli nie w epoce oświecenia, lecz raczej w epoce oświecenia – w której rozwój kulturowy trwał nadal, a nie został jeszcze zakończony. Esej Kanta zwrócił również uwagę na centralną rolę wolnej dyskusji w tym, co nazywał domeną „publiczną”, jako warunku oświecenia; choć przyznał również, że swoboda działania jednostek może być w uzasadniony sposób ograniczona w związku z pełnionymi przez nie obowiązkami służbowymi. Osoby piastujące urzędy takie jak administratorzy, duchowni, żołnierze itd. mogły być zobowiązane do wykonywania rozkazów bez zadawania pytań, choć powinny mieć również swobodę dyskusji na dowolne tematy w ramach pełnienia funkcji publicznych. Ta definicja obszaru wolnej debaty stała się podstawą późniejszej analizy „sfery publicznej” przeprowadzonej przez niemieckiego teoretyka społecznego XX wieku, Jürgena Habermasa, który użył tego terminu na określenie szeregu instytucji i mediów powstających w tamtym okresie. Sfera publiczna Habermasa zaczęła być postrzegana jako centralna cecha Oświecenia, być może najdoskonalej ucieleśniona w rozkwicie gazet, czasopism, klubów i kawiarni w XVIII-wiecznej Anglii. Sfera publiczna obejmowała mechanizmy oceny i krytyki struktur politycznych społeczeństwa obywatelskiego, a także obiegu informacji. Uświadomiło ludziom proces rozwoju kulturowego, w którym uczestniczyli. Sfera publiczna zapewniła także specyficzny kontekst dla nauki oświeceniowej. Jedną z charakterystycznych cech dyskursu naukowego tamtego okresu była jego otwartość na opinię publiczną. Materiały drukowane były adresowane do (przynajmniej w założeniu) międzynarodowego i nieograniczonego kręgu czytelników. Eksperymenty przeprowadzono w obecności świadków i (znowu, w zasadzie) można je było powtórzyć wszędzie. Nawet pilnie strzeżone sekrety rzemieślników i pracowników rzemiosła stały się przedmiotem bezprecedensowego zainteresowania opinii publicznej w takich publikacjach jak wielotomowa Encyklopedia (1751–1772). Towarzystwo, która charakteryzowała sferę publiczną, stanowiła podstawę komunikacji w co najmniej siedemdziesięciu formalnie utworzonych towarzystwach naukowych tamtej epoki. Były to zarówno narodowe akademie naukowe sponsorowane przez monarchów w Londynie, Paryżu, Berlinie i Petersburgu, jak i prowincjonalne instytucje w takich miastach jak Dijon, Mannheim, Bolonia i Spalding, lub w kolonialnych placówkach w rodzaju Bostonu, Filadelfii, Saint Domingue (Haiti) i Batawii

(Dżakarty). Poniżej tego poziomu znajdowały się tysiące nieformalnych klubów, samoorganizujących się stowarzyszeń, bibliotek o charakterze czytelniczym oraz spotkań w zajazdach i kawiarniach. W tych miejscach odbywały się wykłady i dyskusje, wdrażano plany ulepszeń, czytano gazety i dyskutowano nad ich treścią. Działalność była zasilana poprzez produkcję materiałów drukowanych w dużych ilościach. Głównymi ośrodkami wydawniczymi były Londyn, Edynburg, Paryż, Amsterdam i Lipsk. Cenzura i ochrona praw autorskich były niejednolite i często nie były egzekwowane. Ośrodkami „piractwa”, czyli nieautoryzowanego przedruku, były Dublin i Filadelfia. A handel książkami skutecznie omijał międzynarodowe kontrole graniczne. Książki, które miały być zakazane we Francji, napływały do kraju z Holandii, Szwajcarii i Anglii. Czasopisma rozchodziły się także za granicę. Wiodące akademie naukowe publikowały swoje prace, np. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* i *Mémoires of the Académie Royale des Sciences* w Paryżu. Materiały naukowe pojawiały się także w wielu innych publikacjach, w tym w almanachach i czasopismach o charakterze ogólnym, jak np. *Ladies' Diary* (z 1704 r.). Nowa świadomość geografii kulturowej była powszechnie uznawana za część doświadczenia oświecenia. Narodowość była ważnym wymiarem tożsamości politycznej w niektórych miejscach, ale nie wszędzie. Francja była politycznie zjednoczona przez rządy absolutystyczne, chociaż jej prowincje zachowały pewien stopień niezależnego życia kulturalnego, o czym świadczyły liczne akademie nauki w prowincjonalnych miastach. Wielka Brytania również została zjednoczona politycznie po połączeniu parlamentów angielskiego i szkockiego w 1707 r., ale Szkocja zachowała swoją tożsamość kulturową i nadal posiadała niezależne instytucje religijne i prawne.

Rozwój gospodarczy i rozrost miast na nizinach Szkocji i w regionach Anglii sprzyjał rozwojowi życia kulturalnego i naukowego na tych terenach. Towarzystwo Księżycowe w Birmingham skupiało wpływową sieć przemysłowców i ludzi nauki z angielskiego regionu Midlands. Niemcy i Włochy, mimo że były zjednoczone językowo, pozostawały podzielone politycznie aż do XIX wieku. Poszczególne miasta stały się ośrodkami oświecenia: na przykład Berlin, Getynga, Neapol i Mediolan. Brytyjskie kolonie w Ameryce Północnej początkowo nawiązały bliższe stosunki kulturalne z ojczyzną dzięki rozkwitowi handlu północnoatlantyckiego. Następnie, w 1776 r., wybuchła rewolucja amerykańska, która zerwała te więzi, co zapoczątkowało rozwój niezależnego życia kulturalnego w byłych koloniach, które połączyły się, tworząc Stany Zjednoczone. Oprócz wymiaru krajowego, Oświecenie rozwijało się również jako zjawisko międzynarodowe i regionalne. Europejscy intelektualiści postrzegali siebie niekiedy jako zjednoczonych w „republice literatów”, ponieważ łączyła ich sieć korespondencji i handel publikacjami. Łacina i francuski były uniwersalnymi językami nauki i dyplomacji, a niektórzy intelektualiści kontynentalni zaczęli uczyć się angielskiego. Z drugiej strony, doświadczenia poszczególnych regionów — nawet tych często postrzeganych jako peryferyjne, a nie centralne — mogą być bodźcem do zmian kulturowych. Przykładami takich ośrodków peryferyjnych są Edynburg i Neapol. W obu miejscach elity miejskie musiały stawić czoła sąsiadom, których uważały za bardziej zacofanych. Kontrast ten był jeszcze silniejszy w Ameryce Północnej, gdzie Kreole z kolonii, uważający się za uprzejmych i wyrafinowanych, stykali się z rdzennymi mieszkańcami, których poniżali, nazywając „dzikusami”. Starając się dorównać miejscom, które uważali za bardziej oświecone ośrodki kultury, członkowie lokalnych elit odróżniali się od swoich bardziej prymitywnych sąsiadów. W tym samym czasie wzmożony handel wewnątrz Europy i za Atlantykiem stał się kolejnym bodźcem do oświecenia. Obserwując sytuację z Edynburga w 1742 r., szkocki filozof i historyk David Hume porównał kondycję Europy swoich czasów do złotego wieku klasycznej Grecji, z jej licznymi rywalizującymi państwami. Podsumował, że: „nic nie sprzyja rozwojowi uprzejmości i nauki bardziej niż istnienie kilku sąsiadujących ze sobą i niezależnych państw, połączonych ze sobą handlem i polityką”.

## **Kosmiczna Maszyneria**

Błędem jest podporządkowanie całej osiemnastowiecznej nauki kategorii newtonizmu, nie sposób jednak zaprzeczyć, że nazwisko Newtona cieszyło się dużą popularnością, zwłaszcza w pierwszych kilku dekadach. Jego wielkie dzieło poświęcone mechanice i dynamice niebieskiej, *Principia* (Matematyczne zasady filozofii przyrody, 1687), stało się podwaliną sławy, którą zaczął zdobywać w drugiej połowie swojego długiego życia. Publikacja jego drugiej ważnej książki, *Opticks* (1704, ze znacznymi poprawkami w kolejnych wydaniach), miała miejsce wkrótce po objęciu przez niego stanowiska prezesa Królewskiego Towarzystwa Londyńskiego. Stanowisko to, jak również tytuł szlachecki, który otrzymał w 1705 r., przyniosły mu znaczną władzę w świecie nauki, z której Newton nie wahał się korzystać w późniejszych latach swojego życia. Jego śmierć w 1727 r. doprowadziła do pochówku wśród angielskich królów i królowych w Opactwie Westminsterskim, powstania pomników i niemalże uświetnienia jego osoby obrazami, rycinami i poezją. François-Marie Arouet (Voltaire) był świadkiem pogrzebu Newtona, gdy przebywał na wygnaniu w Londynie, a później celebrował jego osiągnięcia naukowe w dziełach *Lettres philosophiques* (1743) i *Éléments de la philosophie de Newton* (1738). Podczas gdy Newtona uznawano za bohatera Partii Wigów i jako zwolennik latitudinarianizmu w Kościele Anglii, Voltaire uczynił go symbolem tolerancji religijnej i antyklerykalizmu we Francji. Prace techniczne nad mechaniką Newtona, prowadzone przez d'Alemberta i Pierre'a-Louisa Moreau de Maupertuisa, a także kampania Voltaire'a ostatecznie doprowadziły do uznania filozofii przyrody Newtona w szeregach Akademii. Markiza Gabrielle Émilie du Châtelet, której znajomość matematyki przewyższała tę, którą dysponował jej kochanek Voltaire, także przyczyniła się do rozwoju nauki poprzez przetłumaczenie *Principia* Newtona na język francuski. Jednakże pomimo skali osiągnięć Newtona, jego następcy napotkali wiele problemów. W jego pismach pojawiały się różne, niekiedy sprzeczne, poglądy na zagadnienia filozoficzne, a spory na temat ich interpretacji trwały przez dziesięciolecia. Tworząc swój model kosmosu, Newton opierał się na pracach Kartezjusza, który w połowie XVII wieku uczynił z kopernikańskiej teorii Układu Słonecznego podstawę wszechstronnej kosmologii. Newton uwzględnił prawa ruchu planet opracowane przez Johannesesa Keplera i pokazał, jak wyprowadzić je matematycznie z podstawowych praw mechaniki i grawitacji. Otworzyło to drogę do dalszych prac nad orbitami planet, Księżyca i komet. Newton pozostawił jednak nierozstrzygniętą kwestię, czy układ ten będzie w stanie utrzymać się samodzielnie. Zasugerował, że orbity planet z czasem będą ulegać degradacji i że ich przywrócenie będzie wymagało boskiego działania za pośrednictwem komet. W drugiej dekadzie XX wieku publiczna wymiana listów między niemieckim filozofem Gottfriedem Wilhelmem von Leibnizem a zastępcą Newtona Samuelem Clarke'em doprowadziła do dyskusji na temat tego, jakie to ma konsekwencje dla teologii filozoficznej. Zarówno dla Clarke'a, jak i dla Newtona, należy uznać, że w świecie przyrody działają aktywne zasady boskiego działania. Alternatywą był całkowicie samowystarczalny wszechświat, wizję zaproponowaną przez filozofów Thomasa Hobbesa i Benedicta Spinozę, która – zdaniem Clarke'a – była o krok od ateizmu. Dla Leibniza natomiast każda tego typu boska interwencja oznaczała wadę w pierwotnym projekcie kosmosu. Najdoskonalsze dzieło sztuki, podobnie jak najlepiej wykonany zegar, działałoby samo, przestrzegając bez odchyień jednolitych i regularnych praw ustanowionych przez stwórcę. W kolejnych dekadach opinia publiczna zaczęła opowiadać się po stronie Leibniza. Pod koniec stulecia francuski matematyk Pierre-Simon de Laplace rzekomo oświadczył, że nie potrzebuje hipotezy Boga w swojej pracy na temat dynamiki nieba. Dzięki jego pracy i pracy innych naukowców udało się nawet wyobrazić sobie, w jaki sposób Układ Słoneczny mógł powstać poprzez działanie grawitacji na ogromny obłok materii. Newton zaprzeczał, że coś takiego mogło mieć miejsce, twierdząc, że ruchy planet wyraźnie wskazują na ślady boskiego aktu stworzenia. Jednakże pod koniec stulecia odkrycie takich niebieskich obłoków w formie mgławic zasugerowało, że kosmos mógł rozwinąć się wyłącznie dzięki działaniu jednolitych praw natury. Prawa te można było interpretować jako przejaw działania opatrznociowego, lecz nie musiało tak być. Jak zobaczymy dalej w tym rozdziale, podobna tendencja do rozszerzania zakresu jednolitych praw przyrody wystąpiła w innych dziedzinach nauki. Newton zaproponował

istnienie różnych rodzajów zasad czynnych, które uzupełniały bezwładnościowe tendencje samej materii i były utożsamiane z działalnością Boga w świecie materialnym. W zagadkowych „Queries”, które dodał do swojej książki *Opticks*, zasady te zastosował do wyjaśnienia zjawisk z zakresu chemii, elektryczności i fizjologii. Późniejsi badacze często oddzielali te moce i siły od teologicznego znaczenia, jakie nadał im Newton. Zaczęto je postrzegać jako nieodłączne właściwości materii, a nie jako czynniki boskiego działania. Newton twierdził, że materia nie posiada wrodzonych zdolności do działania; ale od lat czterdziestych XVII wieku zaczęto mu coraz częściej przypisywać tego rodzaju uprawnienia. Gdyby to był rodzaj newtonizmu, to założyciel szkoły z pewnością by go potępił.

Jedną z scenerii, w której nauka Newtona została zaprezentowana publiczności, uwiecznił Joseph Wright z Derby na swoim obrazie z 1766 r. zatytułowanym *Filozof wygłaszający wykład o planetarium*, na którym lampa zastąpiła słońce. Obraz ten był wielokrotnie wybierany jako symbol nauki Oświecenia, ponieważ ukazuje widzów dosłownie skąpanych w świetle wiedzy. Widzimy, jak zdobywają wiedzę za pomocą zmysłów — przede wszystkim za pomocą wzroku — poprzez zbiorowe oglądanie eksperymentu demonstracyjnego. Newtonowska filozofia przyrody wydaje się być zgodna z empiryczną epistemologią Francisca Bacona i Johna Locke’a, a także z praktyką zbiorowego świadectwa, przyjętą w XVII wieku przez takie grupy jak Królewskie Towarzystwo Naukowe. Obiektem zainteresowania widzów jest planetarium, mechaniczny model Układu Słonecznego. Tego typu modele były wówczas szeroko rozpowszechnione, wytwarzali je zegarmistrzowie i inni rzemieślnicy, a ich rozmiary wahały się od największych wersji (montowanych pionowo na scenie teatru), poprzez urządzenia stołowe zaprezentowane przez Wrighta, aż po mechanizmy wielkości zegarów lub zegarków kieszonkowych. Ze względu na misterne wykonanie, planetaria były świadectwem mądrości boskiego planu dotyczącego całego kosmosu. Przewidywanie Bożego stworzenia znalazło odzwierciedlenie w przewidywaniu twórcy planetarium, a regularność Jego opatrnościowych praw została udowodniona przez stałość mechanizmu zegarowego. Zjawiska takie jak komety i zaćmienia, które dawniej wprawiały ludzi w osłupienie lub przerażały ich, teraz mogą być wynikiem normalnych ruchów ciał niebieskich. W ten sposób przekazywano przesłanie oświecenia wynikające z odkryć naukowych. A jednak może być tak, że widmo wątpliwości wywołane debatą Leibniza i Clarke'a unosiło się nad takimi pokazami. Podobnie jak mechaniczne repliki ludzi i zwierząt, które fascynowały ludzi w tamtych czasach, artefakty te sugerowały, że świat przyrody sam w sobie jest pewnego rodzaju maszyną. Biorąc to pod uwagę, obserwatorzy mogą być skłonni zastanowić się, czy kosmiczna maszyna rzeczywiście potrzebowała Boga. Czy po wykonaniu i nakręceniu mechanizmu zegarowego pozostały jakieś dowody na to, że jego twórca nadal pracował? Czy można sobie wyobrazić, że wszechświat porusza się całkowicie sam? Obraz Wrighta dostarcza także pewnych wskazówek odnośnie otoczenia, w którym rozważano te pytania. Wright przedstawił nie członków akademii naukowej, lecz grupę osób różnej płci i w różnym wieku, prawdopodobnie rodzinę lub grupę przyjaciół mieszkającą w domowym wnętrzu. Najwyraźniej w latach sześćdziesiątych XVIII wieku praktyki zbiorowego świadectwa rozprzestrzeniły się daleko poza wąskie kręgi, w których powstały. W Anglii kojarzono je bowiem z popularnymi wystawami dzieł Newtona już od pierwszych dwóch dekad XX wieku. William Whiston rozpoczął nauczanie w londyńskich kawiarniach wkrótce po tym, jak w 1711 r. został zwolniony ze swojego stanowiska w Cambridge; był następcą Newtona na stanowisku Lucasa, dopóki jego odsunięcie od władzy za heterodoksję religijną nie zmusiło go do poszukiwania nowej kariery. W ciągu kilku lat dołączył do niego francuski hugenota, uchodźca John Theophilus Desaguliers, który łączył pracę asystenta Newtona w Royal Society z wykładami publicznymi w Londynie. W latach czterdziestych XVIII wieku Benjamin Martin zapoczątkował nowy styl życia wykładowców naukowych, rozpoczynając podróżowanie jako wędrowiec. W pierwszych latach podróży Martin odwiedził Bath, Birmingham, Chester i Shrewsbury, zapowiadając swój przyjazd z wyprzedzeniem w reklamach prasowych i zbierając prenumeraty od tych, którzy chcieli go posłuchać. Dochody z wykładów

uzupełniał sprzedażą swoich prac i instrumentów. Chociaż duże planetarium mogło przekraczać możliwości finansowe wielu konsumentów z klasy średniej, inne urządzenia, takie jak teleskopy, mikroskopy i barometry, były bardziej przystępne cenowo; wprowadzili przynajmniej podstawowy poziom eksperymentów naukowych do wielu mieszczańskich gospodarstw domowych. Drogą kariery Martina podążyły setki innych osób w Wielkiej Brytanii, Francji, Irlandii, Niemczech i Ameryce Północnej w pozostałych latach stulecia i w następnym. Adam Walker, który podróżował tą trasą na północy Anglii, Szkocji i Irlandii w latach 60. i 70. XVIII wieku, zaprezentował duży pionowy planetarium, które nazwał „eidouranion”, nadające się do ekspozycji teatralnej. Początkowo uważa się, że pierwowzorem filozofa przedstawionego na obrazie Wrighta jest James Ferguson, szkocki wykładowca, autor i konstruktor instrumentów muzycznych, który sam zaprojektował kilka planetarium. W tych scenach oświeceniowej nauki publicznej obok mężczyzn uczestniczyły kobiety i dzieci. Na rok przed opublikowaniem przez Newtona jego dzieła *Principia*, Bernard de Fontenelle w swoim dziele *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686) zaprosił kobiety na wykłady z zakresu filozofii przyrody. Praca traktuje o kosmologii Kartezjusza poprzez serię rozmów filozofa z arystokratką. Rozmawiając o tym, jak wyglądałoby oglądanie Ziemi z dowolnego innego miejsca w Układzie Słonecznym, bohaterowie analizują nową perspektywę, jakiej doświadczają osoby oglądające planetarium. Elegancki tekst Fontenelle’a przełożył kwestie miejsca Ziemi w kosmosie kopernikańskim na język kulturalnej dyskusji; zapoczątkowało gatunek dialogów mieszanych płciowo na tematy naukowe. Jednym z pierwszych przykładów w języku angielskim jest dzieło Johna Harrisa *Astronomical Dialogues between a Gentleman and a Lady* (1719), do którego później dołączyło dzieło Benjamina Martina *Young Gentleman and Lady’s Philosophy* (1744). Najbardziej znanym dziełem tego rodzaju po dziele Fontenelle’a było dzieło Francesco Algarottiego *Il Newtonianismo per le dame* (Newtonizm dla dam, 1737), wkrótce przetłumaczone na angielski i inne języki. Algarotti w większości przedstawił teorię światła i barw Newtona, urozmaicając ekspozycję fragmentami poezji, rozbudowanymi metaforami i zalotnymi żartami między bohaterami. W 1761 roku angielski wydawca John Newbery opublikował wykład na temat nauki Newtona przeznaczony dla dzieci, rzekomo napisany przez młodego chłopca o imieniu „Tom Telescope”, który zabawiał i uczył swoich rówieśników wykładami na temat materii i ruchu, optyki i astronomii. Dlatego też kobiety, a nawet dzieci, zajmowały uznaną pozycję w pewnych dziedzinach nauki publicznej. Książki były adresowane specjalnie do nich; przyjmowano za pewnik, że będą zaangażowani, gdy nauka wkroczy do domu. Kobiety również słuchały publicznych wykładów naukowych, mimo że były niemal całkowicie wykluczone ze studiów uniwersyteckich. W Paryżu od połowy lat trzydziestych XVIII wieku uczęszczali na kursy prowadzone przez Jeana Antoine’a Nolleta, gdzie poznawali mechanikę, optykę i elektryczność. Markiza du Châtelet nie była jedyną kobietą posiadającą wysokie kompetencje techniczne. W Bolonii Laura Bassi piastowała katedrę uniwersytecką i wykładała fizykę Newtona przez prawie trzydzieści lat. Matematyczka Maria Gaetana Agnesi podążyła za Bassim i została wykładowcą Uniwersytetu Bolońskiego. Maria Winckelmann Kirch pracowała w Obserwatorium Berlińskim w pierwszej dekadzie XX wieku. Później Caroline Herschel odkryła komety i mgławice, pracując jako astronom pod Londynem ze swoim bratem Williamem. Nie można jednak zaprzeczyć, że kobiety musiały zmierzyć się ze znacznymi przeszkodami w zdobywaniu uznania wśród elity naukowej. Du Châtelet była zmuszona publikować niektóre ze swoich prac pod nazwiskiem kolegi. Bassi musiała uczyć głównie w domu, a czasami na uniwersytecie, zza zasłony. Kircha i Herschela traktowano jak asystentów mężczyzn, z którymi pracowali. Instytucje edukacyjne pozostały niedostępne dla kobiet długo po zakończeniu epoki Oświecenia; w rzeczywistości przyjęto ich do grona czołowych akademii naukowych dopiero w połowie XX wieku. Ze względu na wykluczenie kobiet z formalnych instytucji naukowych często zapominało się, że odegrały one znaczącą rolę w oświeceniowej nauce publicznej.

## **Siły, płyny i uczucia**



Elektryczność statyczna — powstająca w wyniku pocierania szkła lub bursztynu, która przyciąga lub odpycha kawałki nici lub papieru — była zjawiskiem znanym od czasów starożytnych. Na początku XVIII wieku stało się możliwe niezawodne ładowanie przedmiotów za pomocą maszyn. Elektryczność stała się przedmiotem systematycznych badań i zajęła miejsce w oświeceniowej nauce publicznej. Francis Hauksbee starszy, londyński konstruktor instrumentów i eksperymentator Royal Society, zaprojektował generator z wirującą szklaną kulą pocierającą o szczotki druciane. Newton interesował się eksperymentami Hauksbeego i twierdził, że wykazały one istnienie subtelnego, rozprężającego się płynu lub „eteru”, który jego zdaniem otaczał wszystkie ciała. Inni badacze odnieśli się do „wyziewów” wyrzucanych, a być może także wciąganych, przez przedmioty, gdy zostały naładowane. Na początku lat trzydziestych XVIII wieku eksperymentator Stephen Gray zademonstrował zjawisko przewodnictwa, wykazując, że niektóre materiały mogą przenosić ładunek elektryczny na pewną odległość, nawet jeśli same nie wydają się być naładowane. Nollet był jednym z najbardziej przedsiębiorczych wykładowców eksperymentalnych, którzy przybliżyli te zjawiska opinii publicznej. Podczas swoich kursów, prowadzonych w Paryżu od połowy lat trzydziestych XVIII wieku, pokazywał szeroką gamę efektów elektrycznych przed spokojną publicznością złożoną z mężczyzn i kobiet. Osoby stojące na płytach izolacyjnych mogły zostać naładowane za pomocą przewodnika przymocowanego do maszyny elektrycznej, albo chłopiec mógł zostać naładowany, gdy wisiał na linach pod sufitem. Chłopiec mógł wyczarować z siebie iskry lub przyciągać i odpychać kawałki papieru. W takim eksperymencie elektryczność stała się alternatywą dla światła jako metafora przekazywania wiedzy między ludźmi. Podobnie jak w scenie z planetarium przedstawionej przez Wrighta, wiedza naukowa była przekazywana w towarzyskich spotkaniach przedstawicieli różnych płci i wieku. W fizycznym kontakcie między mężczyzną i kobietą, gdy iskrzy, można dostrzec nawet nutę erotyzmu. W niektórych eksperymentach z tamtego okresu sugestia ta była wyrażana bardzo wyraźnie: na przykład młoda kobieta, która była naelektryzowana, została rozładowana przez „elektryczny pocałunek” mężczyzny będącego jej świadkiem.

W 1746 roku eksperymenty z elektrycznością zostały udoskonalone dzięki (dosłownie) szokującemu nowemu urządzeniu: butelce lejdejskiej, odkrytej przez Pietera van Musschenbroeka, profesora Uniwersytetu w Lejdzie. Słoik był w stanie zgromadzić bardzo duży ładunek, pod warunkiem, że był naładowany, a zewnętrzna strona szkła była połączona z ziemią. Następnie można go było rozładować poprzez dotknięcie metalowego trzpienia włożonego do zatyczki. Wstrząs był tak silny, że przeszedł przez długi łańcuch ludzi trzymających się za ręce i każdy go poczuł. Problemem było wyjaśnienie działania słoika, a najbardziej prawdopodobne rozwiązanie zaproponował filadelfijski drukarz i dziennikarz Benjamin Franklin w swoim dziele „Experiments and Observations on Electricity” (1751). Franklin wysunął hipotezę, że normalną materię przenika subtelny i rozległy płyn elektryczny. Jeżeli w ciele znajdowała się większa niż zwykle ilość płynu, ciało to miało ładunek dodatni; jeśli brakowało płynów, ciało było naładowane ujemnie. Teoria ta wyjaśniała zjawiska ładowania, przewodzenia i neutralizacji. Zasugerowano, że butelkę lejdejską należy rozumieć jako pojemnik na płyn elektryczny, który gromadził się wewnątrz i wypierał płyn z zewnętrznej strony szklanki. Połączenie naładowanej ujemnie części zewnętrznej z naładowanym dodatnio wnętrzem powodowało silne wyładowanie. Franklin nadał swojej teorii bezpośrednie zastosowanie w praktyce, wykazując, że pioruny to nic innego jak potężne wyładowania elektryczne między chmurami burzowymi a ziemią. Prowadził kampanię na rzecz stawiania na budynkach słupów przewodzących prąd, które miałyby odprowadzać ciec elektryczną do ziemi podczas burz, chroniąc tym samym przed uszkodzeniami. Dzban lejdejski i piorunochrony Franklina weszły do repertuaru wykładowców komercyjnych. Pastor baptystów Ebenezer Kinnersley, przyjaciel Franklina, w latach czterdziestych i pięćdziesiątych XVIII wieku podróżował po wschodnim wybrzeżu Ameryki Północnej i Indiach Zachodnich, wygłaszając wykłady na temat elektryczności. Kinnersley przedstawił energię elektryczną jako część opatrnościowego

porządku natury i podkreślił użyteczność piorunochronów. Podobnie jak demonstracje Nolleta, jego wykłady miały jednak wielorakie znaczenie. Choć programy te rzekomo celebrowały korzyści płynące z racjonalnej wiedzy, pobudzały również wyobraźnię widzów, ukazując cuda natury. Wywoływały one emocje u osób, które były ich świadkami, a jeszcze bardziej bezpośrednio u osób, które pozwoliły na przepływ prądu przez swoje ciała lub były nim leczone na różne dolegliwości. W ten sposób pokazy elektryczne znalazły swoje miejsce w kulturze wrażliwości, która rozwinęła się od połowy wieku w Europie Zachodniej i kolonialnej Ameryce Północnej. Prąd był doświadczany towarzysko; bezpośrednio wywoływało emocje i namiętności cielesne. Stało się zatem medium i metaforą uczuć współczucia, które miały łączyć ludzi w cywilizowanym społeczeństwie. W niektórych przedstawieniach symbolizowało naturalną siłę przyciągania między mężczyznami i kobietami. W 1755 roku Benjamin Martin opublikował obraz, który uchwycił niektóre emocjonalne aspekty pokazów elektrycznych. Na rysunku widać stojącą na stole maszynę elektryczną, nad którą zastanawiają się mężczyzna, kobieta i dziecko, co wskazuje, w jaki sposób elektryczność wspomaga zwiększoną świadomość relacji uczuciowych w rodzinie i w całym społeczeństwie. Ten emocjonalny i estetyczny wymiar stanowił ważny aspekt oświeceniowej nauki publicznej. W swojej Historii i obecnym stanie elektryczności (1767) angielski filozof przyrody i kaznodzieja Joseph Priestley napisał, że przyjemność płynąca z badania natury przypomina przyjemność „wzniosłości, która jest jedną z najbardziej wykwintnych rzeczy oddziałujących na wyobraźnię człowieka”. Wóz lejdejski jest oczywistym przykładem połączenia przyjemności i strachu, które autorzy zajmujący się estetyką utożsamiali z doświadczeniem wzniosłości. Priestley twierdził, że podobne emocje można wywołać także w innych dziedzinach nauki. Podczas pracy nad produkcją i charakteryzacją różnych rodzajów gazów (lub „powietrza”) pod koniec lat 60. i na początku lat 70. XVIII w. często wspominał o zaskoczeniu i podziwie, których doświadczał. Czerpał satysfakcję emocjonalną z odkrywania opatrnościowego porządku natury, np. gdy odkrył, że powietrze, które zostało zdegradowane przez oddychających nim ludzi i zwierzęta, może zostać przywrócone do dobrego stanu dzięki działaniu roślin. (Mówiąc współcześnie, Priestley odkrył proces fotosyntezy, w którym rośliny przetwarzają dwutlenek węgla w tlen, odwracając tym samym proces oddychania zwierząt). Dla niego odkrycie to ujawniło nieznaną dotąd aspekt Bożej dobroci w stworzeniu, co stanowiło powód do uzasadnionego zdumienia i zdziwienia. Priestley przedstawił swoje odkrycia czytelnikom i zachęcił wykładowców wędrownych do prezentowania ich publicznie, aby jak najszerszej podzielić się swoimi doświadczeniami. Fakt, że takie rzeczy ujawniano w tamtym czasie, uznawano za kolejny dowód działania opatrności Bożej. Był to dowód postępu powszechnego oświecenia, któremu towarzyszył stopniowy napływ prawdziwej religii i wyzwolenia politycznego, czego Priestley oczekiwał. Według Priestleya, studiowanie nauk przyrodniczych zarówno ujawniało Boży plan w naturze, jak i służyło opatrnościowej sprawie oświecenia człowieka. Nic więc dziwnego, że uważał to za najszlachetniejsze i najbardziej wzniosłe zajęcie.

### **Kolekcjonowanie i eksploracja**

Zarówno metafora maszyny, jak i zainteresowanie mocą materii ukształtowały sposób pojmowania istot żywych w epoce Oświecenia. W XVII wieku niektórzy lekarze i filozofowie przyrody zaczęli postrzegać ludzkie ciało w kategoriach mechanicznych. Działanie mięśni i kości analizowano na podstawie analogii do bloków i dźwigni, a przepływ krwi i innych płynów ustrojowych postrzegano w kategoriach dynamiki płynów. Tak zwane podejście „jatro mechaniczne” kojarzone było przede wszystkim z włoskim matematykiem Giovannim Borellim i anatomem Marcello Malpighim. Tradycja ta przetrwała do XVIII wieku, wzmocniona sukcesem filozofii mechanicznej i ożywiona fascynacją automatami. W latach trzydziestych XVIII wieku francuski wynalazca Jacques de Vaucanson stworzył kilka słynnych ruchomych figur, w tym flectistę i kaczkę, która zdawała się trawić własne pożywienie. Dziesięć lat później francuski lekarz Julien Offroy de LaMettrie opublikował znaną książkę, w której dowodził, że ludzie to nic więcej niż urządzenia mechaniczne, choć o wiele bardziej skomplikowane niż

te, które potrafili wykonać rzemieślnicy. Dzieło *La Mettriego L'homme machine* (1748) zostało opublikowane anonimowo w Lejdzie i miało na celu wyjaśnienie nie tylko fizjologii człowieka, ale także działania namiętności i intelektu w kategoriach ruchów ciał stałych i płynów w ciele. Książkę potępiły władze kościelne, twierdząc, że stanowi ona atak na naukę o duszy i moralność konwencjonalną. Jeden z egzemplarzy dzieła został spalony w Paryżu przez publicznego kata, a autor miał szczęście, gdyż otrzymał schronienie w Berlinie u króla Prus Fryderyka II. Pomimo skandalicznej pracy *La Mettriego*, w połowie stulecia przeważała opinia, że istnienie organizmów żywych można wyjaśnić w kategoriach mechanicznych. Wpływowym głosem w tej kwestii miał Georges-Louis Leclerc, hrabia de Buffon, dyrektor królewskiego ogrodu botanicznego w Paryżu, którego ogromne, wielotomowe dzieło na temat historii naturalnej zaczęło się ukazywać w 1749 r. Buffon z pogardą odrzucił próby kartezjanów i newtonistów mające na celu analizę zwierząt i roślin jako systemów mechanicznych. Twierdził natomiast, że istoty żywe przejawiają moce materii, które są specyficznymi organicznymi. Choć Buffon był ostrożny co do podjęcia tego kroku, jego przypuszczenie otworzyło drzwi filozofii materialistycznej, w której sama witalność została sprowadzona do inherentnych właściwości materii. Denis Diderot, redaktor *Encyklopedii*, był skłonny podzielić tę konkluzję w takich dziełach jak *Pensées sur l'interprétation de la nature* (1754) i nieopublikowanym *Le rêve de d'Alembert* (napisanym w 1769, ale wydrukowanym dopiero w XIX wieku). Diderot odwoływał się do badań eksperymentalnych nad pobudliwością mięśni, spontanicznym powstawaniem życia z materii nieożywionej oraz regeneracją oddzielonych części ciała u prostych organizmów, takich jak polip słodkowodny czy hydra. Dla niego wniosek był jasny: materia ma wrodzoną zdolność do organizowania się w formę żywych organizmów. Nie było zatem potrzeby zakładać, że powstanie każdego gatunku wymagało specjalnego aktu stworzenia. Proste formy życia miałyby nieustannie powstawać z materii nieożywionej i ewoluować na przestrzeni pokoleń w formy bardziej złożone i zaawansowane, być może obejmując nawet istoty ludzkie. Diderot nie opisał procesu ewolucji szczegółowo; jego cele miały charakter przede wszystkim moralny i polityczny, a nie naukowy. Uważał materializm za broń, której można użyć przeciwko Kościołowi katolickiemu we Francji i bezczelnie promował naturalistyczny system moralności, który miał zastąpić ten oparty na doktrynie religijnej. Materialistyczne spekulacje ostatecznie doprowadziły do powstania naukowych teorii ewolucji, które pojawiły się w XIX wieku. Łącznikami byli ewolucjoniści z przełomu wieków, tacy jak Jean-Baptiste Lamarck i Erazm Darwin. Jednakże w XVIII wieku materializm pozostał ograniczony do niewielkich kręgów intelektualistów o wolnomyślicielskim nastawieniu, głównie we Francji. Dominującym sposobem badania istot żywych była zupełnie inna dziedzina, mianowicie historia naturalna.

Była to działalność polegająca na opisywaniu, nazywaniu, klasyfikowaniu i kolekcjonowaniu produktów wszystkich trzech królestw natury: zwierząt, roślin i minerałów. Uważano, że świat przyrody jest przejawem systematycznego porządku, który uznawano za boski plan stworzenia i który niezmiennie trwa. Historia naturalna była procesem partycypacyjnym, w którym uczestniczyli ludzie ze wszystkich części świata. Jego najwybitniejszym zwolennikiem był wielki szwedzki przyrodnik Karol Linneusz (Carl von Linné). Linneusz opracował hierarchiczny schemat klasyfikacji, po raz pierwszy przedstawiony w *Systema naturae* (1735), a wydany jeszcze jednaście razy za jego życia. W tym systemie wszystkie organizmy żywe zostały skategoryzowane i przypisano im odpowiednią nazwę. System ten dał początek łacińskim nazwom roślin i zwierząt, stosowanym do dziś w biologii. Sam Linneusz sklasyfikował i nadał nazwy blisko 8000 gatunkom roślin i prawie 4500 gatunkom zwierząt. Dla roślin stworzył system klasyfikacji oparty na ich organach rozrodczych, a konkretnie na liczbie pręcików (organów męskich) w kwiatach. Spośród zwierząt pierwotnie wyróżnił sześć kategorii: czworonogi, ptaki, płazy, ryby, owady i robaki. W dziesiątym wydaniu *Systema Naturae* (1758–1759) zastąpił czworonogi nową kategorią ssaków, wybierając jako cechę definiującą tę klasę gruczoły mlekowe, za pomocą których matki karmią swoje młode. Linneusz pragnął uczynić z historii naturalnej

przedsięwzięcie o zasięgu globalnym, dostrzegając potencjalne korzyści ekonomiczne dla narodów, które się nią zajmowały. W swoim ogrodzie botanicznym w Uppsali starał się naturalizować gatunki egzotyczne, które jego zdaniem mogły przyczynić się do dobrobytu Szwecji, w tym krzewy herbaciane, drzewa morwowe i rabarbar. Wymieniał listy i okazy z szerokim gronem korespondentów i wysłał grupę uczniów w podróże odkrywcze po całym świecie. Pehr Kalm podróżował do Rosji i Ameryki Północnej w latach czterdziestych XVIII wieku; Pehr Löfling badał Amerykę Południową w latach pięćdziesiątych XVIII wieku; Daniel Solander wziął udział w pierwszej podróży kapitana Jamesa Cooka na Pacyfik w latach 1768–1771; a Anders Sparrman dołączył do drugiej wyprawy Cooka w latach 1772–1775. Światowa sieć dostaw Linneusza i intensywne eksperymenty nad przesadzaniem gatunków znalazły naśladowców w największych mocarstwach europejskich, rozszerzających swoje globalne wpływy. Ogród Królewski w Paryżu zaopatrywany był przez sieci założone przez francuskich odkrywców. Po powrocie z pierwszej podróży Cooka Joseph Banks przejął zarządzanie Królewskimi Ogradami Botanicznymi w Kew i pozyskał okazy z instytucji zależnych w Botany Bay, na Przylądku Dobrej Nadziei i w innych miejscach. Podobne porozumienie połączyło ogrody królewskie w Madrycie z obiektami w Meksyku, Bogocie i Limie. Sieci te powstały w celu służenia interesom imperialnym, ale pozwalały jednostkom z placówek kolonialnych stać się partnerami w tworzeniu wiedzy naukowej. Mężczyźni, kobiety, a nawet niewolnicy, związani ze społecznościami europejskich osadników w wielu częściach świata, skorzystali z tej okazji. John Bartram, przyrodnik z Filadelfii, wymienił się okazami roślin z Peterem Collinsonem, londyńskim kupcem. Jane Colden, córka lekarza mieszkająca na Long Island w Nowym Jorku, skatalogowała ponad trzysta gatunków amerykańskich roślin. Gramman Kwasi, wyzwolony niewolnik w holenderskim Surinamie, odkrył cenny korzeń leczniczy, o którym doniósł Linneuszowi, a ten nadał imię Kwasi drzewu, z którego pochodził korzeń. Jednym z głównych celów naukowych wypraw badawczych tamtego okresu było badanie historii naturalnej. W latach sześćdziesiątych XVIII wieku europejska eksploracja Pacyfiku była już w pełnym toku: brytyjskie, francuskie i hiszpańskie statki zapuszczały się w głąb oceanu, a rosyjscy podróżnicy przybywali do niego drogą lądową. Banks i Solander wybrali się w podróż statkiem Cooka Endeavour w 1768 roku, wyposażeni na koszt Banksa w zapas butelek, skrzynek i środków konserwujących, aby zbierać owady, ptaki i rośliny. Ich działalność kolekcjonerska w każdym z miejsc docelowych statku — na Tahiti, w Nowej Zelandii, Australii i Indiach Wschodnich — zaowocowała tym, co sam Linneusz, jako autorytet, uznał za bezprecedensowe żniwo dla historii naturalnej. Motorem napędowym brytyjskiego przedsięwzięcia była konkurencja z francuskimi żeglarzami, zwłaszcza Louisem Antoine’em de Bougainville’em, którego statek Boudeuse opłynął świat w latach 1766–1769. Przyrodnik z Bougainville’a, Philibert Commerçon, i jego asystentka Jeanne Baret (która wyruszyła w przebraniu mężczyzny), opisali i zebrali okazy podczas całej podróży, w tym południowoamerykańską roślinę bugenwillę, która później stała się znana w wielu innych częściach świata. Bougainville zabrał ze sobą również człowieka z Tahiti, Ahutoru, który stał się sławny we Francji, zanim zmarł w trakcie podróży, która miała go sprowadzić do ojczyzny. Cook poszedł tą samą drogą i w swoją pierwszą podróż zabrał ze sobą tahitańskiego mędrca i szamana o imieniu Tupaia, który potrafił tłumaczyć języki innych mieszkańców wysp Pacyfiku, a nawet Maorysów z Nowej Zelandii, aż do swojej śmierci w Batawii. Podczas drugiej podróży Cooka, na pokładzie statku Adventure do Londynu przywieziono kolejnego Tahitańczyka, Omai. Zdobył sławę w londyńskim towarzystwie, namalowano mu jego portret, odwiedził parlament i operę, a także został przedstawiony królowi Jerzemu III. Znany obraz Williama Parry’ego przedstawia go w towarzystwie Banksa i Solandera. Przedstawiany jest jako przystojny i dostojny mężczyzna, ubrany w strój nawiązujący do starożytności, a jego europejscy przyjaciele traktują go z szacunkiem, choć najwyraźniej jest też obiektem ciekawości. Zdjęcie to odzwierciedla fascynację oświeceniową życiem ludzi określanych mianem prymitywów lub „dzikusów”. Omai powrócił na Tahiti podczas trzeciej podróży Cooka w 1777 roku. Europejczycy przyjrzeni się historii naturalnej, w tym jej wymiarowi antropologicznemu jako środek służący promowaniu ekspansji

terytorialnej, kolonizacji i handlu. Na Tahiti Banks zaobserwował właściwości odżywcze drzewa chlebowego i wpadł na pomysł przesadzenia go na Antyle i wykarmienia niewolników pracujących na plantacjach trzciny cukrowej. Taki właśnie był cel nieudanej podróży Williama Bligha na pokładzie Bounty w latach 1787–1789. Po tym, jak podróż ta zakończyła się buntem, Bligh w latach 1792–1793 z powodzeniem dokończył zadanie na statku Providence. Ale w trakcie takich wypraw zajmowano się nie tylko historią naturalną. W istocie europejskie statki z tego okresu nazywano „pływającymi laboratoriami”, ponieważ służyły jako mobilne miejsca do przeprowadzania różnego rodzaju eksperymentów naukowych. Franklin korzystał ze swojego pływającego laboratorium podczas każdego z ośmiu rejsów przez Atlantyk; Dokonywał pomiarów warunków atmosferycznych i prądów oceanicznych, obserwował ptaki i życie morskie oraz ćwiczył techniki nawigacyjne. W 1768 roku opublikował pierwszą mapę Prądu Zatokowego, dzięki czemu wiedza żeglarzy stała się powszechnie dostępna i mogli z niej korzystać wszyscy żeglarze na szlakach północnoatlantyckich. Nawigacja oceaniczna wymagała również specjalistycznej wiedzy z zakresu astronomii. Określenie długości geograficznej statku na morzu wymagało opanowania skomplikowanych metod astronomicznych, takich jak pomiar położenia Księżyca lub ruchów satelitów Jowisza. Chociaż udoskonalenia Johna Harrisona w konstrukcji chronometrów w latach 60. i 70. XVIII w. miały zapewnić żeglarzom dokładne metody pomiaru czasu na morzu, dzięki którym można byłoby określić długość geograficzną, metody astronomiczne pozostały nieodzownym uzupełnieniem nawet najlepszych dostępnych zegarków. Niektóre z ówczesnych wypraw, w tym pierwsza wyprawa Cooka na Pacyfik, miały na celu udoskonalenie pomiarów astronomicznych. Dwa tranzyty Wenus w XVIII wieku, w 1761 i 1769 roku, skłoniły mocarstwa imperialne, zwłaszcza Wielką Brytanię i Francję, do zorganizowania wypraw w celu ich obserwacji. Według czasu, dokładnie znając ruch planety przed tarczą Słońca z kilku miejsc, można by określić odległość Ziemi od środka Układu Słonecznego, która jest jednostką, według której obliczane są wszystkie inne odległości i ruchy planet. W 1761 roku Francuzi wysłali obserwatorów na Ocean Indyjski i na Syberię. Brytyjski astronom królewski, Nevil Maskelyne, przejął odpowiedzialność za obserwacje na Wyspie Świętej Heleny na południowym Atlantyku. Mniej szczęśliwi byli Charles Mason i Jeremiah Dixon, wysłani na Sumatrę przez Królewskie Towarzystwo, którzy musieli obserwować tranzyt z Przylądka Dobrej Nadziei, ponieważ miejsce ich przeznaczenia było okupowane przez wojska francuskie. Z drugiej strony, w 1769 roku wojna siedmioletnia dobiegła końca, a współpraca naukowa między Wielką Brytanią i Francją została wznowiona. Cookowi udało się obserwować to zjawisko na Tahiti, a Brytyjczycy pozwolili francuskiemu astronomowi le Gentilowi obserwować je z Pondicherry w południowych Indiach. Inni obserwatorzy obserwowali tranzyt z różnych miejsc na świecie, m.in. z Jakucka, Saint Domingue i Baja California. W tym samym czasie, gdy wiedza o świecie przyrody gromadziła się na masową skalę dzięki inwestycjom instytucji metropolitalnych, w tych samych miejscach koncentrowała się również wiedza geograficzna o całym świecie. Zmierzono szerokości i długości geograficzne tysiący miejsc na całym świecie z większą dokładnością. Europejscy nawigatorzy sporządzali mapy wybrzeży i portów na odległych kontynentach. Prądy oceaniczne i pasaty odnotowano na drukowanych mapach. Kraje europejskie zostały zmapowane z niespotykaną dotąd dokładnością, a siatka szerokości i długości geograficznej została rozciągnięta na cały kontynent północnoamerykański, stanowiąc podstawę podziałów terytorialnych i planowania urbanistycznego. Jednym z pierwszych projektów był projekt Gian-Domenico Cassiniego, astronoma na dworze Ludwika XIV, który rozpoczął badania triangulacyjne Francji, czego efektem była nowa mapa kraju w 1693 roku. Teraz król mógł kontemplować swoje królestwo i przesuwając palec po jego zarysie, chociaż mapa przekazywała rozczarującą wiadomość, że kraj jest w rzeczywistości mniejszy pod względem powierzchni, niż wcześniej sądzono. Cassini zebrał również obserwacje podróżników z całego świata i na ich podstawie stworzył mapę całego globu, której centrum stanowił Biegun Północny. Mapę wyrzeźbił w podłodze Obserwatorium Paryskiego. Jego projekt zainspirował wiele innych prób kartografii w następnym stuleciu, w miarę jak metoda triangulacji była udoskonalana

za pomocą bardziej precyzyjnych instrumentów pomiarowych. Angielski geodeta i dowódca wojskowy William Roy przeprowadził pomiary triangulacyjne w szkockich górach po stłumieniu rebelii jakobitów w 1745 roku. W latach 80. XVIII wieku brytyjskie pomiary Roya, oparte na południku Greenwich, zostały dostosowane do mapy francuskiej, opartej na mapie Paryża. Następnie Brytyjczycy zorganizowali badania w Bengalu, które później rozszerzono o mapę całych Indii, natomiast Francuzi zastosowali tę metodę w Egipcie podczas wyprawy Napoleona do tego kraju w latach 1798–1801. W projektach tych geometria została wpisana jako narzędzie pomocnicze władzy imperialnej, ponieważ terytoria zamorskie, które Europejczycy próbowali podporządkować sobie, zostały poddane reżimowi dokładnego mapowania. W tym samym czasie geodezja (kwestia ogólnego kształtu Ziemi) również zaprzętała uwagę matematyków i astronomów. W latach trzydziestych XVIII wieku w Académie des Sciences rozgorzały spory na temat tego, czy kartezjańskie przewidywania dotyczące wydłużenia Ziemi wzdłuż jej osi okażą się prawdziwe, czy też Newton miał rację, twierdząc, że jest ona nieznacznie spłaszczona na biegunach. Wysłano dwie ekspedycje w celu wykonania odpowiednich pomiarów. Maupertuis został wysłany, aby zmierzyć długość jednego stopnia południka przecinającego koło podbiegunowe w Laponii, podczas gdy zespół pod przewodnictwem Charlesa-Marie de La Condamine'a wykonał to samo zadanie na równiku w Peru. Maupertuis lepiej wykorzystał to doświadczenie, wracając po kilku latach do Paryża z wynikami, które mogły potwierdzić twierdzenia Newtona. La Condamine'owi zajęło dziewięć lat, zanim powrócił, gdyż po drodze stracił wiele swoich pomiarów; a botanik z jego zespołu, Joseph de Jussieu, powrócił do Francji dopiero po trzydziestu sześciu latach wędrówki po amazońskiej dżungli. Doświadczenia te świadczą o niezwykłym cierpieniu i wytrzymałości, jakich niekiedy wymagano od oświeconych uczonych, gdy starali się objąć świat swoimi systemami wiedzy.

### **Kryzysy i rewolucje**

Ostatnia ćwierć XVIII wieku była świadkiem rewolucyjnych powstań przeciwko rządzącym systemom w wielu krajach europejskich oraz zerwania więzi łączących Wielką Brytanię, Francję i Hiszpanię z ich posiadłościami kolonialnymi w Ameryce. Po rewolucji amerykańskiej (1775–1783) nastąpiła wojna na Haiti (1791–1802), a później wojny o niepodległość w krajach Ameryki Łacińskiej. W samej Europie rewolucja francuska (1789–1799) wywołała powstania w Niderlandach, Polsce i Irlandii oraz wywołała wojnę międzynarodową, która pochłonęła cały kontynent na dwa dziesięciolecia. Era rewolucji oznaczała koniec Oświecenia jako takiego, gdyż społeczeństwa europejskie przeszły przez konflikty wewnętrzne i zewnętrzne, z których wyszły z przekształconymi instytucjami politycznymi i kulturalnymi oraz nowymi relacjami ze światem. Okres rewolucyjny przyniósł serię kryzysów w nauce Oświecenia. Uzyskanie przez Amerykę niepodległości otworzyło drogę do rozwoju nowych instytucji naukowych na terenie Stanów Zjednoczonych. Do Amerykańskiego Towarzystwa Filozoficznego (założonego w Filadelfii w 1768 r.) dołączyły inne towarzystwa naukowe, m.in. Amerykańska Akademia Sztuk i Nauk (założona w Bostonie w 1780 r.) oraz towarzystwa medyczne w wielu dużych miastach. Powstały amerykańskie wydawnictwa naukowe, a uczelnie ery kolonialnej dostosowały się do zadania kształcenia elity nowego narodu. Zmiana ta była traumatycznym doświadczeniem dla King's College w Nowym Jorku: lojalistyczni członkowie wydziału przenieśli się do Nowej Szkocji, podczas gdy ci, którzy pozostali, w przemianowanej instytucji Columbia College (później Columbia University). Inny amerykański lojalista, fizyk Benjamin Thompson, uciekł do Europy, gdzie elektor Bawarii przyznał mu tytuł hrabiego Rumforda, a także odegrał ważną rolę w założeniu Królewskiej Instytucji Wielkiej Brytanii. We Francji wybuchowi rewolucji politycznej poprzedziła „rewolucja” w chemii, proklamowana przez Antoine'a Laurenta Lavoisiera. W 1774 roku Lavoisier, idąc za radą Priestleya, wytworzył nowy rodzaj powietrza poprzez podgrzewanie substancji znanej jako czerwone wapno rtęciowe. Jak zauważył Priestley, powietrze nadawało się do oddychania lepiej niż normalne powietrze atmosferyczne. Lavoisier początkowo nazwał je „powietrzem witalnym”, ale później, uznając, że jest

ono odpowiedzialne za kwasowe właściwości związków, w których występuje, zmienił jego nazwę na „tlen” (od greckiego słowa oznaczającego „produkujący kwas”). W ciągu kilku lat rozpoczął ofensywę przeciwko koncepcji flogistonu, tradycyjnie uznawanej przez chemików za zasadę łatwopalności metali i innych substancji palnych. Lavoisier zaproponował, że spalanie można rozumieć nie jako uwalnianie flogistonu, lecz jako połączenie substancji palnej z tlenem atmosferycznym. Teorię chemiczną można by na tej podstawie kompleksowo zrekonstruować, gdyby wodę – uważaną za pierwiastek od czasów starożytnych – rozpoznano jako związek tlenu z innym gazem, wodorem. Kampania Lavoisiera na rzecz nowej teorii chemii nabrała tempa na początku lat osiemdziesiątych XVIII wieku. W 1785 roku on i jego sojusznicy zorganizowali w Paryżu wielką demonstrację rozkładu i syntezy wody, wykonując skrupulatne pomiary wielkości biorących udział w obu reakcjach i twierdząc, że wykazali z dużą dokładnością, że woda rzeczywiście składa się z wodoru i tlenu. Potem nastąpiły dwa kolejne etapy kampanii. W 1787 roku Lavoisier i trzech jego współpracownicy opublikowali nowy system nomenklatury chemicznej, w którym teoria tlenu została zawarta w samych nazwach pierwiastków i związków chemicznych. W 1789 roku Lavoisier w swoim dziele *Traité élémentaire de chimie* przedstawił nowy system w formie podstawowego podręcznika, zyskując lojalność kolejnego pokolenia chemików poprzez przejście metod pedagogicznych, za pomocą których nauczano tej nauki. Nowa teoria stopniowo zyskała uznanie większości europejskich chemików. Pierwszych sojuszników pozyskano w Niemczech, Holandii i Szkocji. Wielu brytyjskich chemików niechętnie szło w ślady Francuzów, ale większość z nich dała się przekonać na początku lat dziewięćdziesiątych XVIII wieku. Priestley jednak stawiał opór do końca życia. Wygnany na wygnanie w Pensylwani, po tym jak jego dom w Birmingham został zaatakowany przez tłum lojalistów, oburzonych jego poparciem dla rewolucji francuskiej, nie przestawał wyrażać sprzeciwu i rzekomo eksperymentalnych obaleń. Po tym, jak Lavoisier został stracony przez reżim rewolucyjny w 1794 r., Priestley dość nietaktownie zasugerował, że francuscy chemicy stosowali techniki terroru, aby wywierać presję na innych, aby zaakceptowali ich system. Ironia radykalnego politycznego (Priestleya), który sprzeciwił się rewolucji w chemii, podczas gdy rewolucjonista chemiczny (Lavoisier) został zniszczony przez polityczny przewrót, którego nie chciał. Często zauważano. Ale Priestley sprzeciwiał się decyzji Lavoisiera całościowego podejścia do nauki, a nie tylko do kilku szczegółów swojej teorii. Zrozumiał, że francuski chemik wprowadzał bardziej skomplikowaną i droższą aparaturę, co ograniczyło możliwości powtarzania jego eksperymentów. On również miał żal do nowej nomenklatury, którą uważał za narzucenie ram teoretycznych na to, co powinno być neutralnym, opisowym językiem nauk empirycznych. W ten sposób Priestley uważał, że nowa chemia podważa publiczny status wiedzy naukowej, którą (jak widzieliśmy) wiązał z postępem wolności i powszechnym oświeceniem. Krytyka Priestleya trafnie wskazała sposoby, w jakie chemia Lavoisiera wskazywała na kształt przyszłych wydarzeń. Instrumenty zastosowane przez francuskiego chemika wyznaczyły wzór koncentracji zasobów w nowych instytucjach naukowych, które wkrótce powstały. Rewolucja doprowadziła do powstania w Paryżu „grandes écoles”, elitarnych instytucji szkolnictwa wyższego, w tym tych poświęconych kształceniu naukowemu i technicznemu: École Polytechnique i Conservatoire National des Arts et Métiers. W programach pedagogicznych tych instytucji znalazły zastosowanie podręczniki, nomenklatura i instrumentarium Lavoisiera. W połowie lat dziewięćdziesiątych XVIII wieku zreformowano także Akademię Nauk, która została przejęta pod skrzydła nowo powstałego Instytutu Francuskiego. Badania w tym miejscu mogły również wykorzystywać znaczne zasoby instrumentalne, zwłaszcza gdy odkrycie elektryczności galwanicznej otworzyło nową dziedzinę elektrochemii, która wymagała budowy dużych baterii elektrycznych. Reformy francuskie stały się inspiracją dla podobnych działań w innych krajach. Uniwersytet Berliński (założony w 1810 r.) stworzył model uniwersytetu opartego na badaniach, przyjęty później na całym świecie. W Londynie Królewska Instytucja (założona w 1799 r.) pozyskała prywatny mecenat i entuzjazm publiczności, aby wesprzeć badania prowadzone w jej laboratorium. Humphry Davy, który pracował tam w pierwszej dekadzie XIX wieku, wykazał, że potrafi zarządzać zasobami pozwalającymi

na osiągnięcie sukcesów na poziomie francuskim w dziedzinie elektrochemii, a nawet ich przewyższenie. Kiedy zaczęła się rywalizacja między państwowymi instytucjami dysponującymi dużymi zasobami, Priestley miał rację podejrzewając, że epoka oświeconej nauki publicznej dobiegła końca. Skromny sprzęt, za pomocą którego przeprowadzał eksperymenty, składający się ze zwykłych przedmiotów codziennego użytku, nie nadawał się już do tego zadania. A powszechne publiczne powielanie, które uważał za bodziec do powszechnego oświecenia, zostało zastąpione prywatnym lub rządowym patronatem uprzywilejowanych instytucji. Jeśli „rewolucja chemiczna” Lavoisiera doprowadziła do wykorzystania w nauce pokąźniejszych środków instrumentalnych, to inny, równoczesny kryzys wskazał na zupełnie inne cechy końca Oświecenia. W 1778 roku wiedeński lekarz Franz Anton Mesmer przybył do Paryża i zaczął oferować nowy rodzaj leczenia. Za pomocą takich rekwizytów, jak metalowe pręty i drewniane beczki, lub po prostu przesuwając ręce po ciałach swoich pacjentów, Mesmer twierdził, że jest w stanie kierować niewidzialnym płynem „magnetyzmu zwierzęcego”, aby leczyć różne schorzenia. Jego terapie zyskały popularność wśród elity społecznej; można je racjonalizować, odwołując się do panujących poglądów na temat wrażliwości i roli nieuchwytnych płynów w nerwach. Jednak w 1784 roku komisja Akademii Nauk pod przewodnictwem Franklina i Lavoisiera uznała, że Mesmer jest oszustem, a jego domniemane uzdrowienia były wyłącznie zasługą wyobraźni pacjentów. Mesmer wycofał się z praktyki w niesławie, jednak mesmeryzm jako taki przetrwał i rozkwitał przez dziesięciolecia. Wiara w magnetyzm zwierzęcy nie zanikła, lecz została wzmocniona przez odkrycie Luigi Galvaniego, opublikowane w 1791 r., dotyczące impulsów w nerwach żab, które z natury są elektryczne. Rola elektryczności w procesach życiowych nadal stanowiła przedmiot badań fizjologicznych, w ramach odnowionej fascynacji mocami życia, która rozwinęła się w ostatnich latach stulecia. Ponadto komisja podkreśliła wagę tej zdolności umysłowej, zwracając uwagę na potencjał wyobraźni. W kolejnych latach wyobraźnię zarówno obawiano się, jak i celebrowano — obawiano się jej, gdy objawiała się jako histeria rewolucyjnego tłumu, ale celebrowano jako kluczowy atrybut poetów, artystów, a nawet naukowych geniuszy. W ten sposób kryzys hipnozy stał się zapowiedzią trendów w nauce, które miały wyłonić się później w ramach ruchu romantyzmu. Na początku XIX wieku te nowe trendy zaczęły się ujawniać. W Niemczech klęska i inwazja wojsk francuskich przyczyniły się do powstania nowej, asertywnej kultury narodowej, szczególnie w literaturze i filozofii. Johann Wolfgang von Goethe, wkrótce uznany za czołowego poetę języka niemieckiego, wniósł istotny wkład do filozofii przyrody w latach 90. XVIII w. i w XIX w. Jego badania anatomii porównawczej roślin i zwierząt sugerowały istnienie pierwotnego, podstawowego planu lub „Pierwotnej formy”, leżącej u podstaw wszystkich różnorodnych odmian istot żywych. Krytyka teorii kolorów Newtona dokonana przez Goethego znalazła oddźwięk w idealistycznym nurcie niemieckiej filozofii, która coraz bardziej podkreślała twórczą rolę indywidualnego umysłu w postrzeganiu i rozumieniu świata przyrody. Około przełomu wieków profesor filozofii z Jeny Friedrich Schelling stał się czołowym zwolennikiem Naturphilosophie, która twierdziła, że fundamentalna jedność sił natury może być postrzegana intuicyjnie przez ludzki umysł. Filozofia Schellinga wpłynęła na późniejsze badania nad zjednoczeniem sił powinowactwa chemicznego, elektryczności i magnetyzmu. Filozofia przyrody wprowadziła także ideę konfliktu dialektycznego jako przyczyny przemian w przyrodzie, dostarczając ważnego motywu rodzącej się fascynacji ewolucją i przemianami historycznymi. Dwie nowe nauki tej epoki odzwierciedlały odejście od sposobów myślenia charakterystycznych dla oświecenia XVIII wieku. Biologia, po raz pierwszy użyta jako nazwa nauki około 1800 roku, była poświęcona badaniu żywotności jako takiej, czyli właściwości, które sprawiają, że żywe organizmy żyją. Choć czerpała z aspektów materializmu XVIII wieku, odbiegała od swojego poprzednika w zakresie wyraźnego rozgraniczenia istot żywych od materii nieożywionej. Otworzyła się zatem droga do rozwoju idei ewolucji jako procesu ściśle biologicznego, którego źródłem są zdolności organizmów do reprodukcji i adaptacji do środowiska. Geologia (choć słowo to było używane już wcześniej) weszła do powszechnego użytku mniej więcej w tym samym czasie w odniesieniu do historycznych badań Ziemi.



Poszczególne warstwy skał zostały zidentyfikowane jako odpowiadające różnym etapom historii Ziemi. Dzięki temu geologowie byli w stanie odtworzyć, w jaki sposób współczesne krajobrazy kształtowały się pod wpływem trzęsień ziemi, erupcji wulkanów i erozji na przestrzeni bardzo długich okresów czasu. W połowie XIX wieku znacznie bardziej szczegółowa historia Ziemi, ujawniona przez geologię, stworzyła tło, na którym mogła rozegrać się historia ewolucji biologicznej. Byłoby to nie do pomyślenia w poprzednim stuleciu, gdy ewolucja była jedynie zabawnym wymysłem garstki wolnomyślicieli, a większość ludzi wierzyła, że historia Ziemi mieści się w granicach wyznaczonych przez Pismo Święte.

### **Wnioski: Dziedzictwo nauki oświeceniowej**

Z perspektywy XIX wieku, znaczna część nauki Oświecenia wydawała się prymitywna i zacofana. Astronomia była w dużej mierze ograniczona do Układu Słonecznego. Historia naturalna postrzegała świat żywy jako statyczny i niezmienny system porządku. Większość pierwiastków chemicznych była nieznana, a samo pojęcie było słabo zdefiniowane. Elektryczność i magnetyzm badano w oderwaniu od siebie, bez pojęcia o ich głębokim związku. Idea energii, która miała zjednoczyć nauki fizyczne w następnym stuleciu, pozostała poza horyzontem intelektualnym. Profil społeczny osiemnastowiecznej nauki wydawał się obcy także jej późniejszym przedstawicielom. Ludzie nauki, którzy w XIX wieku twierdzili, że są profesjonalistami i których później zaczęto nazywać „naukowcami”, postrzegali swoich poprzedników jako zwykłych amatorów. Nie uznawali za swoich rówieśników wykładowców, rzemieślników, nawigatorów i przyrodników, którzy stanowili trzon nauki oświeceniowej. W istocie cała idea nauki jako przedsięwzięcia publicznego – patrząc z perspektywy czasu – nie potrafiła dokonać koniecznego rozgraniczenia między poważną pracą intelektualną a zwykłą popularyzacją. Jednakże osąd dokonany w XIX wieku był niesprawiedliwy i nie powinien stawiać ograniczeń zrozumieniu historii. Epoka Oświecenia pozostawiła po sobie istotny ślad w historii nauki, nawet jeśli dominujące wówczas idee pod wieloma względami zostały wyparte. Obecnie możemy być bardziej skłonni rozgraniczać sferę ekspertów naukowych od sfery opinii publicznej, jednak nadal są one od siebie zależne. Praktycy nauki wciąż muszą komunikować się ze społeczeństwem, aby uzyskać poparcie dla swojej pracy. Wszyscy znamy osoby, które osiągnęły wybitne sukcesy na tym polu. Wiedza naukowa nadal jest przedmiotem szerokiego zainteresowania i dyskusji w dzisiejszych mediach; i tak powinno być, biorąc pod uwagę jego znaczenie gospodarcze i społeczne. Należy przypomnieć, że to w XVIII wieku nauka weszła do sfery publicznej, z której nigdy nie zniknęła, mimo ogromnego rozwoju specjalistycznej wiedzy i instytucji zawodowych. Innym dziedzictwem nauki oświeceniowej jest powiązany świat, w którym krążą idee. Żeglarze, odkrywcy i nawigatorzy XVIII wieku stworzyli wiele więzi, które nadal nas łączą, jak na przykład północnoatlantyczne szlaki wzdłuż , gdzie nadal odbywają się połączenia komunikacyjne, handel i ruch osobowy. Stworzyli mapy globu z niespotykaną dotąd dokładnością i rozszerzyli na cały świat system klasyfikacji roślin i zwierząt. Oświeceni badacze próbowali poddać całą planetę swoistej siatce jednolitości. Zakładali, że każde miejsce można zlokalizować, określając szerokość i długość geograficzną, że każdą żywą istotę można umieścić w odpowiednim porządku klasyfikacji i że każdą grupę ludzką można umiejscowić w pewnym punkcie na skali historycznego postępu, od dzikości do cywilizacji. W praktyce oczekiwania te często okazywały się niespełnione. W Laponii i górnym biegu Amazonki obsługa urządzeń nawigacyjnych i pomiarowych okazała się trudna. Okazy przyrodnicze często gubiły się w czasie transportu do instytucji kolekcjonerskich lub docierały do nich zgniłe i nieoznakowane. Materiały drukowane nie były rozpowszechniane z idealną wiernością; Często były nadpisywane, edytowane i pirackie. Próbuąc podporządkować ludzi jednolitej siatce, myśliciele oświeceniowi zmuszeni byli zmierzyć się z nieograniczoną różnorodnością kultur ludzkich, której nie dało się łatwo zamknąć w skali liniowej. Ci, którzy podzielali ówczesne zaufanie do rozumu – zaufanie, które często postrzegano jako rodzaj arogancji – postawili sobie za cel przezwycięzenie tych przeszkód. Ale dano im wiele okazji, aby uświadomić sobie, że nigdy nie będzie to w pełni możliwe. Osoby, które uważały się za oświecone, nieuchronnie napotykały wiele cudów i anomalii; i żyli w bliskim sąsiedztwie

ludzi, których uważali za prymitywnych i nieoświeconych. W świetle tego nie powinno nas dziwić, że pewien stopień niepewności co do tego, jak daleko można posunąć racjonalność, był cechą charakterystyczną tej epoki. Na to właśnie wskazywał Kant, gdy stwierdzał, że jego współcześni żyją w epoce oświecenia, ale jeszcze nie w epoce oświecenia. To samo można jednak powiedzieć o każdym kolejnym okresie. Cele powszechnego oświecenia nigdy nie zostały osiągnięte, a świadomość ograniczeń racjonalności jest warunkiem współczesnego życia. Pod tym względem, chociaż era nauki oświeceniowej dobiegła końca wraz z końcem XVIII wieku, proces przemian kulturowych – z jego nieodłączną niekompletnością – trwa do dziś.

### **Kultury eksperymentalne**

KIEDY myślimy o współczesnej nauce, o tym, jak się ją uprawia i gdzie się ją przeprowadza, zazwyczaj myślimy o eksperymentach w laboratorium. Laboratoria są kultowymi przestrzeniami eksperymentalnej nauki, w których eksperci w białych kitlach przesłuchują naturę i zmuszają ją do ujawnienia swoich sekretów. To obraz znany nam z niezliczonych filmów klasy B z lat 50. XX wieku lub z telewizyjnych seriali science fiction: pomyślmy na przykład o wcieleniu trzeciego Doktora Who w wykonaniu Jona Pertwee w siedzibie UNIT. Laboratorium jest tak głęboko zakorzenione jako miejsce eksperymentu w naszym postrzeganiu tego, czym jest nauka i jak należy ją praktykować, że trudno docenić, że takie miejsca mają historię i że w rzeczywistości laboratorium jako wyjątkowa przestrzeń do eksperymentów jest dość niedawnym zjawiskiem historycznym. Rodzaj aktywności, którą obecnie opisalibyśmy jako eksperyment, miał miejsce w przeszłości w różnych miejscach — w kuchniach, ubikacjach i warsztatach. Pomysł, że eksperyment potrzebuje własnego, szczególnego miejsca, pojawił się dopiero w XIX wieku. Laboratorium, jako wyjątkowa przestrzeń do eksperymentów, a nie przestrzeń, w której eksperymenty miały miejsce, pojawiło się w kontekście debaty i niezgody na temat tego, czym właściwie są eksperymenty i jak — i przez kogo — powinny być przeprowadzane. Szkocki fizyk James Clerk Maxwell zasugerował w latach 70. XIX wieku, że istnieją dwa różne rodzaje kultury eksperymentalnej. Z jednej strony była kultura „iskier i wstrząsów, które są widoczne i odczuwalne”, z drugiej strony była kultura „prądów i oporów, które należy zmierzyć i obliczyć”. Sam Maxwell był z pewnością entuzjastycznym zwolennikiem pomiaru i obliczeń w eksperymencie, chociaż niektóre z jego działań sugerują również ciągłe przywiązanie do widzenia i odczuwania w eksperymencie. Kontrast ten podkreśla własne uznanie Maxwella, że w XIX wieku istniało więcej niż jeden sposób przeprowadzania eksperymentów i więcej niż jeden pogląd na to, co powinno mieć miejsce w laboratorium. Laboratoria zmieniły się w ciągu XIX i XX wieku z miejsc pracy indywidualnych eksperymentatorów w duże centra wspólnych badań — i nauczania. Wraz ze zmianami zmieniał się również rodzaj wiedzy eksperymentalnej, którą produkowały. Ten rozdział będzie badał kontrastujące i czasami konkurujące kultury eksperymentalne ery nowożytnej. Będzie badał aspekty nowej i transformacyjnej wiedzy, która wyłoniła się z laboratoriów w ciągu ostatnich dwóch stuleci, a także praktyki i procedury, które kryły się za tą wiedzą. Będzie podkreślał to, co działo się na zewnątrz, jak i wewnątrz laboratoriów. Aby zrozumieć kulturę eksperymentu, musimy pomyśleć o pochodzeniu umiejętności i materiałów, które były potrzebne do udanych eksperymentów. Eksperymenty, które wyłoniły się z laboratoriów XIX wieku, były często wizualnie uderzające. Zostały zaprojektowane tak, aby cieszyć oko tak samo, jak zadowolić umysł. Nie jest to zaskakujące w epoce, która zazwyczaj uważała widzenie za paradygmat wiedzy. Jednak w tym rozdziale stanie się jasne, że odwołanie się do wrażeń w eksperymencie nie ograniczało się do XIX wieku. Było integralną częścią kultur eksperymentalnych przez cały okres nowożytny.

### **Demonstrating Nature**

Kiedy Humphry Davy przybył do Londynu w 1801 roku, aby zostać wykładowcą chemii w niedawno utworzonej Royal Institution, dołączył do zupełnie nowego rodzaju instytucji. Promotorzy Royal

Institution chcieli poświęcić nową instytucję „szybkemu i powszechnemu rozpowszechnianiu” wiedzy, „nauczaniu stosowania odkryć naukowych” i „zwiększaniu domowego komfortu i wygody”. Jak na ironię, biorąc pod uwagę jego późniejszą sławę pod rządami pierwszych dyrektorów, laboratorium instytucji zostało mało wspomniane we wczesnych planach. Tam, gdzie się pojawiło, było dodatkiem do sali wykładowej. Aby promować „nauczanie stosowania nauki do pożytecznych celów życia”, promotorzy obiecali, że „sala wykładowa zostanie wyposażona w wykłady i eksperymenty filozoficzne oraz kompletny sprzęt laboratoryjny i filozoficzny z niezbędnymi instrumentami do przeprowadzania eksperymentów chemicznych i filozoficznych”. To było w rzeczywistości dokładnie to miejsce, w którym można by się spodziewać laboratorium na początku XIX wieku. Było to najbliższe temu, co laboratorium miało do otoczenia instytucjonalnego. Laboratoria to pomieszczenia, w których przygotowywano eksperymenty do publicznej demonstracji. Laboratorium Royal Institution zostało wyobrażone przez założycieli instytucji jako miejsce, w którym „ludzie pierwszej sławy w nauce” ćwiczyliby swoje eksperymentalne występy, zanim zaprezentowałiby je w przestrzeni naukowej, która naprawdę miała dla nich znaczenie — w sali wykładowej. Pod wieloma względami właśnie to robił Humphry Davy. Davy zyskał sławę w Royal Institution jako wykonawca ekstrawaganckich i spektakularnych eksperymentów elektrycznych. Zaledwie rok przed przybyciem Davy'ego włoski filozof przyrody Alessandro Volta zademonstrował instrument, który stał się znany jako stos Volty lub ogniwo galwaniczne. Stos był ostateczną odpowiedzią Volty na jego spór z rodakiem Włochem Luigim Galvanim. Galvani argumentował, że jego eksperymenty z żabami wykazały istnienie tego, co nazywał elektrycznością zwierzęcą. Volta opracował stos, aby pokazać, że te same efekty elektryczne można uzyskać bez tkanki zwierzęcej, obalając w ten sposób teorię Galvaniego. W rękach Davy'ego stos działałby jednak o wiele więcej. Przekształcił go w instrument, który mógłby zadziwić słuchaczy w Royal Institution swoją znajomością natury i dokonać równie zdumiewających nowych odkryć w chemii. Podczas gdy Volta twierdził, że elektryczność w stosie powstaje w wyniku kontaktu różnych metali, Davy upierał się, że ma ona pochodzenie chemiczne. Używając wielkiej baterii w Royal Institution, Davy'emu udało się zidentyfikować pół tuzina nowych pierwiastków, a także ustalić, że chlor i jod również są pierwiastkami, pomimo twierdzeń przeciwnych ze strony francuskich chemików broniących nowej chemii ich zmarłego rodaka Lavoisiera. Dzięki takim odkryciom Davy uczynił z Royal Institution i jego laboratorium ważną potęgę w europejskiej filozofii przyrody. Następca Davy'ego, Michael Faraday, kontynuował tradycję odkryć i wystaw, którą Davy ustanowił. W 1820 roku duński filozof przyrody Hans Christian Oersted wykazał, że namagnesowana igła zawieszona w pobliżu drutu była odchylana, gdy przepływał przez nią prąd elektryczny. Oersted spekulował, że za to może odpowiadać jakaś siła działająca w okręgu wokół drutu. Faraday podjął tę sugestię i wkrótce zademonstrował, jak można sprawić, by drut z prądem obracał się wokół magnesu, a siły elektryczne i magnetyczne zdawały się oddziaływać na siebie, wytwarzając ruch mechaniczny. Niecałe dziesięć lat później, w 1832 r., Faraday odkrył indukcję elektromagnetyczną, pokazując, że ruchomy magnes może wytwarzać elektryczność. Od tego czasu aż do lat 50. XIX wieku Faraday kontynuował stały strumień badań eksperymentalnych płynących z laboratorium Royal Institution. Podobnie jak Davy, Faraday był zarówno doskonałym wykonawcą, jak i eksperymentatorem. W rzeczywistości te dwie rzeczy często szły ręką w rękę przez cały XIX wiek. Publiczność gromadziła się w sali wykładowej Royal Institution, aby oglądać, jak Faraday „odpokutowuje piękno natury i kiedy podnosi zasłonę z jej głębokich tajemnic”. Jednak te spektakularne występy zależały od ostrożnego, skrupulatnego i zdyscyplinowanego przygotowania w laboratorium. Reputacja Faradaya jako eksperymentatora zależała od obu tych rzeczy. Eksperymenty Faradaya demonstrujące indukcję elektromagnetyczną skutecznie zawiązały ostatni węzeł w relacji między elektrycznością a magnetyzmem. Już wcześniej ustalił, że przewód z prądem będzie obracał się wokół magnesu. Teraz, używając niezwykle prostego aparatu, Faraday pokazał, jak, jeśli dwa przewody zostaną owinięte wokół żelaznego pierścienia w dwóch oddzielnych cewkach, gdy jedna cewka zostanie podłączona do baterii, prąd elektryczny

zostanie na krótko zaindukowany w drugiej cewce. Gdy pierwsza cewka została odłączona, w drugiej znów na krótko zaindukowano prąd. Pokazał również, jak, jeśli magnes sztabkowy został włożony wzdłuż osi cewki drucianej, w tej cewce zaindukowano prąd przez ruch magnesu. Po ustaleniu zasady w swoim laboratorium Faraday szybko zajął się opracowaniem formy aparatury, która pozwoliłaby mu przenieść nowe zjawisko na górę, na publiczną arenę sali wykładowej Royal Institution. Nadal była to ważna część procesu upubliczniania eksperymentu. Musiało to być coś, co publiczność mogłaby zobaczyć. Inni również szybko opracowali własne sposoby pokazania zjawiska, zamieniając ulotne i przejściowe migotanie elektryczności, które Faraday wytworzył w laboratorium, w solidny i łatwy do zademonstrowania spektakl. Wczesna kultura eksperymentalna epoki wiktoriańskiej była w dużym stopniu zorganizowana wokół technologii wyświetlania takich jak ta. W rękach niektórych współczesnych i rywali Faradaya była ona wyraźnie ukierunkowana na znalezienie sposobów na odtworzenie spektaklu natury. „Laboratorium natury jest dobrze zaopatrzone w tego rodzaju urządzenia”, powiedział William Sturgeon, „a nieistotność naszych marnych urządzeń do naśladowania operacji natury musi być aż nadto oczywista w porównaniu ze wspaniałym aparatem ziemi”. Podczas gdy Faraday wykładał na modnej londyńskiej Albemarle Street, Sturgeon i jemu podobni uprawiali swój eksperymentalny handel w takich placówkach jak Adelaide Gallery w pobliżu Strand lub Royal Polytechnic Institution na Regent Street. W emporiach naukowych widowisk, takich jak te, klienci płacili szylinga przy drzwiach za możliwość bycia świadkiem cudów: Byli tam sprytni profesorowie... nauczający skomplikowanych nauk na dwudziestominutowych wykładach... Zastawiano sprytnie pułapki na zadawanie nieostrożnym wstrząsów galwanicznych; działa parowe, które zamieniały kule w kiepskie sześciopensówki przeciwko celowi; i ciemne mikroskopijne pomieszczenia do wstrząsania zasadami abstynentów, poprzez pokazywanie wijących się obrzydliwości w kropli wody, którą mieli codziennie połykać kufkami. Występujący w takich miejscach byli przedsiębiorcami-eksperymentatorami, którzy mieli tyle samo wspólnego z P. T. Barnumem (który również wystawiał w Adelaide Gallery), co z Faradayem. Te galerie praktycznej nauki były w dużej mierze zjawiskiem metropolitalnym, chociaż była co najmniej jedna próba założenia jednej poza Londynem, gdy William Sturgeon został zaproszony do Manchesteru jako superintendent Royal Victoria for the Encouragement of Practical Science. Jednym z pierwszych wykładowców w nowej instytucji był James Prescott Joule. Joule podzielał fascynację Sturgeona tworzeniem maszyn, które imitowały naturalne procesy. Jego wczesne prace miały formę listów do Annals of Electricity Sturgeona, omawiających własny silnik elektromagnetyczny Sturgeona i podobne wysiłki w celu uczynienia elektryczności użyteczną. To był ciąg eksperymentalnych dociekań, który ostatecznie doprowadził kilka lat później do eksperymentu Joule'a z kołem łożatkowym i odkrycia przez niego mechanicznego odpowiednika ciepła. Joule, syn bogatego piwowara z Manchesteru, był mniej zainteresowany widowiskiem niż wydajną pracą. Tworzenie lepszych silników było troską, która doprowadziła do mechanicznego odpowiednika ciepła. Mimo to troska o widoczność była nadal ważna dla Joule'a. Oprócz sugerowania sposobów ulepszania silników, eksperyment z kołem łożatkowym dostarczył sposobu na uwidocznienie porządku natury przez Boga. Był sposobem na ukazanie w namacalny sposób, w jaki „zjawiska natury, czy to mechaniczne, chemiczne, czy witalne, składają się niemal całkowicie z ciągłej konwersji przyciągania przez przestrzeń, siły życiowej i ciepła w siebie nawzajem. Tego rodzaju zainteresowanie eksperymentami jako sposobem pokazania ukrytego mechanizmu natury nowej publiczności było szeroko rozpowszechnione w Europie i Ameryce Północnej w pierwszej połowie XIX wieku. W Wielkiej Brytanii zainteresowanie uczynieniem mocy Boga w naturze widoczną dla publiczności było ważną cechą działalności publicznej filozofów przyrody Newtona od początku XVIII wieku. Podobnie filozof przyrody, taki jak Jean-Antoine Nollet we Francji, był biegły w przekształcaniu eksperymentu w rozrywkę podobającą się tłumowi (i monarchom), za pomocą łańcuchów naelektryzowanych mnichów i gwardzistów królewskich. Niemiecki wykonawca Georg Matthias Bose z pewnością wiedział, jak przyciągnąć uwagę opinii publicznej elektrycznym pocałunkiem Wenus i

swoim eksperymentem beatyfikacyjnym. Eksperymenty takie jak te lub wyczyny Benjamina Franklina, który gotował indyka za pomocą elektryczności na brzegach Skuyllkill na Święto Dziękczynienia w 1748 roku, zostały zaprojektowane z myślą o doznaniach (we wszystkich ich znaczeniach). Nawet eksperymenty takie jak badania Antoine'a Laurenta de Lavoisiera w latach 70. i 80. XVIII wieku nad spalaniem i oddychaniem oraz tradycją metrologii w eksperymencie, którą pomogły zapoczątkować, nadal były częścią tej kultury eksperymentu jako środka pokazywania natury. W ciągu pierwszych dwóch dekad XIX wieku francuska kultura eksperymentalna była zdominowana przez protegowanych filozofa przyrody Pierre'a Simona Laplace'a i chemika Claude'a Louisa Bertholleta. Styl eksperymentu preferowany przez Towarzystwo Arcueil (tak nazwane od lokalizacji sąsiednich majątków należących do dwóch patronów) kładł nacisk na ostrożne pomiary i kwantyfikację. Jean Baptiste Biot opisał ten nowy rodzaj francuskich eksperymentatorów jako „physiciens géometres”, z umiejętnością łączenia obliczeń i eksperymentów w celu uzyskania „najwyższej precyzji”. Jego własna praca nad polaryzacją światła uosabiała to laplacowskie podejście do eksperymentu. Laboratoria w Arcueil mogły być domenami prywatnymi, ale państwo francuskie również interesowało się eksperymentem. W 1843 roku francuskie Ministerstwo Robót Publicznych zleciło Henri Victorowi Regnault, profesorowi fizyki w Collège de France, przeprowadzenie szeroko zakrojonych eksperymentów nad właściwościami pary, w celu zebrania danych, które mogłyby zostać wykorzystane do ulepszenia silników parowych. Oprócz tego, że były przydatne dla państwa francuskiego, takie eksperymenty miały również znaczenie dla przemysłu i szerszej kultury wrażeń. Przyrządy takie jak własny polarymetr Biota oferowały nowe sposoby analizy kolorów, które miały zostać przejęte przez artystów i przemysłowych farbiarzy. W krajach niemieckich, w połowie XIX wieku, etos eksperymentu również ulegał zmianie. Na początku wieku dominującym poglądem był pogląd Naturphilosophie, a celem eksperymentu było zbadanie transcendentalnej jedności natury. Badania Oersteda nad związkiem między elektrycznością a magnetyzmem były na przykład ukształtowane przez tę perspektywę. Innym zwolennikiem tego rodzaju poglądu był Johann Wilhelm Ritter, który uznał za swoje zadanie odkrycie „prawdziwej duszy świata natury”. Elektryczność była głównym przedmiotem badań Ritтера, choć badał on również zjawiska światła, odkrywając istnienie promieni ultrafioletowych poza widmem światła widzialnego w 1801 roku. Innym niemieckim eksperymentatorem zafascynowanym możliwościami Naturphilosophie był berlińczyk Thomas Johann Seebeck, którego badania doprowadziły do odkrycia, jak wytwarzać elektryczność z ciepła. W latach 40. XIX wieku niemieccy eksperymentatorzy pragnęli zdystansować się od tego rodzaju spekulacji i zamiast tego przyjęli francuski entuzjazm dla pomiarów. Hermann von Helmholtz był jednym z pierwszych przedstawicieli tego nowego podejścia do eksperymentu, a jego esej z 1847 roku *Über die Erhaltung der Kraft* (O zachowaniu siły) był jednym z pierwszych wyników. Kilka lat wcześniej Helmholtz wraz z podobnie myślącymi przyjaciółmi, takimi jak Emil du Bois Reymond i Ernst Brücke (obaj, podobnie jak Helmholtz, pierwotnie byli fizjologami) przyczynili się do założenia Berlińskiego Towarzystwa Fizycznego, które miało pielęgnować tę nową, eksperymentalną kulturę. Fizjologia i fizyka miały ścisły związek również we włoskiej kulturze eksperymentalnej z początku XIX wieku. Eksperymenty Luigiego Galvaniego nad elektrycznością zwierzęcą pod koniec XVIII wieku były ważnym źródłem dla niemieckiej Naturphilosophie, a włoscy eksperymentatorzy, tacy jak Giovanni Aldini (bratanek Galvaniego) i inni kontynuowali tę tradycję. Aldini słynnie podróżował po Francji i Wielkiej Brytanii, aby bronić twierdzeń swojego wuja, wykonując eksperymenty elektryczne na niedawno straconym ciele George'a Forstera, gdy ten odwiedził Londyn w 1803 roku. Inni włoscy eksperymentatorzy byli również zainteresowani związkiem między elektrycznością a innymi mocami natury. Macedonio Melloni, profesor fizyki na Uniwersytecie w Parmie, i Leopoldo Nobili przeprowadzili eksperymenty nad związkiem światła i ciepła w 1831 roku. Rok później Nobili i Vincenzo Antinori, dyrektor muzeum fizyki i historii naturalnej we Florencji, wpadli w kłopoty z Michaeliem Faradayem, gdy powtórzyli i opublikowali jego eksperymenty nad indukcją elektromagnetyczną, zanim on sam je opublikował. Przez lata czterdzieste XIX wieku Carlo Matteucci, profesor fizyki na

Uniwersytecie w Pizie, zyskał sławę dzięki serii eksperymentów badających związek elektryczności i siły nerwowej. Podobnie jak eksperymentatorzy we Francji i, w mniejszym stopniu, na ziemiach niemieckich, włoscy eksperymentatorzy byli często kojarzeni z instytucjami finansowanymi przez państwo, nawet jeśli państwo zazwyczaj nie finansowało (ani nie oczekiwało, że będą przeprowadzać) badań eksperymentalnych. Wczesna XIX-wieczna kultura eksperymentalna w Stanach Zjednoczonych bardziej przypominała kulturę brytyjską. Powoli sieć małych, prywatnych uczelni rozprzestrzeniła się na wschodnim wybrzeżu. Filozofia przyrody była w programie nauczania w takich miejscach i chociaż od profesorów nie oczekiwano (ani nie płacono im) niczego poza przygotowywaniem eksperymentów do nauczania i demonstracji, czasami to robili. Joseph Henry, profesor filozofii przyrody w New Jersey College (później Princeton) był jednym z bardziej znanych. Po wynalezieniu przez Williama Sturgeona elektromagnesu jako instrumentu, który wzmacniał efekty magnetyczne w celu ich prezentacji, Henry zyskał sławę jako twórca coraz potężniejszych wersji. Jego eksperymenty nad związkiem między elektrycznością a magnetyzmem niemal wyprzedziły odkrycie indukcji elektromagnetycznej Faradaya. Poza dużymi miastami zasoby do eksperymentów były ograniczone. Henry zapisał, jak rozdierał jedwabne halki swojej żony, aby zapewnić izolację swoim elektromagnesom. Zarówno Boston, jak i Filadelfia wspierały małe, ale prężnie rozwijające się społeczności eksperymentatorów, z producentami instrumentów naukowych i instytucjami, w których wyniki eksperymentów mogły być eksponowane. Istniały bliskie powiązania z brytyjskimi eksperymentatorami. Henry odwiedził Londyn w latach 30. XIX wieku, aby kupić instrumenty i spotkał się zarówno z Faradayem, jak i Sturgeon, zauważając w liście do domu, z pewnym niedopowiedzeniem, że „nie byli w dobrych stosunkach”. W dwuznacznym komplementcie opisał Sturgeon jako „stojącą na czele drugorzędnych filozofów Londynu”. Te rozwijające się kultury eksperymentalne w Europie i Ameryce Północnej zależały od rozwoju społeczności wykwalifikowanych pracowników i dostępności zasobów materialnych. Wizyty Henry'ego w Europie w poszukiwaniu aparatury eksperymentalnej są dobrą ilustracją znaczenia takich rzeczy. Taki ruch przez Atlantyk nie odbywał się tylko w jedną stronę. Filadelfijski producent instrumentów Joseph Saxton spędził większość lat 30. XIX wieku w Londynie, budując aparaturę dla Galerii Adelaide (założonej przez Amerykanina Jacoba Perkinsa). Londyn, a także inne duże miasta europejskie, takie jak Paryż i Berlin, rozwinęły się jako znaczące centra handlu instrumentami do końca XVIII wieku. Miasta te wspierały znaczący przemysł instrumentów naukowych, ściśle powiązany z innymi rzemiosłami, takimi jak zegarmistrzostwo, produkcja okularów i obróbka metali. Wytwórcy instrumentów szybko podchwycili najnowsze osiągnięcia naukowe i przekształcili je w użyteczne urządzenia. Paryski wytwórca instrumentów Hippolyte Pixii przekształcił odkrycie Faradaya dotyczące indukcji elektromagnetycznej w maszynę magnetoelektryczną, która generowała stały przepływ prądu. Joseph Saxton wkrótce wyprodukował podobny instrument również dla Adelaide Gallery. Po wynalezieniu przez Nicholasa Callana cewki indukcyjnej (innego instrumentu wykorzystującego odkrycie Faradaya), wytwórcy instrumentów wkrótce zaczęli reklamować własne wersje nowego instrumentu w swoich katalogach handlowych. Wynalezienie przez Callana cewki indukcyjnej i ulepszenia wprowadzone przez innych producentów instrumentów do pierwotnego projektu doprowadziły do powstania najważniejszego urządzenia naukowego XIX wieku. Na początku lat 50. XIX wieku niemiecki producent instrumentów z Paryża Heinrich Rühmkorff wprowadził znaczące ulepszenia cewki, dzięki którym urządzenie stało się znacznie potężniejsze. Dzięki temu nowemu źródłu intensywnej energii elektrycznej eksperymentatorzy mogli wytwarzać i badać szereg spektakularnych zjawisk. W 1854 roku angielski eksperymentator John Peter Gassiot użył cewki Rühmkorffa pożyczonej od swojego przyjaciela Williama Roberta Grove'a, aby uzyskać efekt znany jako kaskada Gassiota. Kaskada — w której wygląd płynącego ognia ciekłego uzyskano poprzez przepuszczenie prądu przez szklany kubek wewnątrz próżni pompy powietrza — była przykładem zjawiska wyładowania, wytwarzanego poprzez przepuszczenie prądu wysokiego napięcia przez rozrzedzony gaz w uszczelnionej szklanej rurce lub podobnym pojemniku. Był powszechnie uważany za jeden z

najpiękniejszych eksperymentów. Niemiecki konstruktor instrumentów Heinrich Geissler specjalizował się w produkcji misternie zaprojektowanych szklanych rurek, w których różne gazy świeciły różnymi kolorami pod wpływem przepływu prądu. Gassiot i inni w latach 50-tych XIX wieku, tacy jak Grove i niemiecki eksperymentator Julius Plücker, używali cewek Rühmkorffa, aby spróbować odkryć właściwości tych osobliwych wyładowań. William Crookes był jednym z najbardziej energicznych i płodnych badaczy zjawisk wyładowań w latach 60. i 70. XIX wieku. Jego eksperymenty dostarczają oświecających dowodów na złożoną interakcję między widowiskiem a systematycznym badaniem. Crookes chciał wykorzystać wyładowania, aby zbadać właściwości tego, co nazywał czwartym stanem materii. Przeprowadził kilka spektakularnych eksperymentów, co skłoniło fizyka matematycznego George'a Gabriela Stokesa do wyrażenia zdziwienia w rozmowie z korespondentem: „Nie znam niczego podobnego do tego, co Crookes robił przez kilka lat... Chciałbym, żebyś mógł zobaczyć część jego pracy w laboratorium. W jednym eksperymencie Crookes napędzał małą szklaną lokomotywę wzdłuż toru wewnątrz ewakuowanej rury, wykorzystując moc „materii promienistej” przepływającej między elektrodami. Inni, tacy jak uczeń Plückera Wilhelm Hittorf w Niemczech lub Warren de la Rue i Hugo Muller w Anglii, również pracowali nad zjawiskami wyładowań. Eksperymenty takie jak te miały miejsce na granicy rzeczywistości w nauce wiktoriańskiej. Znajdowały się na skraju tego, co eksperymenty mogły zrobić. Crookes, na przykład, uważał, że oferują one dobry model tego, w jaki sposób eksperymentatorzy mogliby podchodzić do badania innych zjawisk liminalnych, takich jak te wytwarzane w seansach spirytystycznych. Spektakularne występy i pokazy w miejscach takich jak Royal Polytechnic Institution w Londynie odegrały ważną rolę w przybliżeniu produktów tej eksperymentalnej kultury z połowy wieku szerszej publiczności. Równie ważne było rozprzestrzenianie się popularnych książek o eksperymentach. *Boy's Playbook of Science* Johna Henry'ego Peppera zawierał szczegółowe sprawozdania i opisy, jak przeprowadzać szeroką gamę eksperymentów. Pepper, który zarządzał Polytechnic od początku lat 50. XIX wieku, oferował swoim czytelnikom „serię eksperymentów filozoficznych szczegółowo opisanych w taki sposób, że każda młoda osoba może je przeprowadzić z największą łatwością, i . . . zapewni mu przyjemną i pożyteczną rozrywkę, gdy nasyci się samą zabawą, lub zostanie uwięziony przez złą pogodę, lub ponury z powodu nierozbawionej nudy długiego zimowego wieczoru. Czasopisma skierowane do młodych chłopców, takie jak *Boy's Own Paper*, wydawane przez Religious Tract Society w celu wpojenia wartości męskiego chrześcijaństwa nowemu pokoleniu uczniów, oferowały instrukcje dotyczące eksperymentów wraz z moralnie poprawiającymi opowieściami o bohaterkich czynach. Producenci instrumentów naukowych produkowali wszelkiego rodzaju zabawki filozoficzne i optyczne przeznaczone na ten rodzaj rynku. Od lat 30. XIX wieku zestawy chemiczne były produkowane i sprzedawane jako filozoficzne rozrywki dla dzieci. Jedną z najważniejszych zmian, jaka miała miejsce w ciągu XIX wieku w tym kontekście, była pedagogiczna rola eksperymentu. Na początku wieku, gdy uniwersytety w ogóle posiadały laboratoria, były one uważane za przestrzeń do przygotowywania pokazów wykładowych. Kiedy eksperymenty były przeprowadzane w takich warunkach, były przeprowadzane jako demonstracje, a nie jako czynności, które studenci mogliby sami wykonać; eksperymenty były występami, których studenci mieli być świadkami, a nie praktykowanymi przez nich. W ciągu stulecia jednak laboratoria dydaktyczne zaprojektowane tak, aby sami studenci stali się eksperymentatorami, stały się powszechne na uniwersytetach. Trend ten rozpoczął się w Europie kontynentalnej, a później został przyjęty na Wyspach Brytyjskich, gdzie William Thomson założył pierwsze laboratorium dydaktyczne na Uniwersytecie w Glasgow w latach 50. XIX wieku. Nawet pod koniec lat 80. XIX wieku laboratoria uniwersyteckie były nadal stosunkowo rzadkie. Oliver Lodge donosił w swojej autobiografii, że „laboratoria były w tamtych czasach raczej nowością” i że nadal uważał za konieczne „zwiedzanie laboratoriów kontynentalnych i zdobywanie w ten sposób doświadczenia”. Zwolennicy czasami stawali przed trudnym zadaniem przekonania władz uniwersyteckich, że kultura eksperymentalna, skażona widowiskowością i pracą ręczną, ma miejsce w ich czcigodnych salach.

## Instytucje eksperymentalne

Pod koniec XIX wieku laboratoria wydawały się dobrze ugruntowane jako ich własny, szczególny rodzaj miejsc. Posiadanie dobrze wyposażonych i zarządzanych laboratoriów dydaktycznych i badawczych uznawano za niezbędny wymóg dla każdego europejskiego lub północnoamerykańskiego uniwersytetu, który miał pretensje do bycia prawdziwymi fabrykami wiedzy. W różnym stopniu państwa uczyły się, że nauka ma znaczenie dla dobrobytu narodowego i że zapewnienie przestrzeni do eksperymentów nie było tylko obowiązkiem narodowym, ale warunkiem wstępnym dalszego postępu gospodarczego. Retoryka dyscypliny była ważną cechą kultury eksperymentalnej, która rozwinęła się w tych laboratoriach pod koniec XIX wieku. Eksperyment, według mężczyzn, którzy zarządzali tymi laboratoriami, nie był tylko sposobem na poznanie natury, oferował również sposób na dyscyplinowanie umysłów i ciał osób, które go przeprowadzały. Udany eksperyment oznaczał dbałość o szczegóły, cierpliwość i wysoki stopień zręczności manualnej. Laboratoria były cenione nie tylko w Europie i Ameryce Północnej. Gdy w ostatnich dekadach stulecia w Japonii miała miejsce restauracja Meiji, nowy reżim uznał reorganizację i rozwój wiedzy za jeden ze swoich głównych celów. Autorytety w dziedzinie nauk laboratoryjnych, takie jak uczeń Williama Thomsona, William Ayrton, zostały sprowadzone, aby uczyć japońskich studentów wartości eksperymentu. W swojej wściekłej krytyce korupcji i nepotyzmu angielskiej kultury naukowej w 1830 r., *Reflections on the Decline of Science in England*, Charles Babbage wezwał państwo angielskie do naśladowania swojego francuskiego odpowiednika i uczynienia nauki działalnością finansowaną przez państwo. Miejsce kultury eksperymentalnej we Francji w pierwszej połowie XIX wieku było jednak znacznie mniej bezpieczne, niż wyobrażał sobie Babbage. Edukacja naukowa i techniczna z pewnością stała się cenionym towarem w dekadach następujących po rewolucji. Instytucje naukowe, jak również państwo, zostały uporządkowane, a ludzie nauki, tacy jak Laplace czy Berthollet, zajmowali stanowiska o znaczącej władzy politycznej. Laboratoria, w których tacy ludzie i ich uczniowie eksperymentowali, często pozostawały prywatnymi lennami, a francuscy uczeni często narzekali na brak dostępnych im obiektów. Patronat państwa nad eksperymentami nad ciepłem, jaki przyznano Regnaultowi, był raczej wyjątkiem niż regułą. Podczas gdy Babbage z zazdrością spoglądał na francuską kulturę eksperymentalną, sami Francuzi z taką samą zazdrością spoglądali na państwa niemieckie — a w szczególności na Prusy. Nauka francuska — podobnie jak państwo francuskie — była wysoce scentralizowana, a kariera w Paryżu stanowiła szczyt sukcesu naukowego. W samym Paryżu umiejętność przekształcania eksperymentów w spektakularne demonstracje publiczne, tak jak Claude Pouillet robił to w latach 30. XIX wieku, prowadząc badania elektryczne na Sorbonie, często pomagała w zabezpieczeniu takiej kariery. Pod rządami Drugiego Cesarstwa pojawiło się nowe pokolenie wielkich bestii, które reprezentowały i broniły kultury eksperymentalnej we Francji. Claude Bernard z Collège de France postawił sobie za cel przekształcenie fizjologii w fizykę, stawiając eksperyment w centrum swojej nauki. Jego *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* miało na celu umieszczenie eksperymentu w sercu medycyny. Upoważniony nowym stanowiskiem profesora fizjologii na Sorbonie, zdołał przekonać cesarza, aby zapewnił mu również laboratorium. Profesor fizyki na Sorbonie, Jules Jamin, odznaczony Medalem Rumforda w 1858 r. za swoje eksperymentalne badania nad właściwościami światła, kontynuował tradycję swojego poprzednika. Podobnie jak Pouillet przed nim, przyciągał entuzjastyczne tłumy na swoje spektakularne pokazy eksperymentalne. Największą bestią nowego pokolenia był chemik Louis Pasteur. Podobnie jak Jamin, Pasteur wiedział, jak używać eksperymentu do spektakularnych efektów, przyciągając publiczność i patronat dla swojej pracy. Jego całkowite pokonanie przeciwnika, Félix-Archimède'a Poucheta, w publicznej debacie na temat spontanicznej generacji na Sorbonie w 1864 r. było lekcją poglądową na temat publicznych występów eksperymentalnych. Eksperymentując z zamkniętymi kolbami na scenie, Pasteur przekonał publiczność, że spontaniczna generacja była chimerą, która wydawała się mieć miejsce tylko w



okolicznościach, w których życie już istniało. Pod koniec lat 60. XIX wieku niezadowolenie z braku państwowego finansowania laboratoriów we Francji osiągnęło punkt kulminacyjny. Pasteur napisał, że laboratoria były „świętyniami przyszłości”. Przeciwstawił opłakany stan rzeczy we Francji kwitjącemu wsparciu dla eksperymentów, jakie istniało w Niemczech. Prestiż Pasteura był wystarczająco wysoki, aby zyskać względy cesarza, a wizyta w laboratorium chemicznym Pasteura w École Normale Supérieure w 1868 r. przekonała Napoleona III, że powinien działać w tej sprawie. Laboratoria i kultury eksperymentalne, które w nich przechowywano, zostały sprzedane państwu francuskiemu, tak jak miało to miejsce w ostatnich dekadach stulecia, jako niezbędne dodatki do postępu narodowego, zarówno gospodarczego, jak i militarnego. Rezultatem było rozprzestrzenienie się laboratoriów państwowych w rozwijających się dyscyplinach naukowych, choć oczywiście za późno, aby uratować Francję przed upokorzeniem przegranej w wojnie francusko-pruskiej kilka lat później. Fizycy na Sorbonie skończyli z dwoma laboratoriami, aby pomieścić swoje eksperymenty. Paul Desains przewodniczył Laboratoire d'Enseignement de Physique, poświęconemu głównie nauczaniu, podczas gdy Jules Jamin rządził mniejszym Laboratoire des Recherches Physiques. Obaj panowie byli zapalonymi zwolennikami kultu precyzyjnych pomiarów jako kamienia węgielnego pracy eksperymentalnej. Pasteur, oczywiście, skończył z całą własną instytucją, z Instytutem Pasteura założonym w 1887 roku. Na początku XIX wieku było jasne, że to francuskie instytucje naukowe wydawały się oferować najlepszy model organizacji nauki, a marsz Napoleona przez Europę doprowadził również do eksportu francuskich modeli instytucjonalnych. Pod koniec wieku jednak idealnym państwem naukowym były bez wątpienia nowo zjednoczone Niemcy. To właśnie w nowej Rzeszy europejscy eksperymentatorzy szukali inspiracji. Podziwiając z daleka eksperymentalne obiekty Hermanna von Helmholtza, John Tyndall zauważył, że „w laboratorium berlińskim znajdziesz dokładnie to, co moi amerykańscy i brytyjscy przyjaciele i ja chcielibyśmy zobaczyć w działaniu we wszystkich laboratoriach college'ów i uniwersytetów w Ameryce i Imperium Brytyjskim”. Niemiecka przewaga w zakresie wyposażenia laboratoryjnego z pewnością pomaga wyjaśnić, w jaki sposób Heinrich Hertz z Uniwersytetu w Karlsruhe pokonał swoich brytyjskich odpowiedników w odkryciu fal elektromagnetycznych w 1888 roku. Zaplecze laboratoryjne, którym dysponował w Karlsruhe, było ważnym czynnikiem w decyzji Hertza o przyjęciu tam stanowiska profesora w 1885 roku. Tam miał dostęp do zasobów, które pozwoliły mu najpierw wytwarzać i wykrywać oscylacje elektromagnetyczne w eterze, a następnie wykazać, że mogą być one dyfrakcyjne, polaryzowane, odbijane i załamywane tak jak zwykłe światło. Jednak ogólniej rzecz biorąc, sami niemieccy eksperymentatorzy byli często mniej zadowoleni ze stanu swoich laboratoriów i nadal naciskali na lepsze zasoby, argumentując, że „nasi najniebezpieczniejsi wrogowie w walce o przetrwanie” byli zajęci tworzeniem własnych instytucji badawczych. Rezultatem całego tego lobbingu w 1887 roku było utworzenie Physikalisch-Technische Reichsanstalt w Berlinie. Miała to być instytucja całkowicie poświęcona eksperymentom i ich potencjalnym zastosowaniom przemysłowym. Znaczną część funduszy na nową instytucję zapewnił inżynier elektryk Werner von Siemens. Siemens, który zbił fortunę na telegrafii i w nowych gałęziach przemysłu elektrycznego, które zaczęły się rozwijać w drugiej połowie XIX wieku, był potężnym orędownikiem finansowania laboratoriów państwowych, argumentując, że badania eksperymentalne muszą stać się „zawodową działalnością w ramach struktury państwa”. Uważał się za fizyka w takim samym stopniu, w jakim był przemysłowcem, i twierdził, że eksperyment i przemysł są nierozdzielnie ze sobą powiązane. Nawet mając pieniądze Siemens na stole, biurokracja Rzeszy potrzebowała pewnych perswazji. Siemens martwił się, że potężny Otto von Bismarck uważał, że eksperyment był „rodzajem sportu bez praktycznego znaczenia”, a nie działalnością niezbędną dla przyszłej pomyślności Rzeszy. Pierwszym dyrektorem instytucji miał być Hermann von Helmholtz, powszechnie uznawany za najwybitniejszego niemieckiego eksperymentatora. Zdobył sławę jako jeden z pierwszych pionierów zachowania energii i był już dyrektorem Berlińskiego Instytutu Fizyki, zarządzając laboratorium, którego Tyndall tak bardzo mu zazdrościł. Sekcja naukowa pod jego kierownictwem została podzielona

na trzy oddzielne laboratoria, w których prowadzono prace eksperymentalne z zakresu termodynamiki, elektryczności i optyki. Celem było ustanowienie nowych standardów precyzyjnych pomiarów, które mogłyby zostać wykorzystane w przemyśle. Laboratorium termodynamiki pracowało na przykład nad udoskonaleniem termometrii, podczas gdy laboratorium optyczne opracowało bardziej niezawodny fotometr do porównywania intensywności światła z różnych źródeł. Budynek instytucji został zbudowany z myślą o wymaganiach eksperymentu. Cały budynek został zbudowany na fundamencie z grubej płyty betonowej o powierzchni tysiąca metrów kwadratowych, aby zapewnić maksymalną stabilność, a ściany zewnętrzne zostały starannie osłonięte przed słońcem, aby pomóc zapewnić równomierną temperaturę. Lokalizacja różnych laboratoriów w budynku została zaplanowana z myślą o szczególnych wymaganiach różnych rodzajów prac eksperymentalnych. Na przykład laboratorium termodynamiczne znajdowało się na parterze, ponieważ tam najłatwiej było kontrolować temperaturę. Po śmierci Helmholtza w 1894 r. dyrektorem Reichsanstalt został Friedrich Kohlrausch, autor *Leitfaden der praktischen Physik*, jednego z najpopularniejszych niemieckich podręczników do eksperymentów. Był mistrzem precyzyjnych pomiarów, ponieważ w latach 60. XIX wieku odbył praktykę eksperymentalną u eksperymentatora elektrycznego Wilhelma Webera na Uniwersytecie w Getyndze, po czym dołączył do swojego byłego mistrza jako współdyrektor Instytutu Fizyki w Getyndze. Jeszcze bardziej niż Helmholtz, Kohlrausch był zdeterminowany, aby ustanowić Reichsanstalt jako niezastąpione ramię państwa niemieckiego. Do 1903 r. Reichsanstalt zwiększył swoją powierzchnię ponad dwukrotnie i stał się potęgą badań naukowych dla niemieckiego przemysłu. Kultura eksperymentów, którą promowali zarówno Helmholtz, jak i Kohlrausch, kładła nacisk na dyscyplinę i skrupulatność. Niektórzy z jego kolegów uważali, że Kohlrausch dosłownie uosabiał tego rodzaju wartości. Szwedzki chemik i fizyk Svante Arrhenius, który współpracował z Kohlrauschem, gdy był profesorem na Uniwersytecie w Würzburgu, zauważył, że „zawsze żył tak uporządkowany jak chronometr”. Eksperymentalny świat *Physikalische-Technische Reichsanstalt* miał służyć fizyce Rzeszy, ale miał również i z pewnością reprezentować cnoty samodyscypliny i porządku, które władcy Niemiec chcieli rozwijać u swoich obywateli. Przedstawiciele eksperymentów laboratoryjnych w Wielkiej Brytanii wysuwali podobne twierdzenia na temat wartości eksperymentu. Tam, pod koniec XIX wieku, najważniejszą instytucją eksperymentalną było laboratorium Cavendisha w Cambridge, założone w 1874 roku. Trzeba było trochę perswazji, aby przekonać konserwatywny uniwersytet, że laboratorium fizyki eksperymentalnej to coś, co naprawdę dobrze pasowałoby do instytucji poświęconej edukacji liberalnej. Podobnie jak w przypadku oferty Siemens w Niemczech, ostatecznie przekonała ich gotowość Williama Cavendisha, siódmego księcia Devonshire, do sfinansowania nowego laboratorium. Pierwszym profesorem Cavendisha był szkocki fizyk James Clerk Maxwell. Maxwell zrozumiał, że uczynienie pracochłonnej pracy eksperymentalnej, która miała być wykonywana w Cavendish, atrakcyjną dla studentów i władz uniwersytetu, może być trudne. Dla niektórych eksperymenty wydawały się skażone światem warsztatu lub popisów. Maxwell nie chciał „przyciągać całego uniwersytetu i wszystkich rodziców” poprzez stwarzanie mylnego wrażenia, do czego służy laboratorium. Zamiast tego podkreślał moralne aspekty pracy eksperymentalnej. Proces precyzyjnego pomiaru promował samodyscyplinę i pomagał zademonstrować boski plan, argumentował Maxwell. Edukacja w Cambridge miała na celu wykształcenie zdyscyplinowanych umysłów, a Maxwell musiał przekonać sceptyków, że nauka przeprowadzania eksperymentów oferuje środek do osiągnięcia tego celu. Precyzyjne pomiary były również sednem eksperymentalnego reżimu w laboratorium Cavendisha. W szczególności Maxwell przywiózł ze sobą do Cambridge pracę, którą wykonywał w ramach wysiłków Brytyjskiego Stowarzyszenia na rzecz Postępu Nauki, aby ustanowić standardową jednostkę oporu elektrycznego. Elektromagnetyzm był nauką, w której Maxwell zyskał sławę, a jego *Traktat o elektryczności i magnetyzmie* został opublikowany w 1873 roku, wkrótce po tym, jak został mianowany profesorem. Opracowanie niezawodnych technik eksperymentalnych do ustalania standardowych jednostek elektrycznych było potencjalnie znaczącą korzyścią dla krajowego przemysłu

telegraficznego, a także sposobem rozwijania umiejętności w zakresie precyzyjnych pomiarów. Magnetometr Brytyjskiego Stowarzyszenia został przeniesiony z Kew do Cavendish, a Maxwell postawił wszystkim swoim studentom zadanie wykorzystania go do pomiaru pola magnetycznego Ziemi jako ich pierwszego ćwiczenia eksperymentalnego. Lord Rayleigh, następca Maxwella, kontynuował nacisk Maxwella na precyzyjne pomiary. Jednak bardziej niż Maxwell, Rayleigh kładł nacisk na system i współpracę na dużą skalę. Arthur Schuster wspominał, jak Rayleigh pragnął „zidentyfikować laboratorium z pewnymi badaniami zaplanowanymi na szeroką skalę, aby wspólny interes mógł zjednoczyć wielu ludzi dzielących się pracą”. Kiedy Rayleigh przeszedł na emeryturę i wrócił do swojego prywatnego laboratorium w swojej wiejskiej posiadłości w Terling, jego następcą na stanowisku profesora Cavendish został J. J. Thomson. Thomson dorastał w laboratorium pod kierownictwem Rayleigha i był w pełni przesiąknięty jego etosem precyzyjnych pomiarów. Jego wizją tego, do czego służył Cavendish, było „miejsce, do którego ludzie, którzy ukończyli Mathematical Tripos, mogli przyjść i po krótkim szkoleniu w zakresie wykonywania dokładnych pomiarów rozpocząć część oryginalnych badań”. Laboratorium znacznie się rozrosło pod kierownictwem Thomsona. W 1895 roku zaczęto pozwalać absolwentom spoza Cambridge na wstęp jako studentom badawczym, a rok później otwarto nowe skrzydło, aby pomieścić rosnącą liczbę osób. Jako swój własny „element oryginalnych badań”, Thomson w latach 80. XIX wieku zwrócił swoją uwagę na zjawiska związane z lampami wyładowczymi, które Grove, Gassiot, Crookes i inni brytyjscy eksperymentatorzy badali wcześniej w tym stuleciu. Thomson wykorzystał eksperymentalne standardy precyzyjnych pomiarów, aby zbadać zjawiska wyładowań. Jego badania otrzymały nowy impuls dzięki odkryciu przez Wilhelma Röntgena nowego rodzaju promieniowania (którego obecnie nazywamy promieniami X) w 1895 roku. Rezultatem całej tej starannej pracy eksperymentalnej było ogłoszenie Thomsona w 1897 roku, że promienie katodowe rozwijające się w lampach wyładowczych w określonych warunkach są strumieniami korpuskuł niosących ujemny ładunek elektryczny — później nazwanych elektronami. Laboratoria finansowane przez uniwersytety i państwo nie były jedynymi nowymi przestrzeniami do eksperymentów, które pojawiły się w XIX wieku. Znaczenie nauki eksperymentalnej dla postępu przemysłowego było stałym refrenem przez cały okres. W Wielkiej Brytanii komentatorzy nawiązywali do roli, jaką eksperymenty Josepha Blacka nad ciepłem odegrały w rozwoju maszyny parowej. Argumenty dotyczące relacji między eksperymentem a przemysłem odegrały ważną rolę w dyskusjach na temat państwowego finansowania nauki laboratoryjnej we Francji i Niemczech, jak widzieliśmy. Różnego rodzaju prace laboratoryjne odegrały ważną rolę w nowym przemyśle elektrycznym i chemicznym. Inżynierowie elektrycy przeszkoleni w laboratorium byli potrzebni do utrzymania sieci telegraficznych, a instytucje takie jak Finsbury College w Londynie założyły laboratoria, aby zapewnić takie szkolenie. Firmy telegraficzne również założyły własne warsztaty eksperymentalne i testowe. Istniała wspólna kultura pomiaru między tymi zakładami przemysłowymi a akademickimi laboratoriami badawczymi, chociaż inżynierowie telegraficzni często byli bardziej zainteresowani opracowywaniem solidnego i niezawodnego sprzętu pomiarowego niż precyzją. Zaangażowanie laboratorium Cavendish w ustanawianie uniwersalnych norm elektrycznych było przykładem tej wspólnej kultury. Towarzystwo Inżynierów Telegraficznych (później Institution of Electrical Engineers) było kolejną wspólną przestrzenią. Inżynierowie elektrycy, tacy jak William Henry Preece, również ostro starli się z akademikami w kwestii autorytetu i tego, czy praktyczni ludzie, tacy jak on, byli lepiej przygotowani niż eksperymentatorzy laboratoryjni do zrozumienia obsługiwanego przez siebie sprzętu. W Stanach Zjednoczonych laboratorium Thomasa Alvy Edisona w Menlo Park stanowiło model nowego rodzaju laboratorium przemysłowego. Dominującym obrazem eksperymentatora w XIX-wiecznej Ameryce był niezależny, często samouk, praktyczny wynalazca. Taki wizerunek kultywował na przykład wynalazca telegrafu Samuel Morse (pomimo faktu, że jego wczesne eksperymenty były w dużej mierze finansowane przez Kongres Stanów Zjednoczonych). Thomas Edison był najbardziej udanym propagatorem tego indywidualistycznego poglądu na praktycznego eksperymentatora. W prasie

sławiono go jako Czarodzieja z Menlo Park. Oczywiście za kulisami badania eksperymentalne, które tam miały miejsce, wymagały współpracy na szeroką skalę. Menlo Park było laboratorium przemysłowym pod każdym względem. Laboratorium Edisona było linią produkcyjną wniosków patentowych. Jego rywale, tacy jak George Westinghouse, również uznali, że wielkoskalowa przemysłowa eksploatacja technologii elektrycznej wymaga systematycznych i zorganizowanych badań eksperymentalnych. To właśnie kryło się za mitem bohaterskiego indywidualnego wynalazcy. Edison mógł przedstawiać się jako samouk elektryk, ale wielu jego badaczy laboratoryjnych — takich jak Nikola Tesla — było przeszkolonych w dyscyplinie eksperymentu. Coraz częściej, na początku XX wieku, laboratoria przemysłowe, a nie akademickie, były miejscem, w którym większość produktów uniwersyteckich laboratoriów dydaktycznych kontynuowała swoją karierę. Przemysł chemiczny, który rozwinął się w drugiej połowie XIX wieku, stanowił kolejny obszar zainteresowania eksperymentów laboratoryjnych. Przez całą pierwszą połowę wieku chemicy konsultanci oferowali swoje usługi jako analitycy przemysłowcom i innym osobom, które chciały na przykład zidentyfikować konkretne substancje. Takie osoby opracowywały również nowe procesy chemiczne do celów przemysłowych i innych różnego rodzaju. Praca Michaela Faradaya w Royal Institution nad poprawą jakości szkła optycznego na zlecenie Board of Longitude była przykładem tego rodzaju pracy w laboratorium chemicznym, chociaż najprawdopodobniej była na większą skalę i wymagała więcej zasobów, niż większość konsultantów chemicznych miałaby do dyspozycji. Potencjał eksperymentów chemicznych dla przemysłu stał się jasny w 1856 r., kiedy William Perkin, młody student Royal College of Chemistry w Londynie, wynalazł pierwszy syntetyczny barwnik chemiczny — purpurę anilinową lub malwę. Barwnik był pochodną smoły węglowej, powszechnej substancji w wiktoriańskiej Brytanii. Co znamienne, Perkin nie próbował w rzeczywistości opracować nowego barwnika. Na sugestię swojego nauczyciela w College, niemieckiego chemika Augusta Wilhelma Hoffmana, próbował znaleźć sposób na syntezę leku przeciwmalarycznego, chininy. Perkin porzucił studia chemiczne, uzyskał patent i zaczął wykorzystywać swój wynalazek. W 1858 r. Perkin założył fabrykę chemiczną w Greenford, niedaleko Londynu, aby produkować swój sztuczny barwnik na skalę przemysłową. Przez następną dekadę lub coś koło tego rozwijał również szereg innych sztucznych barwników. Pod koniec lat 60. XIX wieku niemieckie laboratoria chemiczne stanowiły silną konkurencję. Niemiecki chemik Heinrich Caro zdobył doświadczenie w przemyśle barwników chemicznych, pracując w Anglii, zanim powrócił do pracy w laboratorium Roberta Bunsena w Heidelbergu. Wkrótce pracował dla przemysłowej firmy chemicznej Chemische Fabrik Dyckerhoff, Clemm, a następnie dla Badische Anilin und Soda Fabrik (BASF), opracowując nowe barwniki przemysłowe. Tam odegrał kluczową rolę w opracowaniu nowych rodzajów sztucznych barwników ze smoły węglowej w ich laboratoriach. Pod koniec lat 60. XIX wieku firma Perkinsa i BASF musiały podzielić europejski rynek sztucznych barwników między sobą. W Wielkiej Brytanii, Niemczech i Francji istniały ścisłe powiązania między chemią laboratoryjną akademicką i przemysłową. Laboratoria akademickie produkowały chemików, a laboratoria przemysłowe ich zatrudniały. Osoby takie jak Caro łatwo przemieszczały się między nimi. Dominacja Niemiec w dziedzinie chemii organicznej pod koniec XIX wieku znalazła odzwierciedlenie w ich dominacji w przemyśle chemicznym. Pod koniec XIX wieku zinstytucjonalizowane laboratoria, zarówno przemysłowe, jak i akademickie, były miejscami eksperymentów. Były to miejsca, w których dyscyplina miała znaczenie. Naukowcy, którzy w nich pracowali, przeszli przez rygorystyczne reżimy szkoleniowe, które zostały zaprojektowane, aby wpoić im wszystkie niezbędne umiejętności i postawy umysłowe, które były niezbędne do żmudnego biznesu precyzyjnych eksperymentów. Dyscyplina miała znaczenie w tych laboratoriach, ponieważ była uważana za najlepszy sposób osiągnięcia celu, jakim było uczynienie skrupulatnego porządku natury zarówno widocznym, jak i użytecznym. James Clerk Maxwell wyraził to najlepiej: „te aspiracje po dokładności pomiaru, prawdzie w stwierdzeniu i sprawiedliwości w działaniu, które uważamy za nasze najszlachetniejsze atrybuty jako ludzi, są nasze, ponieważ są istotnymi składnikami obrazu Tego, który na początku stworzył nie tylko niebo i ziemię,

ale także materiały, z których niebo i ziemia się składają”. Dyscyplina w laboratorium odzwierciedlała dyscyplinę Stworzenia. Podstawowe materialne składniki wszechświata miały charakter „wytworzonych przemysłowych”, według Maxwella. Z tej perspektywy nie było zaskoczeniem, że dyscyplina laboratoryjna musiała zrozumieć i wykazać, że wytworzone cechy okazały się przydatne również w procesach przemysłowych.

### **Wielka nauka**

Na początku XX wieku nauka laboratoryjna zajęła dominującą pozycję kulturową. Pojawił się nowy rodzaj kultury laboratoryjnej, który przecinał świąty uniwersytetu, państwowej biurokracji i przemysłu. Dyscypliny i praktyki precyzyjnych pomiarów, których nowoczesne laboratoria potrzebowały i wpajały swoim badaczom, były powszechnie rozumiane jako niezbędne warunki naukowego, politycznego i komercyjnego postępu. Personel laboratoryjny przemieszczał się tam i z powrotem między uniwersytetami, laboratoriami finansowanymi przez państwo i miejscami pracy w przemyśle. Fizyk i filozof Pierre Duhem narzekał pod koniec XIX wieku na sposób, w jaki Brytyjcy fizycy, w szczególności (recenzował *Modern Views of Electricity* Olivera Lodge'a, opublikowaną w 1889 r.), wydawali się postrzegać wszechświat jako fabrykę, a nie jako „spokojną i uporządkowaną siedzibę rozumu”. Ale nie tylko w Wielkiej Brytanii nawiązano to powiązanie między kulturą laboratoryjną a przemysłem. Francuscy i niemieccy eksperymetatorzy laboratoryjni byli z pewnością równie oddani podtrzymywaniu tej relacji. Kultura eksperymentu na początku XX wieku kręciła się wokół widoczności i użyteczności. Badacze byli coraz bardziej mobilni, przemieszczali się między laboratoriami, instytucjami, a nawet krajami, niosąc ze sobą swoje umiejętności i wizje dotyczące organizacji natury — a zatem również tego, jak powinny być zorganizowane laboratoria. Eksperymetatorzy na początku nowego wieku mieli wszelkie powody, by przypuszczać, że stoją u progu nowej ery odkryć, która zmieni ich rozumienie wszechświata. Z pewnością wielu eksperymetatorów uważało, że podstawowe prawa rządzące działaniem natury są dobrze znane. Oliver Lodge na przykład zasugerował, że istnienie eteru świetlnego jest równie dobrze ugruntowane, jak istnienie materii. „Osoby zajmujące się innymi dziedzinami nauki lub filozofii, lub literaturą, a zatem niebędące na bieżąco z naukami fizycznymi”, zasugerował, „mogą być prawdopodobnie zaskoczone widząc intymny sposób, w jaki fizycy mówią teraz o eterze i pewność, z jaką przeprowadzają na nim eksperymenty”. Niemniej jednak ci sami eksperymetatorzy uważali, że ich eksperymenty do tej pory ledwie musnęły powierzchnię rzeczywistości i że cały legion spektakularnych zjawisk pozostał do odkrycia. Eksperymenty takie jak te przeprowadzone przez Williama Crookesa z lampami wyładowczymi lub odkrycie fal elektromagnetycznych przez Heinricha Hertza, zdawały się badać granice rzeczywistości. Było wiele spekulacji na temat tego, jakie inne sekrety może ujawnić eter. Nowe urządzenia i nowe umiejętności, opracowane częściowo w odpowiedzi na wymagania przemysłu, dostarczyły potężnego zestawu narzędzi do dalszych badań. Odkrycie promieni X przez niemieckiego fizyka Wilhelma Roentgena w 1895 roku jest często celebrowane jako przykład odkrycia serendypitalnego. W rzeczywistości nie było w tym nic nadzwyczajnego. Rodzaj aparatury, której Roentgen użył do swojego odkrycia — cewki indukcyjne, lampy wyładowcze i różnorodne urządzenia do wykrywania i manipulowania wszelkimi dziwnymi emanacjami, które z nich się wydobywały — były powszechne w europejskich laboratoriach w latach 90. XIX wieku. Roentgen również całkiem świadomie szukał dziwnych i niezwykłych zjawisk w przestrzeni otaczającej jego lampę wyładowczą. Jeśli to, co znalazł, nie było dokładnie tym, czego szukał, z pewnością szukał czegoś. Niemniej jednak, po odkryciu tych dziwnych nowych promieni i zauważeniu ich zdolności do przechodzenia przez ciała stałe, a nawet zrobieniu zdjęcia szkieletowej ręki swojej żony z nimi, Roentgen wyraźnie zrozumiał, że odkrył coś nowego i znaczącego. Pośpieszył do druku tuż przed Bożym Narodzeniem i wysłał egzemplarze publikacji czołowym fizykom w całej Europie, aby upewnić się, że jego roszczenie do odkrycia zostanie uznane. Szybkość, z jaką innym udało się powtórzyć jego eksperymenty, jest kolejnym dowodem na to, jak szeroko rozpowszechnione były

aparaty i jak umiejętnie były ich obsługiwane pod koniec XIX wieku. Niesamowite odkrycie Roentgena skłoniło innych fizyków nie tylko do powtórzenia jego eksperymentu, ale także do zbadania pochodzenia dziwnego zjawiska. Francuski fizyk Antoine Henri Becquerel podejrzewał, że tajemnicze promienie odkryte przez Roentgena mogą być w jakiś sposób powiązane z fosforescencją wytwarzaną w lampie wyładowczej przez przepływ prądu. Wyruszył do swojego laboratorium w École Polytechnique w Paryżu, aby zbadać, czy te promienie rentgenowskie można znaleźć w innych źródłach fosforescencji po wystawieniu na działanie światła słonecznego. W ten sposób kontynuował rodzinną tradycję, ponieważ jego ojciec, Alexander Edmond Becquerel, który był przed nim profesorem w École Polytechnique, również interesował się związkiem między fosforescencją a promieniowaniem słonecznym. Becquerel odziedziczył również zapas soli uranowych po ojcu i używał ich do swoich eksperymentów. Wkrótce odkrył, że sole te wydają się wytwarzać pewnego rodzaju promieniowanie, które powoduje, że płyta fotograficzna staje się zamglona i że promieniowanie to utrzymuje się nawet przy braku światła słonecznego. Becquerel ostatecznie doszedł do wniosku, że sole uranowe same w sobie muszą być źródłem promieniowania. Odkrył, że te tajemnicze promienie mogą jonizować gazy i że w przeciwieństwie do promieni rentgenowskich Roentgena, są one odchylane zarówno przez pola elektryczne, jak i magnetyczne. Badania Becquerela nad tą dziwną nową formą promieniowania zostały rozszerzone kilka lat później przez Marię Skłodowską (teraz lepiej znaną pod nazwiskiem po mężu Marie Curie). Maria Curie postanowiła w pierwszej kolejności zbadać jonizujący wpływ nowego promieniowania, używając czułego aparatu pomiarowego opracowanego przez jej męża, Pierre'a. Jej badania wymagały znacznych ilości uranu, który pozyskała w postaci blendy smolistej. Stało się jasne, że uran wytwarzał więcej promieniowania, niż można by się spodziewać po ilości zawartego w nim uranu. Po wielu brudnych pracach związanych z przetwarzaniem ogromnej objętości uranowca potrzebnego do tego zadania, małżeństwo Curie ogłosiło odkrycie dwóch nowych pierwiastków radioaktywnych — polonu i radu — w 1898 roku. Ich praca obejmowała przetwarzanie uranowca na skalę przemysłową w celu wytworzenia nawet najmniejszych próbek nowych pierwiastków. Badania Curie nad radioaktywnością stanowią kolejną ilustrację symbiozy między precyzyjną fizyką a produkcją przemysłową na początku XX wieku. Zależało to od niezwykle czułego elektrycznego aparatu pomiarowego, który Pierre opracował wraz ze swoim bratem, Jacques'em Curie. Wymagało również zastosowania przemysłowych metod rafinacji i oddzielania źródeł radioaktywności. Rad w szczególności szybko stał się rzadkim i cennym towarem, a dyrektorzy laboratoriów, tacy jak Maria Curie, zaciekle chronili swoje zasoby. Tylko eksperymetatorzy, których laboratoria miały dostęp do odpowiedniego rodzaju zasobów, mogli badać zjawiska radioaktywności. Pod tym względem nowozelandzki naukowiec Ernest Rutherford, który niedawno został mianowany w 1898 r. profesorem fizyki na Uniwersytecie McGill w Montrealu w Kanadzie, miał szczególne szczęście. Kilka lat przed mianowaniem Rutherforda baron tytoniowy William MacDonal przekazał pieniądze na sfinansowanie i wyposażenie laboratorium fizycznego na Uniwersytecie McGill, a to właśnie to finansowanie miało umożliwić pionierskie eksperymenty Rutherforda nad radioaktywnością. W dobrze wyposażonym laboratorium McGilla Rutherford i jego asystent Frederick Soddy przeprowadzili eksperymenty nad pozornym pochodzeniem radioaktywności wewnątrz atomu, rozwijając koncepcję radioaktywnego okresu półtrwania i sugerując, że pierwiastki przekształcają się w inne pierwiastki, gdy emitują swoje promieniowanie. Wykorzystując techniki, których nauczył się podczas pracy z J. J. Thomsonem w Cambridge, Rutherfordowi udało się ustalić, że istnieje więcej niż jeden rodzaj promieniowania: promienie alfa, które działają jak strumienie dodatnio naładowanych atomów helu i promienie beta, które wydają się być strumieniami niedawno odkrytych przez Thomsona elektronów. Kiedy Rutherford przeprowadził się do Manchesteru w 1907 r., zabrał ze sobą swoje badania radioaktywne. W Manchesterze, dzięki darowiźnie radu z Wiednia, Rutherford skupił swoją uwagę na promieniach alfa, mając nadzieję wykorzystać je jako sondy do badania właściwości atomu. Eksperymenty Rutherforda i innych nad właściwościami radioaktywności opierały się na tradycji umiejętnej praktyki w

uwidacznianiu i namacalności zjawisk liminalnych i ulotnych wytwarzanych w lampach wyładowczych, która sięgała pół wieku i więcej do eksperymentów takich jak kaskada Gassiot w latach 50. XIX wieku. Znajdowanie sposobów uwidaczniania promieniowania pozostało w centrum eksperymentów z początku XX wieku. Jednym z kolegów Rutherforda w Manchesterze był Hans Geiger. Geiger współpracował z nim przy opracowywaniu różnych sposobów wykrywania i rejestrowania obecności radioaktywności. Jeden z instrumentów elektrycznych opracowanych przez Geigera działał poprzez rejestrowanie jonizacji spowodowanej przez pojedyncze cząstki alfa za pomocą elektrometru. Później rozwinął się on w to, co jest obecnie znane jako licznik Geigera. Bardziej przydatna w eksperymentach Rutherforda była technika zliczania scyntylacji, które pojedyncze cząstki alfa tworzyły na ekranie fluorescencyjnym. Zliczanie scyntylacji było żmudnym zadaniem, wymagającym wysokiego stopnia dyscypliny. To właśnie te technologie doprowadziły Rutherforda do obserwacji, że cząstki alfa wystrzeliwane w cienką folię były czasami odchylane od swojej ścieżki nawet o 90° i ostatecznie doprowadziły do jego nowego modelu struktury atomu jako gęstego jądra, wokół którego krążyły elektrony. Inni eksperymentatorzy opracowali różne techniki i instrumenty, aby uczynić promieniowanie widocznym. Charles Wilson, współpracując z Thomsonem w Cavendish, opracował komorę mgłową, która uczyniła ścieżki poszczególnych cząstek promieniowania widocznymi poprzez ślady kondensacji, które tworzyły one poprzez jonizację wilgotnego powietrza. Badania nad radioaktywnością, podobnie jak badania nad promieniami rentgenowskimi, wymagały zebrania w jednym laboratorium szerokiego zakresu umiejętności i dyscyplin eksperymentalnych, a także dostępu do odpowiednich materiałów. Jednym z kluczowych czynników sukcesu laboratorium Rutherforda w Manchesterze była jego zdolność do zgromadzenia wszystkich tych zasobów i zebrania ich w jednym miejscu. Praca w laboratorium zależała od umiejętności dmuchania szkła Otto Baumbacha, dmuchacza szkła uniwersyteckiego, który kilka lat wcześniej wyemigrował z Niemiec do Manchesteru, oraz doświadczenia eksperymentalnego spektroskopisty Thomasa Roydsa. Reputacja Rutherforda jako eksperymentatora przyciągnęła badaczy z całej Europy i Ameryki Północnej, którzy przyjeżdżali i pracowali z nim w Manchesterze, rozwijając własne umiejętności eksperymentalne i zabierając ze sobą nowo zdobytą wiedzę specjalistyczną do własnych laboratoriów. Na przykład Geiger wrócił do Niemiec w 1912 r., aby pracować w Physikalisch-Technische Reichsanstalt w Berlinie. Royds również pracował w Niemczech przez kilka lat, od 1909 do 1911 r., wykonując prace spektroskopowe w Tybindze i Berlinie. Następnie przeniósł się do Indii, aby zostać zastępcą dyrektora Obserwatorium Fizyki Słonecznej Kodaikanal. Często w ten sposób przemieszczały się umiejętności eksperymentalne i wiedza specjalistyczna, które były potrzebne do nowej fizyki. Przenosiły się wraz z ludźmi, którzy je posiadali. Podobnie jak praca eksperymentalna z radioaktywnością i promieniami X polegała na łączeniu wielu różnych dyscyplin, miała również wpływ wykraczający poza fizykę eksperymentalną. Na przykład w 1912 roku niemiecki fizyk Arnold Sommerfeld przeprowadził kilka interesujących eksperymentów, w których promienie X przechodzące przez kryształy wytwarzały regularny wzór plamek na płycie fotograficznej. Zostały one zinterpretowane jako wzory dyfrakcyjne i dalszy dowód na to, że promienie X są rzeczywiście formą promieniowania elektromagnetycznego, podobnie jak światło. William Bragg, niedawno mianowany profesorem fizyki Cavendisha w Leeds, wraz ze swoim synem, Williamem Lawrence'em Braggiem, uznali, że oznacza to, że promienie X mogą stać się potężnym narzędziem do badania struktury kryształu. Kilka dekad później, gdy Bragg junior sam był profesorem Cavendisha w Cambridge, techniki i instrumenty, w których opracowaniu odegrali kluczową rolę, odegrały istotną rolę w odkryciu helisy DNA przez Francisa Cricka i Jamesa Watsona. Ich odkrycie zależało od ostrożnych i drobiazgowych eksperymentów w krystalografii rentgenowskiej, które przeprowadziła Rosalind Franklin w King's College London. Krystalograf J. D. Bernal, do którego laboratorium w Birkbeck College Franklin przeniosła się kilka lat później, opisał jej zdjęcia helisy DNA jako „jedne z najpiękniejszych zdjęć rentgenowskich jakiegokolwiek substancji, jakie kiedykolwiek zrobiono”. Sukces tych pionierów w dziedzinie radioaktywności eksperymentalnej zależał w dużej mierze od ich zdolności do poruszania się

tam i z powrotem między światem laboratorium a przemysłem — w celu pozyskiwania sojuszników i zabezpieczania zasobów. Ta sama elastyczność była również kluczowa dla sukcesu innych przedsięwzięć eksperymentalnych, ponieważ eksperymentatorzy pracowali nad przeniesieniem swoich eksperymentów w świat i przekształceniem ich w niezawodne technologie. Kiedy Guglielmo Marconi przybył do Wielkiej Brytanii w 1896 roku, wiedział, że zademonstrowanie swojego telegrafu bezprzewodowego w warunkach laboratoryjnych nie wystarczy, aby przekonać potencjalnych sponsorów. Potrzebowali praktycznej demonstracji, zanim byli gotowi otworzyć swoje portfele. Marconi przybył do kraju z listami polecającymi do wpływowego Williama Henry'ego Preece'a, głównego inżyniera poczty i kierownika telegrafów. Dzięki patronatowi Preece'a zorganizował serię spektakularnych pokazów telegrafii bezprzewodowej, które osiągnęły punkt kulminacyjny wiosną 1897 roku, kiedy to przeprowadzono udaną transmisję między Lavernock Point, niedaleko Cardiff, a wyspą Flat Holm w kanale Bristolskim. Eksperyment z Flat Holm prawie się nie powiódł. Sygnał został wykryty dopiero, gdy urządzenie przeniesiono ze szczytu klifu na plażę, dodając przy tym dwadzieścia metrów do anteny. Jak powiedział inny pionier technologii bezprzewodowej, J. J. Fahie: „Rezultat, magia!” Przyrządy, które przez dwa dni nie rejestrowały niczego zrozumiałego, teraz wybijały sygnały wyraźnie i nieomylnie, a wszystko to dzięki dodaniu kilku metrów drutu! Sukces Marconiego w Flat Holm zależał od umiejętności dostosowania aparatury laboratoryjnej do świata poza laboratorium, który był trudny do kontrolowania i manipulowania w taki sam sposób, jak przestrzeń wewnątrz. Podobnego rodzaju wyzwanie stanęło przed chemikami opracowującymi broń chemiczną podczas I wojny światowej. Kiedy wybuchła wojna w 1914 roku, chemicy tacy jak Niemiec Fritz Haber mieli już za sobą udane kariery, przemieszczając się tam i z powrotem między laboratoriami akademickimi i przemysłowymi. Haber zyskał sławę jako wynalazca nowego procesu syntezy amoniaku, który wymagał dokładnie takiego skalowania z laboratorium do reżimu przemysłowego, które okazałoby się niezbędne w stosowaniu chemii w wojnie. Na początku wojny Haber był szefem Instytutu Chemii Fizycznej i Elektrochemii Cesarza Wilhelma. Tam był w dobrej pozycji, aby promować badania, które doprowadziły do pierwszego użycia gazu chlorowego na froncie zachodnim w kwietniu 1915 r. Chemicy w Wielkiej Brytanii, Francji i Stanach Zjednoczonych byli podobnie mocno zaangażowani w produkcję broni chemicznej na własne potrzeby. Naukowcy, tacy jak szkocki fizjolog John Scott Haldane, który przeprowadził własne prace eksperymentalne nad wpływem oddychania różnymi gazami na fizjologię człowieka, opracowali techniki i technologie, takie jak maski gazowe, aby złagodzić skutki broni chemicznej. Broń chemiczna była często promowana przez jej zwolenników jako czystszy, bardziej wydajny i naukowy sposób prowadzenia wojny. Przez całą I wojnę światową chemicy i inni eksperymentatorzy odgrywali ważną rolę w opracowywaniu i wdrażaniu nowych technologii na potrzeby wojny. W ten sposób kultywowali nowe rodzaje połączeń między kulturą eksperymentalną laboratorium akademickiego a światem przemysłu i wojska. Podobne połączenia zostały nawiązane podczas II wojny światowej. Wynalezienie radaru stanowi dobry przykład tych interakcji. Komitet ds. Badań Naukowych nad Obroną Powietrzną zrzucił eksperymentatorów z różnych dyscyplin, a także oficerów sił powietrznych. Zaadaptowali oni aparaturę z rozwijającego się przemysłu bezprzewodowego, aby przeprowadzić eksperymenty terenowe na dużą skalę, aby ocenić możliwość wykrywania samolotów poprzez wykrywanie odbitych od nich fal radiowych. W lutym 1935 roku szkocki meteorolog Robert Watson-Watt przeprowadził kluczowy eksperyment, używając nadajnika radiowego BBC, który skutecznie wykrył samoloty lecące osiem mil dalej. Do 1937 roku eksperymentalne układy wykrywania radiowego mogły wykrywać samoloty z odległości nawet stu mil. Przekształcenie tych eksperymentalnych układów w solidne i niezawodne systemy wymagało ogromnej mobilizacji personelu i zasobów. Laboratoria takie jak Telecommunications Research Establishment zatrudniały tysiące pracowników. Kluczowe dla ich sukcesu było zorganizowanie dużej liczby eksperymentatorów pracujących razem w zespołach w celu osiągnięcia określonych celów badawczych. Podobna masowa mobilizacja zasobów okazała się niezbędna do odkrycia i wdrożenia



penicyliny, pomimo powszechnego przekonania, że był to wynik indywidualnego geniuszu i szczęśliwego zbiegu okoliczności. Obserwacja pleśni w szalce Petriego przez Alexandra Fleminga w sierpniu 1828 r. stanowiła tylko małą część historii. Minęło dziesięć lat, zanim dwaj eksperymentatorzy z Dunn School of Pathology na Uniwersytecie Oksfordzkim — Ernst Chain i Howard Florey — podjęli badania Fleminga i zaczęli szukać sposobów na produkcję pleśni *Penicillium* na wystarczająco dużej skale, aby była ona terapeutycznie przydatna. Wskazówką, jak trudne było to do osiągnięcia, jest fakt, że pierwszy pacjent leczony penicyliną zmarł, ponieważ zapasy, którymi dysponowali Chain i Florey, wyczerpały się przed zakończeniem leczenia. To właśnie w ramach wysiłku wojennego zmobilizowano zasoby na wystarczająco dużą skalę, aby produkować penicylinę na skalę przemysłową. Większość produkcji miała miejsce w Stanach Zjednoczonych, ponieważ brytyjskie firmy farmaceutyczne były już w pełni zaangażowane w inne działania wojenne. Podobnie jak w przypadku innowacji wojennych, takich jak radar, przeniesienie penicyliny z laboratorium do praktyki terenowej było złożonym procesem, który zależał od zdyscyplinowanego podziału pracy eksperymentalnej i zasobów przemysłowych. Najbardziej znaną wojenną masową mobilizacją pracowników laboratoriów był oczywiście Projekt Manhattan, mający na celu zbudowanie bomby atomowej. Projekt ten miał swoje początki w liście wysłanym w sierpniu 1939 r. przez Alberta Einsteina do ówczesnego prezydenta Stanów Zjednoczonych Franklina D. Roosevelta, ostrzegającym go przed możliwością nie tylko tego, że bomba atomowa jest teoretycznie i technicznie wykonalna, ale że Niemcy są już w trakcie jej produkcji. Chociaż list podpisał Einstein, został w dużej mierze napisany przez Leo Szilarda, węgierskiego fizyka emigracyjnego z Uniwersytetu Columbia w Nowym Jorku. Szilard, wraz ze swoim kolegą z Uniwersytetu Columbia, włoskim fizykiem Enrico Fermim, odegrał ważną rolę w badaniu możliwości wytworzenia reakcji łańcuchowej, która mogłaby uwolnić ogromne ilości energii z atomu. Teoretyczną możliwość rozszczepienia jądra atomowego (rozszczepienie atomu uwalniające energię podczas tego procesu) zbadali austriacka fizyczka Lise Meitner i jej współpracownik i siostrzeniec Otto Frisch. Do 1939 r. wielu eksperymentatorów wytworzyło rozszczepienie w swoich laboratoriach. Eksperymentatorzy tacy jak Szilard i Fermi szybko zdali sobie sprawę, że istnieją warunki, w których rozszczepienie będzie trwało w nieskończoność. Gdyby pozwolono takiemu procesowi trwać niekontrolowanie, wynikiem byłaby eksplozja na dotychczas niewyobrażalną skalę. To właśnie skłoniło Einsteina do napisania listu. Sława Einsteina sprawiła, że list został potraktowany poważnie. Rezultatem była mobilizacja i organizacja zasobów eksperymentalnych, w odniesieniu do ludzi, przestrzeni i materiałów, zupełnie bez precedensu. W 1942 roku Roosevelt powołał generała armii USA Leslieego Grovesa, który pełnił funkcję zastępcy szefa budowy Korpusu Inżynierów, na stanowisko kierownika niewinnie nazwanego Manhattan Engineer District. Jako inżynier z dużym doświadczeniem w prowadzeniu dużych projektów Groves połączył rodzaje umiejętności menedżerskich i technicznych, których projekt potrzebował. Pod jego nadzorem różne elementy projektu bomby atomowej zaczęły się składać w całość. Pod koniec roku Enrico Fermi i jego zespół eksperymentatorów z University of Chicago odnieśli sukces w osiągnięciu samowystarczalnej reakcji łańcuchowej. Kilka miesięcy później rozpoczęto przemysłowe oddzielanie wymaganego izotopu uranu ( $^{235}\text{U}$ ) w Oak Ridge w Tennessee. Groves scentralizował również wysoce delikatną pracę eksperymentalną nad rozwojem szybkiego rozszczepienia w jednym laboratorium pod kierownictwem fizyka Roberta Oppenheimera. Laboratorium znajdowało się w Los Alamos w Nowym Meksyku. Tam Oppenheimer wkrótce został odpowiedzialny za koordynację pracy eksperymentalnej około stu badaczy, którzy pracowali nad przekształceniem eksperymentalnego stosu zbudowanego w Chicago w praktyczną broń. Była to fizyka laboratoryjna na naprawdę ogromną skalę. Głównymi zadaniami w Los Alamos było ustalenie mas krytycznych plutonu i uranu potrzebnych do wytworzenia niezawodnej i szybkiej reakcji łańcuchowej oraz znalezienie sposobów na połączenie tej masy krytycznej materiału wystarczająco szybko, aby skutkowało to niezawodną eksplozją, a nie wilgotnym wybuchem. Okazało się, że są to niezwykle złożone kwestie. Wystąpiły na przykład trudności z czystością plutonu produkowanego w Oak Ridge. Wydawało się, że ma on inne właściwości niż

niewielkie ilości produkowane w laboratorium i ostatecznie ustalono, że zawiera dwa różne izotopy metalu. Oznaczało to, że wczesne plany udanej detonacji musiały zostać porzucone. Kolejnym wyzwaniem było przekształcenie całej pracy wykonanej w Los Alamos na początku lat 40. w praktyczną bombę, a nie w skomplikowany eksperymentalny aparat. Nawet po niesamowitym widowisku udanej detonacji pierwszej bomby atomowej na poligonie Trinity 16 lipca 1945 r. praca eksperymentalna nie była zakończona („Stałem się Śmiercią, tym, który rozbija światy”, Oppenheimer wspominał później, że myślał). Oppenheimer i jego zespół traktowali samą detonację jako jeden wielki eksperyment i teraz przystąpili do interpretacji wyników, aby sprawdzić, czy detonacja potwierdziła ich oczekiwania. W pewnym sensie tak nie było, wytwarzając więcej promieniowania i większą eksplozję, niż przewidywali. Ale oprócz dostarczenia bomby atomowej, Projekt Manhattan dostarczył również nowy model współpracy laboratoryjnej na ogromną skalę i pokazał, co może osiągnąć fizyka eksperymentalna na skalę przemysłową. Transformacja, która miała miejsce w samej skali kultury eksperymentalnej, staje się szczególnie wyraźna w przypadku fizyki atomowej. Aparat, którego J. J. Thomson użył w eksperymentach, które doprowadziły do identyfikacji elektronu, zmieściłby się wygodnie na blacie stołu. To samo można powiedzieć o aparacie, którego fizyk z Cambridge, James Chadwick, użył do eksperymentów, które doprowadziły do odkrycia neutronu w 1932 roku. W rzeczywistości kluczowy element aparatury w eksperymencie Chadwicka miał zaledwie sześć cali długości. Ale nawet w 1932 roku niektóre eksperymenty z fizyki atomowej wymagały znacznie więcej miejsca. Akcelerator cząstek, którego John Ockcroft i Ernest Walton użyli w laboratorium Cavendish w tym samym roku do rozszczepienia atomu, miał wielkość małego pokoju. Kiedy Enrico Fermi w 1942 roku po raz pierwszy udało się przeprowadzić kontrolowaną reakcję łańcuchową, wykorzystał kort do squasha w piwnicy pod stadionem piłkarskim Uniwersytetu Chicagowskiego jako laboratorium. Synchronocyklotron, który Fermi zbudował jako szef Instytutu Studiów Jądrowych w Chicago w 1951 roku, miał wielkość małego budynku. Przeprowadzenie eksperymentu w fizyce jądrowej nie było już czymś, co mogła wykonać pojedyncza osoba lub garstka osób. Wymagało współpracy dziesiątek, jeśli nie setek eksperymentatorów. Eksperymenty na taką skalę były, jak widać, niezwykle kosztowne. Była to kultura eksperymentalna, która wymagała zasobów państwa — lub nawet kilku państw — aby mogła istnieć. W 1952 r. Komisja Energii Atomowej (następczyni Projektu Manhattan) sfinansowała budowę Cosmotronu w Brookhaven Laboratory w Nowym Jorku. Aby nie być gorszym, Związek Radziecki zlecił budowę synchrotronu w Dubnej, niedaleko Moskwy, ukończonego w 1956 r. i zdolnego do osiągnięcia energii do 10 GeV, w porównaniu do 3,3 GeV w Brookhaven. W 1952 r. utworzono Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) z dwunastoma współpracującymi państwami członkowskimi (Belgia, Dania, Republika Federalna Niemiec, Francja, Grecja, Włochy, Holandia, Norwegia, Szwecja, Szwajcaria, Wielka Brytania i Jugosławia). Pierwszy akcelerator cząstek zbudowano w pobliżu Genewy w 1954 roku. W latach 60. i 70. XX wieku wielkość tego typu obiektów eksperymentalnych mierzono w kilometrach, a wytwarzane przez nie energie w setkach GeV. Kiedy akcelerator cząstek w Fermi National Accelerator Laboratory (FermiLab) w pobliżu Chicago został ukończony w 1972 roku, generował energie do 200 GeV, a w połowie lat 70. rutynowo działał przy energiach 400 GeV. Ogromne inwestycje w zasoby kadrowe i materialne reprezentowane przez CERN lub FermiLab znajdowały się na skrajnym krańcu spektrum kultury eksperymentalnej w ostatnich dekadach XX wieku. Nie oznacza to jednak, że te miejsca były całkowicie niereprezentatywne. Eksperymenty w tych gigantycznych laboratoriach były zarówno wysoce wyspecjalizowane, jak i multidyscyplinarne. Z pewnością żadna osoba, a często żadna pojedyncza dyscyplina lub poddyscyplina nie posiadała już zakresu umiejętności i wiedzy potrzebnej do pomyślnego zakończenia eksperymentów. Opracowywanie najnowocześniejszych obiektów eksperymentalnych było kwestią intensywnej międzynarodowej konkurencji (jak w przypadku wyścigu o budowę coraz potężniejszych akceleratorów cząstek między Ameryką a Związkiem Radzieckim), często napędzanej finansowaniem wojskowym i państwowym. Jednocześnie duże projekty eksperymentalne wymagały znacznie większej współpracy

międzynarodowej i przemieszczania eksperymentatorów z laboratorium do laboratorium. Jak widzieliśmy na przykładzie eksperymentów z radioaktywnością z początku XX wieku, w ten sposób umiejętności i wiedza wędrowały również między osobami i instytucjami. Najlepszym sposobem, aby nauczyć się, jak wytwarzać nowy rodzaj lasera lub nadprzewodnika, było spędzenie czasu w instytucji, która pierwotnie udoskonaliła technologię, lub z kimś innym, kto już to zrobił. Do umiejętności manipulowania złożonymi instrumentami, udany eksperymentator musiał dodać umiejętność manipulowania ludźmi i instytucjami. Jest absolutnie jasne, że kultura eksperymentalna uległa głębokiej transformacji w ciągu ostatnich dwóch stuleci. Trudno sobie wyobrazić, co, jeśli cokolwiek, eksperymentator taki jak Michael Faraday uznałby za znajome, gdyby został przetransportowany wygodnym TARDIS do laboratorium XXI wieku. Jest całkiem prawdopodobne, że w ogóle nie rozpoznałby dziwnej przestrzeni, w której się znalazł jako laboratorium. Z pewnością nie zawierałaby ona żadnych eksperymentalnych akcesoriów, które ktoś taki jak Faraday kojarzyłby z życiem laboratoryjnym. Pomimo tej transformacji nadal możemy zidentyfikować ważne ciągłości w eksperymencie w całym okresie. Wiele praktyk eksperymentalnych obecnie, tak jak było za czasów Faradaya, jest poświęconych znajdowaniu nowych sposobów uczynienia natury widoczną. Eksperymentatorzy nadal poszukują nowych sposobów uczynienia tego, co niewidzialne, nieuchwytnie, ulotne, widoczne i niezawodne. Pod wieloma względami eksperymenty nadal są ukierunkowane na generowanie widowisk. Eksperymentatorzy chcą widzieć — i chcą, aby ich publiczność widziała — naturę. Obserwując współczesnego eksperymentatora przy pracy, Faraday może nie od razu rozpoznać, co robi, ale z pewnością doceniłby fakt, że obserwuje wysoce wykwalifikowanego manipulatora. Teraz, tak jak dwa wieki temu, eksperymentatorzy muszą być skrupulatni i pracowici. Muszą również pielęgnować dogłębne zrozumienie tego, jak działa ich aparat i jego osobliwości. Laboratoria są tylko jedną częścią kultury eksperymentalnej — choć często najbardziej widoczną i znaczącą częścią. Laboratorium Royal Institution na początku XIX wieku zależało od swojego sukcesu dzięki szerszej sieci warsztatów i wytwórców instrumentów. Davy i Faraday mogą być najbardziej widocznymi wykonawcami eksperymentów, ale zależeli całkowicie od ukrytej pracy wielu innych osób, które wytwarzały szkło, drut zwinięty lub wytwarzały kwasy do baterii ogniw galwanicznych. Eksperymenty zawsze były wieloautorskie, nawet jeśli na stronie tytułowej widniało tylko jedno nazwisko. Jest to jeszcze bardziej prawdziwe teraz niż dwa wieki temu. Mimo to nasz pogląd na autorytet eksperymentu (i nauki w ogóle) pozostaje tak samo uparcie indywidualistyczny, jak zawsze. Na przykład, zidentyfikowanie bozonu Higgsa w CERN w 2013 r. mogło wymagać zaangażowania setek, jeśli nie tysięcy, eksperymentatorów i techników, ale ta nieuchwytna cząstka niemal na pewno pozostanie kojarzona tylko z jednym nazwiskiem — Peterem Higglesem, który jako pierwszy w 1964 r. postawił hipotezę istnienia tej cząstki. Autorytet eksperymentu jako sposobu niezawodnego odkrywania i prezentowania natury wydaje się nierozdzielnie związany z tą ideą indywidualnego autorstwa. Niemniej jednak jasne jest, że pozycja, jaką eksperyment zajmuje we współczesnej kulturze, jest osiągnięciem zbiorowym. Życie eksperymentalne wymaga czegoś więcej niż białego fartucha (bardzo niedawny wynalazek — Faraday prawdopodobnie nosił surduta w laboratorium) i stołu laboratoryjnego. Prowadzenie nowoczesnego laboratorium wymaga personelu administratorów i techników, a także samych eksperymentatorów. Budżety muszą być zarządzane, a sprzęt wytwarzany i naprawiany. Ci operatorzy zaplecza zazwyczaj pozostają niewidoczni, ale bez nich nie byłoby kultury eksperymentalnej. Poza granicami samych laboratoriów kultury eksperymentalne zależą również od szerszych sieci nowoczesnej kultury przemysłowej. Podobnie jak fabryki produkujące towary, laboratoria potrzebują surowców, z tym wyjątkiem, że towarem, który produkują laboratoria, jest sama wiedza. Laboratorium, jako wyjątkowa przestrzeń do wytwarzania wiedzy, jest bardzo nowoczesnym wynalazkiem i jego sukcesy zależą od ukrytych armii pracowników. Możemy myśleć o eksperymencie jako o występie solowym, ale historia pokazuje, że bardziej przypomina on występ rozrywkowy.

## Odkrywanie natury

GDY ludzie opowiadają historie o rewolucji naukowej, często używają języka podróży i eksploracji. Opisujemy podróże odkrywcze, które odbywały się w postaciach takich jak Galileusz i Harvey, gdy napotykały nowości w przestrzeni wewnętrznej i zewnętrznej, mówimy o dążeniu do zrozumienia ruchu planet rozpoczętym przez Kopernika i zakończonym triumfalnie przez Newtona, i omawiamy trudności napotkane w podróżach z dala od przesądów i dążeniu do racjonalnego sposobu definiowania i eksploracji świata przyrody. Te opisy można po prostu odrzucić jako barwne metafory — ale oczywiście można je również traktować dosłownie. Era powszechnie kojarzona z okresem rewolucji naukowej jest również początkiem europejskiej ery eksploracji i odkryć: od połowy XVI wieku do końca XVIII wieku rodzące się państwa narodowe i domy handlowe rozpoczęły i zintensyfikowały programy eksploracji wewnętrznej i zewnętrznej. Podróżnicy przywieźli okazy nieznannej flory i fauny, rysunki i opisy dziwnych ludów i krajobrazów, które należało uwzględnić i znaleźć swoje miejsce w europejskim światopoglądzie. Podróżnicy badali (czasem nawet dziwniejsze) ludy, praktyki i krajobrazy, które można było znaleźć niedaleko domu, i starali się ściślej powiązać je z ośrodkami miejskimi i instytucjami jako część procesów budowania narodu. A pod koniec XVIII wieku nauki, które miały stać się znane jako geologia, botanika, zoologia, ekologia, etnologia, archeologia, meteorologia, kartografia, hydrologia, oceanografia, ichtiologia i inne, zaczęły wyłaniać się z ogólnej dyscypliny historii naturalnej. Ale w tym samym czasie idea laboratorium szybko stawała się ikonicznym obrazem nauki, a eksperyment jej definiującą praktyką. Nawet dzisiaj, gdy większość ludzi myśli o nauce, na myśl przychodzi im obrazy probówek, stołów laboratoryjnych, białych fartuchów i (być może) szczurów w klatkach, wszystkie umieszczone w zamkniętej, wewnętrznej przestrzeni laboratorium. Gdy ankiety dotyczące wiedzy naukowej pytają, jak należy uprawiać naukę, prawidłowe odpowiedzi zwykle obejmują odniesienie do hipotez, zmiennych i prób eksperymentalnych. W przypadku nauk terenowych dominacja tego szczególnego rodzaju manipulacyjnej praktyki może być problemem — ponieważ nauki terenowe, ze swej natury, są bardzo różne. Najbardziej oczywiste jest to, że były i są zależne od pracy wykonywanej na zewnątrz, na świeżym powietrzu, często z dala od ośrodków miejskich, w których zwykle znajdują się laboratoria i inne instytucje naukowe. Często do tych miejsc trudno się dostać (fizycznie lub politycznie) i stawiają one naukowcom pracującym tam wyczerpujące wymagania fizyczne (zarówno emocjonalne, jak i materialne). Pod niemal każdym względem cechy tych miejsc nie mogłyby bardziej różnić się od cech związanych z laboratoriami. Rozważ następujące kwestie: tam, gdzie laboratoria zostały zaprojektowane jako przestrzenie do eksperymentalnej manipulacji światem przyrody, najczęściej to techniki rejestrowania obserwacji i pomiarów miały tendencję do bycia uprzywilejowanymi w miejscach i przestrzeniach terenowych. Tam, gdzie laboratoria były cenione za ich jednolitość i podobieństwo do siebie, miejsca terenowe były cenione za ich indywidualną zmienność i nieprzewidywalność. Podczas gdy pracownicy laboratoriów próbowali przełożyć jakiś aspekt świata przyrody na formę, którą można by zbadać, wyświetlić i sprawić, by przebiegała przez swoje tempo w dogodnym dla człowieka czasie, pracownicy terenowi byli zainteresowani spojrzeniem na „naturę” w „naturalnych” warunkach, starając się zrozumieć współzależności między organizmem a środowiskiem, znaleźć sposoby odczytywania i rejestrowania krajobrazu oraz ustanowić środki wiązania informacji z tej niesamowitej różnorodności miejsc i scen w autorytatywne prawa natury. Różnic między tymi dwoma miejscami nie należy przeceniać — ale niewątpliwie skuteczne prowadzenie badań naukowych w obu przestrzeniach wymagało od badacza rozwinięcia i wdrożenia zupełnie innego zestawu umiejętności. Problem leżał w fakcie, że laboratorium było uprzywilejowane jako kultowa przestrzeń naukowa. Oznaczało to, że wyniki z terenu były często traktowane z podejrzliwością: jakie były podstawy, aby wierzyć, że przedstawiają one dokładny opis jakiegoś aspektu świata przyrody? Ponadto pogarszał to fakt, że — ponownie w przeciwieństwie do laboratorium — pracownicy terenowi nie mieli pełnej kontroli nad miejscem, w którym próbowali prowadzić badania.

Na bardzo podstawowym poziomie laboratorium jest przestrzenią zamkniętą, co oznacza, że dostęp do laboratorium może być ograniczony przez coś tak prostego, jak zamknięte drzwi lub szafka; jego populacja i warunki są regulowane przez badaczy działających zgodnie z powszechnie przyjętymi konwencjami naukowymi. Z drugiej strony pole nie ma ścian, co oznacza, że populacja danego miejsca jest znacznie mniej podatna na naukowe rządy. Nie tylko badane zjawiska mogą nie przejawiać się lub zdecydować się na migrację, ale próby ich zbadania mogą być aktywnie zakłócane przez obecność na miejscu innych (nienaukowych) ludzi. Wszyscy pracownicy terenowi muszą radzić sobie z obecnością na „swoim” miejscu innych mieszkańców: strażników łowieckich lub zarządców parków narodowych, myśliwych, rolników, rybaków, drwali, turystów, agentów lokalnych lub krajowych rządów, żołnierzy, żeglarzy lub eko-wojowników. Reprezentują oni oszałamiającą różnorodność różnych plemion, z których każde ma własny plan wykorzystania różnych miejsc, w których naukowcy chcą pracować. Z drugiej strony, przynoszą ze sobą równie szeroki wachlarz praktyk dostępu i wydobywania zasobów łądu, morza i powietrza, pulę potencjalnych umiejętności, z których naukowcy chętnie czerpali. Pracownicy terenowi przyjęli i dostosowali strategie i technologie pierwotnie opracowane dla nurków, alpinistów, baloniarzy, filmowców, geodetów, badaczy Arktyki i sami dopracowali techniki, które przeniosły się z powrotem do nawyków innych zawodów lub zajęć. W rezultacie, przyglądanie się historii nauk terenowych może wymagać zorientowania się na zupełnie inny zestaw obaw niż te, które są zwykle kojarzone ze studiowaniem nauk w pomieszczeniach. Historycy nauki od dawna interesują się miejscami, w których nauka jest uprawiana — ale studiowanie nauk terenowych oznacza stawianie zmienności i niestabilności tych miejsc oraz wymagań, jakie praca w nich stawia ludzkim ciałom, na pierwszym planie zrozumienia procesu produkcji wiedzy w tym miejscu. A historia nauk terenowych nie kończy się na produkcji wiedzy. Zrozumienie nauk terenowych wymaga również stałej uwagi na obieg wiedzy i zastosowania, do których jest ona wykorzystywana. Naukowcy terenowi nie tylko nie kontrolują wydarzeń w swoich ośrodkach i są zależni od dostępu do tych ośrodków od pomyślnych negocjacji z potencjalnymi organami finansującymi oraz właścicielami i mieszkańcami tych przestrzeni, ale także nie kontrolują sposobu, w jaki wiedza oparta na badaniach terenowych jest wykorzystywana. Jest to szczególnie problematyczne, gdy rozumienie przez większość ludzi „jak działa nauka” opiera się na konkretnym — i nawet wtedy nie do końca dokładnym — obrazie nauki laboratoryjnej, w której można przeprowadzać eksperymenty i bezpośrednio testować hipotezy. Nauka terenowa — zajmująca się obserwacją, a nie manipulacją — nie jest podatna na takie pozornie jednoznaczne kontrole i w rezultacie może wydawać się o wiele bardziej niepewna, a czasami o wiele bardziej podatna na interpretację polityczną lub ideologiczną, niż życzyliby sobie jej praktycy. Kiedy zajmujemy się nauką terenową, jak pokaże ten rozdział, mamy do czynienia nie tylko z historią lub geografią nauki, ale także z głębokimi politycznymi, ekonomicznymi i społecznymi konsekwencjami takiej pracy. Dlaczego nauka terenowa? Po pierwsze, jeśli tak trudno dotrzeć do tej dziedziny i tam pracować, to po co w ogóle tam jechać? Jeśli miejsca badań terenowych są tak niepewne, pełne zmienności i nieprzewidywalności, to w jaki sposób naukowcy mieli formułować autorytatywne twierdzenia dotyczące wiedzy na podstawie swoich doświadczeń w tak niejednoznacznych lokalizacjach? Odpowiedzi na te pytania zależały od charakteru pracy, która musiała zostać wykonana. Naukowcy, podróżnicy i filozofowie przyrody — wszyscy oni jechali w teren, ponieważ umożliwiało im to pracę w warunkach, których nie można było uzyskać lub których nie można było dokładnie odtworzyć w laboratorium. Istnieje wiele różnych miejsc, w których prowadzono i prowadzi się prace terenowe: w górach, na wrzosowiskach lub na pokładach statków; w lasach, kopalniach lub w kosmosie; nad morzem lub w specjalnie zbudowanych stacjach terenowych — lista może być tak długa, jak lista różnych środowisk, które istnieją na Ziemi, w niej i pod nią. I pomimo wyraźnych różnic między terenem a laboratorium, należy pamiętać, że istnieją one jako kategorie na obu końcach kontinuum przestrzeni naukowych, pomiędzy którymi podróżują sami naukowcy. Naukowcy, którzy spędzają wakacje letnie pracując na sawannie, wrócą jesienią, aby uczyć studentów i poddać zebrane próbki analizie laboratoryjnej. Warto jednak rozważyć, w jaki sposób

różne rodzaje przestrzeni są powiązane z różnymi rodzajami podejść do badania świata przyrody lub być może wytwarzają różne rodzaje reakcji na wiedzę tam wytworzoną.

### **Kategoryzacja nauki terenowej**

Bardzo ogólnie rzecz biorąc, historycy wyróżnili cztery różne kategorie nauki terenowej: naukę sondażową, naukę historyczną/obserwacyjną, naukę ratunkową i, z braku lepszego słowa, naukę „ekstremalną”. W pierwszej części przyjrzymy się, jak rozwijały się one w ciągu ostatnich dwóch stuleci. Nauka geodezyjna — rodzaj pracy pierwotnie kojarzony z wyprawami badawczymi i ekspedycjami z końca XVIII i początku XIX wieku, z którą obecnie moglibyśmy łączyć kartografię, meteorologię lub biogeografię — była Wielką Nauką swoich czasów. Najściślej wiązała się z pracą niemieckiego odkrywcy-przyrodnika Alexandra von Humboldta (1769–1859) i jest w istocie często opisywana przez historyków jako „nauka humboldtowska”. Charakteryzowała się absolutną dbałością o skrupulatne pomiary, gdy podróżnicy i odkrywcy przemierzali morza i lądy, mając przy sobie wiele wersji instrumentów naukowych, takich jak termometry, kompasy magnetyczne, wagi i barometry. Tylko w Wielkiej Brytanii wysyłano wyprawy poświęcone odkryciom naukowym, takie jak wyprawa HMS Beagle (1831–1836) lub HMS Challenger (1872–1876), a także wyprawy lądowe, takie jak te sponsorowane przez African Association, Geographical Society of London lub Royal Society: wszystkie rejestrowały informacje in situ, aby zastosować je w skali globalnej. Oczywiście, w badaniach nie było nic nowego — ludzie tacy jak John Ray (1627–1705) lub Edward Llwyd (1660–1709) podróżowali po północno-zachodniej Europie pod koniec XVII wieku, aby rejestrować szczegóły botaniczne, geologiczne i językowe dotyczące różnych ziem i ich ludów. To, co zmieniło sytuację sto lat później, to zwrot w stronę instrumentów i dążenie do dokładności pomiarów. Akceptowalność obserwacji jako autorytatywnych zależała między innymi od ich powtarzalności, często przy użyciu wielu różnych wersji tego samego instrumentu, aby zminimalizować błąd i zmaksymalizować zasięg. Nie wystarczyło już samo opisanie tego, co widziano podczas podróży: zamiast tego podróże musiały być ilościowo rejestrowane. Interesujące jest to, że pojęcia pomiaru i standaryzacji można było uznać za odnoszące się do terenu, tak jak do laboratorium — pod warunkiem, że można było zaufać osobie wykonującej pracę. Po Humboldcie stworzono pojęcie „naukowego podróżnika”, który był ciągle w ruchu, zbierał informacje „w trakcie”, aby ustanowić uniwersalne prawa natury poprzez połączenie i kulminację obserwacji poczynionych w określonych miejscach. Natomiast nauki terenowe o charakterze obserwacyjnym/historycznym, takie jak botanika, etologia, geologia czy paleontologia, angażują i wymagają poświęcenia większej ilości czasu na badanie konkretnych miejsc. Wpływ laboratorium można tu dostrzec w wyborze tych miejsc — można na przykład wybrać pracę w miejscu, w którym może występować mniej (potencjalnie) zmiennych zakłócających, w wyniku wysokości, izolacji lub sposobów, w jakie miejscowi ludzie korzystali z danego obszaru. Alternatywnie można próbować pracować w szeregu miejsc, wybranych tak, aby się uzupełniały, przy czym zmiany w jednym miejscu są uwzględniane przez stałość w innym miejscu. W ten sposób można znaleźć w porównaniach między tymi miejscami funkcjonalny odpowiednik serii eksperymentów laboratoryjnych. Podobnie jak w przypadku prac geodezyjnych, potrzeba dokładności w pobieraniu próbek, obserwowaniu i rejestrowaniu była kluczowym tematem, wraz z pragnieniem możliwości ekstrapolacji z dokładnego zbadania konstelacji cech w określonych miejscach na inne obszary świata przyrody. Geologia w szczególności polegała na tym, ponieważ ludzie tacy jak Adam Sedgwick (1785–1873), Henry de la Beche (1796–1855), Roderick Murchison (1792–1871), a także młody Charles Darwin (1809–1882), intensywnie badali konkretne miejsca, aby przewidzieć sekwencję formacji skalnych gdzie indziej, podczas gdy Abraham Werner (1749–1817) uczył studentów, jak identyfikować cenne złoża na podstawie zewnętrznych cech fizycznych — przypomnienie, że górnictwo było tak samo ważne jak teologia w historii geologii. Na przykład możliwość określenia lokalizacji warstw węglowych lub rezerw wód gruntowych miała okazać się kluczowa dla instytucjonalnej niezależności geologii — i zależała od

rozszerzonej pracy terenowej na omawianych obszarach, czy to były Walijskie Marchie, czy Góry Uralskie. W przypadku nauk terenowych z zakresu botaniki i zoologii coraz częściej impulsem do pracy terenowej była potrzeba badania organizmów w ich naturalnym środowisku. Na przykład na początku XIX wieku debaty na temat natury ewolucji między takimi postaciami jak hrabia de Buffon (1707–1788), Jean-Baptiste Lamarck (1744–1829) i Georges Cuvier (1769–1832), które dotyczyły relacji między funkcją, formą i środowiskiem, zachęcały przyrodników do badania zwierząt i roślin in situ, czy to w ogrodach, lasach, wrzosowiskach czy na wybrzeżu morskim. Później prace Humboldta, Darwina i Josepha Hookera (1817–1911) nad przyczynami i barierami geograficznego rozmieszczenia organizmów również podkreślały znaczenie kontekstu i splątania relacji, w których istniały poszczególne byty. Badanie tego rodzaju pytań można było przeprowadzić tylko w terenie. W XX wieku tego typu prace korzystały z długoterminowego zaangażowania w badanie konkretnego miejsca, a czasami wymagały takiego zaangażowania. W tych przypadkach udane przeprowadzenie badań terenowych oznaczało uczynienie cnoty z osobliwości, unikalności tej konkretnej przestrzeni, w sposób, który niemal zamienił samo miejsce badań terenowych w narzędzie naukowe. W przypadku badań laboratoryjnych kontekst, w którym wykonywano prace naukowe, był stosunkowo nieistotny: jednolitość przestrzeni laboratoryjnej w przestrzeni i czasie miała na celu zminimalizowanie potencjalnego wpływu niekontrolowanych zmiennych na tę pracę. W przypadku badań terenowych kontekst był niezbędny do zrozumienia znaczenia wykonywanej tam pracy. W niektórych przypadkach szczegółowy opis specyfiki danego miejsca badań terenowych mógł zostać wykorzystany do nadania autorytetu pracy tam wykonywanej — a w XX wieku dotyczyło to zwłaszcza badań ekologicznych i etologicznych. Na najbardziej podstawowym poziomie uwzględnienie takich szczegółów dawało czytelnikowi pewność, że faktycznie był w danym miejscu. Ale co o wiele ważniejsze, a zwłaszcza w odniesieniu do miejsc, w których prace były prowadzone przez długi czas, nagromadzenie dużej ilości szczegółów oznaczało, że mogła nastąpić radykalna zmiana zarówno w jakości danych, jak i zrozumieniu zjawisk. Gdy dane miejsce miało już zapisaną historię — w której zmienne, takie jak opady deszczu, pokrywa roślinna, liczba gatunków itd. były rejestrowane przez znaczny okres czasu — dane te stanowiły stałe tło, na którym można było oceniać znaczenie bieżących wydarzeń. W przypadku etologii/zoologii w szczególności, przedłużona praca w określonym miejscu była ważna z dwóch powodów. Po pierwsze, długa ekspozycja oznaczała, że obserwowane zwierzęta przyzwyczały się do obecności człowieka, a zatem zachowywały się bardziej naturalnie — a obserwatorzy zaczęli dostrzegać naturalne zachowania. Oznaczało to również, że naukowcy mogli identyfikować i rozpoznawać poszczególne osoby, a tym samym rejestrować własne historie zwierząt. Było to ważne, ponieważ świadomość, na przykład, że to, co się widzi, nie jest uściskiem między dwoma dojrzałymi płciowo małpami, ale między matką i jej dorosłym synem, może mieć duże znaczenie dla interpretacji i znaczenia ich zachowania. W obu przypadkach im dłużej prowadzono badania w danym miejscu, tym cenniejsze i bardziej wiarygodne stawały się takie obserwacje. Jednak inna kategoria nauk terenowych odnosi się do obserwacji, które są cenne ze względu na ich kruchość, a nie długowieczność, zwykle ze względu na działania innych ludzi. Chociaż wiele przykładów botanicznych, ekologicznych, a nawet geologicznych nauk terenowych można zaliczyć do tej dziedziny, być może najlepsze przykłady stanowią archeologia i antropologia. Wynika to oczywiście z zakresu globalnego rozwoju politycznego i gospodarczego w ciągu XIX i XX wieku, który przyniósł ogromne zmiany w społeczeństwach ludzkich i ich relacjach ze sobą i z ziemią. Na przykład antropolodzy znaleźli się w sytuacji, w której badali sposoby życia, które były w trakcie celowej lub nieumyślnej eksterminacji; archeolodzy stanęli w obliczu sytuacji, w której integralność fizyczna — taka, jaka była — ich obiektów badań była zagrożona przez rozwój rolnictwa i przemysłu. W obu przypadkach informacje musiały zostać uratowane, zanim działalność człowieka je uszkodzi lub zmieni nie do poznania, chociaż — ironicznie — to właśnie te potencjalnie destrukcyjne działania człowieka często pozwalały naukowcom uzyskać dostęp do informacji. Te same sieci statków, kolei i instytucji politycznych, które marginalizowały tradycyjne

sposoby życia, były szlakami, których antropolodzy używali, aby dostać się do terenu. Archeolodzy odkryli, że kopalnie i kamieniołomy, na przykład, mogą stać się bardzo przydatnymi miejscami do poszukiwań skamieniałości i artefaktów, o ile zaangażowane firmy będą skłonne przyjąć naukowców; w rzeczywistości niektórzy właściciele kamieniołomów odkryli, że zainteresowanie archeologów ich wykopaliskami oznaczało, że można było wykorzystać inny przemysł wydobywczy, ponieważ turyści przychodzili oglądać ich wyniki. Jako taka, nauka ratownictwa jest dobrym — ale bynajmniej nie jedynym — przykładem sposobów, w jakie historia i praktyka nauk terenowych były całkowicie uwikłane w rozwój komercyjny i przemysłowy. Ostatnią kategorię nauk terenowych można by scharakteryzować jako naukę „ekstremalną”: prace terenowe wykonywane w warunkach wielkich trudności lub w środowiskach wyjątkowo wrogich dla życia człowieka — ale które były również, co dość ironiczne, często powiązane z popularnymi zajęciami w czasie wolnym, co czasami utrudniało stwierdzenie, czy naukowcy pracowali, czy bawili się w tych obszarach. Takie środowiska obejmowały nauki górskie, morskie, polarne i kosmiczne, gdzie wysokość, żywioły lub temperatura utrudniały ludziom przetrwanie bez pomocy technologicznej, a tym bardziej prowadzenie badań naukowych. Góry, na przykład, stały się miejscami do uprawiania nauki od połowy XVIII wieku. Czasami określane jako „laboratoria natury”, były miejscami, w których można było badać wpływ wysokości i ciśnienia na zmienne fizyczne i zmienność biologiczną, dokonywać obserwacji astronomicznych i rozważać wpływ samej góry zarówno na klimat globalny, jak i lokalny — a także na ciało obserwatora. Ponadto były coraz bardziej modnymi miejscami do oglądania i bycia widzianym, ponieważ obywatele z wyższych i średnich klas odkryli przyjemność wspinaczki górskiej i szkiegowania. W podobny sposób oceany stały się coraz bardziej przedmiotem kontroli na początku XIX wieku. Na to złożyło się wiele czynników ekonomicznych i kulturowych, w tym takie wydarzenia, jak ekspansja wielkości i zasięgu krajowych flot rybackich, wspierana przez ulepszenia w projektowaniu statków i portów pod koniec XVIII wieku, a także położenie transatlantycznych linii kablowych w XIX wieku. Dodatkową zachętą, podobnie jak w przypadku gór, było odkrycie przez klasy średnie Europy i Ameryki, że wybrzeże jest przyjemnym, podnoszącym na duchu i potencjalnie stylowym miejscem do przebywania. W XX wieku podwodna eksploracja zajęła centralne miejsce w nauce o morzu, zwłaszcza po tym, jak Jacques Cousteau i Emile Gagnan opracowali akwalung w latach 40. XX wieku — który z kolei stał się coraz popularniejszą formą spędzania wolnego czasu. Natomiast ani bieguny, ani przestrzeń kosmiczna nie były dostępne do eksploatacji dla przypadkowych badaczy, ale podobnie jak w przypadku nauki geodezyjnej XIX wieku, prace w tych obszarach były ułatwiane przez interesy państw narodowych i operatorów komercyjnych, a wspierane przez żarliwe i trwałe zainteresowanie opinii publicznej opowieściami o triumfach i katastrofach wypraw polarnych i kosmicznych.

### **Ucieleśnienie nauki terenowej**

Jednakże przypadki zarówno ratownictwa, jak i ekstremalnej nauki jasno pokazują, w jakim stopniu prowadzenie nauki w terenie zależało od ciała pracownika terenowego. Kiedy ludzie myślą o nauce, często postrzegają ją jako przytłaczająco intelektualną aktywność; przeciwnie, przyglądanie się nauce terenowej pokazuje, jak ważne dla badania natury było ciało oraz jego fizyczna i emocjonalna odporność lub zdolność adaptacji. Działo się tak na wielu poziomach, od radzenia sobie z pozostawianiem aktywnym fizycznie w stresującym środowisku po trenowanie oczu i rąk, aby dokładnie rejestrować to, co się widziało. Zanim mogli zająć się badaniem tego, co przyjechali zobaczyć, pracownicy terenowi musieli przyzwyczaić się do nowego i zazwyczaj nieznanego środowiska. Po pierwsze, wiązało się to z faktem, że praca terenowa wymagała ruchu w przestrzeni, co oznaczało, że siła fizyczna i opanowanie były kluczowym elementem udanej pracy terenowej. Po drugie — ale również ważne — wiązało się to również z wykorzystaniem samego ciała jako narzędzia naukowego. Pracownicy terenowi często musieli być niezwykle kreatywni w rozwijaniu technologii, aby rozszerzyć swój fizyczny dostęp do różnych obszarów świata przyrody, w procesie, który nie był tylko fizyczny, ale często



obejmował zarówno wyobraźnię, jak i emocje jako kluczowe zasoby. Na przykład w przypadku nauki o górach, osiemnastowieczne „odkrycie” Alp dla nauki obejmowało również ich odkrycie estetyczne: wspinaczka stała się dosłownie budującą aktywnością, zarówno moralnie, jak i fizycznie. Różne wyprawy na Mount Everest, na przykład, cytowały nie tylko geologiczne i kartograficzne zalety, jakie niosła ze sobą próba wejścia na górę (nie wspominając o przygodzie lub pochwałach, które czekały na pierwszy zespół, który dotarł na szczyt), ale także duchowe korzyści takiego wysiłku. W przypadku wyprawy z 1922 roku, być może ten element został celowo przesadnie podkreślony jako część strategii uzyskania aprobaty lamy klasztoru Rongbuk; jednak z pewnością jest tak, że członkowie późniejszych wypraw opisywali swoje wysiłki jako pielgrzymkę. Wyobrażenia i ucieleśnienie również odgrywały rolę w przypadku antropologii. Chociaż kształcony jako psycholog eksperymentalny, W. H. R. Rivers (1864–1922) argumentował, opierając się na swoich doświadczeniach z wyprawy Cambridge Torres Strait Expedition (1898), że trzeba dzielić życie osób antropologicznych, robiąc to, co oni, aby zrozumieć od wewnątrz, jak żyją, zanim będzie można przystąpić do analizy ich struktur społecznych. Bardziej ogólnie rzecz biorąc, badacze terenowi musieli nauczyć się obserwować i zapisywać w terenie: nie tylko co zapisywać, ale także jak to w ogóle obserwować. Studenci geologii, tacy jak młody Darwin, musieli nauczyć się chodzić po ziemi i odróżniać znaczące obserwacje od przypadkowych osadów; konieczne było nauczenie się na przykład, że odkrycie tropikalnej muszli w żwirowni Shrewsbury nie oznaczało, że wszystkie poprzednie interpretacje historii geologicznej tego obszaru musiały zostać wyrzucone w błoto. Znaczenie tego procesu uczenia się widzenia można ocenić na podstawie nacisku, jaki konsekwentnie kładły towarzystwa naukowe i jednostki na konieczność nauczania ludzi, jak to robić. Od *Directions for Sea-men, Bound for Far Voyages*, opublikowanego przez Royal Society w latach 60. XVII wieku, poprzez różne wydania *Hints to Travellers* (po raz pierwszy opublikowane przez Royal Geographical Society w 1854 roku) i podręczniki dociekań wydawane przez różne oddziały British Association for the Advancement of Science, uczeni regularnie próbowali doradzać i instruować podróżników, czego ich oczy powinny szukać, a ręce powinny zapisywać. Dziennik pokładowy i szkicownik były kluczowymi narzędziami wiedzy, a dla mierniczych marynarki wojennej, takich jak John Roe (1797–1878), ich najcenniejszymi dobrami często były środki na zmęczenie oczu spowodowane wysiłkiem, aby jak najdokładniej zapisywać to, co widzą. Niektóre rodzaje prac terenowych były oczywiście bardziej stresujące niż inne, zarówno fizycznie (pod względem aklimatyzacji do nowego środowiska), jak i emocjonalnie (pod względem dostosowania sprzętu i strategii badawczych do pracy w tym środowisku). Dla tych obserwatorów morskich, którzy dopiero zaczynali swoją przygodę z morzem, nauczenie się radzenia sobie z chorobą morską i przyzwyczajenie się do fizycznych wyzwań życia na pokładzie statku było podstawą sukcesu społecznego i naukowego w czasie podróży. Choroba wysokościowa mogła być problemem dla osób prowadzących badania górskie (podobnie jak samo robienie zdjęć w erze technologii kolodionowej), malaria i inne choroby tropikalne były stałym zagrożeniem dla osób pracujących na niższych wysokościach i bliżej równika, a samo prowadzenie badań naukowych na morzu, pod wodą i w powietrzu zwykle wymagało bardziej rozległych interwencji technologicznych i wsparcia. Jednak wszyscy pracownicy terenowi stanęli w obliczu mniej namacalnych zagrożeń dla swojego przetrwania jako naukowców, zagrożeń wynikających ze szczególnej natury badań terenowych i skupionych wokół kwestii tożsamości naukowej. Ich status jako naukowców był kwestią, która często była dwuznaczna, zwykle jako bezpośredni wynik hybrydowej i niejednoznacznej natury miejsc, w których pracowali, oraz grup społecznych, z którymi dzielili tę przestrzeń. Widzieliśmy sposoby, w jakie różne interesy polityczne, ekonomiczne i narodowe umożliwiały naukowcom terenowym dostęp do tematów, które chcieli studiować, a także rolę kultury w czynieniu pewnych aspektów nauki terenowej modnymi i popularnymi. Teraz przyjrzymy się bliżej ekonomii politycznej badań terenowych oraz różnym kulturom i społeczeństwom, które pomogły ustrukturyzować przestrzenie, w których prowadzono pracę naukową.

## **Ekonomia polityczna nauk terenowych**

Prowadzenie badań terenowych o zasięgu globalnym było kosztowne: oznaczało to, że osoby zainteresowane badaniem takich kwestii musiały znaleźć sposoby na pozyskanie wsparcia innych osób i instytucji w finansowaniu tych badań. Mówiąc wprost, należało jasno określić korzyści polityczne i ekonomiczne, które mogłyby wyniknąć z badań naukowych. Problem polegał jednak na tym, że zainteresowanie innych grup (polityków, urzędników państwowych, żołnierzy, marynarzy, przedsiębiorców, finansistów) tymi kwestiami mogło nie być w całości naukowe — a to miało konsekwencje dla tego, kiedy i jakie badania były prowadzone, a także kto je przeprowadzał. Możemy to zobaczyć, jeśli przyjrzymy się rodzajowi nauki prowadzonej na morzu.

## **Pomiary magnetyczne i gospodarka morska**

Na początku XIX wieku dla wojska morza i oceany były w dużej mierze po prostu wrogimi środowiskami, po których się przemieszczali i na których toczyły walki. Jednak w połowie XX wieku zmiany w naturze międzynarodowych działań wojennych zamieniły dno morskie w teatr konfliktu i skupiły uwagę wojska na konstytucji i strukturze samych oceanów. Nauka i naukowcy odegrali kluczową rolę w tej zmianie — ale nie był to prosty proces wzajemnej symbiozy. Ci, którzy byli zainteresowani rozwiązywaniem problemów naukowych — na przykład ustalaniem kształtu Ziemi, mapowaniem dna oceanu lub poszukiwaniem dowodów na istnienie olbrzymiej kałamarnicy — musieli pozyskać wsparcie innych w swoich przedsięwzięciach, aby szukać politycznego lub ekonomicznego wsparcia, które doprowadziłoby do finansowego wsparcia ich badań. Ale szczególnie w XIX wieku, okresie, w którym nauka stawiała się działalnością zawodową, nie zawsze było jasne, na kim można najlepiej polegać w identyfikowaniu i rozwiązywaniu pojawiających się pytań naukowych. Na przykład zainteresowanie eksperymentami wahadłowymi, które mogłyby określić kształt Ziemi, nasiliło się w latach następujących po Kongresie Wiedeńskim (1815). Kapitan Henry Kater (1777–1835) opublikował serię artykułów na temat konstrukcji wahadła i obserwacji w *Philosophical Transactions Royal Society*, które zakończyły się wezwaniem do przeprowadzenia serii globalnie porównywalnych pomiarów wahadłowych, które należało wykonać z geograficznie odległych miejsc. Był to projekt, który wymagał nie tylko krajowego, ale i międzynarodowego wsparcia i współpracy — ale na szczęście był to również problem, który mógł pomóc rozwiązać pilne kwestie prestiżu narodowego i praktyczności wojskowej. W miarę jak coraz więcej statków wykonywano z żelaza, badania magnetyczne i sposoby ulepszania nawigacji stawały się coraz bardziej interesujące dla marynarek wojennych świata. Ponadto w epoce postnapoleońskiej podróże badawcze i eksploracyjne dawały przynajmniej części nagle niedostatecznie zatrudnionej marynarki coś do roboty: nie trzeba już było walczyć z Francuzami, a przydzielenie do takiej podróży było jednym ze sposobów na utrzymanie pracy, a nawet na pomyślnie ubieganie się o awans. Pierwsza podróż komandora Johna Rossa (1777–1835) w poszukiwaniu przejścia północno-zachodniego (1818–1819) była pierwszą, w której przeprowadzono szeroko zakrojone prace wahadłowe, prowadzone głównie przez Edwarda Sabine'a (1788–1883). Sabine, wykształcony w *Royal Military Academy* i oficer *Royal Artillery*, był astronomem wyprawy, osobiście przeszkolony przez Katera w obsłudze nowego rodzaju wahadła. W kolejnych latach obserwacje ze statków poszukujących przejścia północno-zachodniego — potencjalnie wysoce dochodowego szlaku handlowego, za którego odkrycie Admiralicja oferowała nagrody — były ważnym, choć niewystarczającym źródłem gromadzenia obserwacji wahadłowych. W latach 30. XIX wieku Sabine stała na czele kampanii mającej na celu utworzenie globalnej sieci obserwatoriów geomagnetycznych pod brytyjskim przywództwem. Drugi sekretarz Admiralicji, John Barrow (1764–1848), który był kluczową postacią w promowaniu zarówno poszukiwań Przejścia Północno-Zachodniego, jak i w afrykańskich wyprawach ekspedycyjnych, sponsorował i ułatwiał również kilka kolejnych wypraw eksploracyjnych na Arktykę. Jednak dla obu mężczyzn kwestia tego, kto był wykwalifikowany do dokonywania dokładnych

obserwacji świata przyrody, pozostała problemem i była związana z szerszymi relacjami między nauką, eksploracją i handlem w tym okresie. Sabine stał się osobistym celem krytyki ze strony Charlesa Babbage'a, wynalazcy Maszyny Różnicowej, który był wówczas w trakcie kłótni z Royal Society, które nie mianowało go młodszym sekretarzem. W swoim dziele *Reflections on the Decline of Science in England* (1830) Babbage argumentował, że większość członków Towarzystwa została wybrana ze względu na swoje kwalifikacje społeczne, a nie naukowe — i w szczególności zaatakował mianowanie Sabine na stanowisko doradcy naukowego Admiralicji. Jego potępienie opierało się na twierdzeniu, że Sabine była „oficerem artylerii na urlopie z pułku”: wojskowym, a nie naukowcem, którego obserwacjom nie można było ufać. Babbage przyjrzał się uważnie zarejestrowanym pomiarom Sabine i wynikiem z podróży Rossa i doszedł do wniosku, że są one niepokojąco i podejrzanie zgodne. Muszą być, argumentował, produktem amatorskiego obserwatora, który nie był nawet kompetentny, aby przekonująco fałszować obserwacje — w istocie cała sekcja polemiki poświęcona była „oszustwom obserwatorów”, którzy chcą być uważani za wiarygodnych świadków nauki. To wykorzystanie wojskowej tożsamości Sabine w celu uprzedzenia jego naukowej wiarygodności było częścią szerszego zainteresowania Babbage'a społecznym i instytucjonalnym statusem nauki — częścią jego szerszego ataku na stan Royal Society i jego relacje z Admiralicją. Ale kwestia tożsamości i właściwych kwalifikacji do obserwacji była również tym, co niepokoiło Drugiego Sekretarza Admiralicji, Johna Barrowa. W przypadku Barrowa pytanie brzmiało, czy ktokolwiek inny niż członek Royal Navy ma kwalifikacje do przeprowadzania obserwacji i pomiarów na oceanie. Był on głęboko przekonany, że prace eksploracyjne i pomiarowe są prerogatywą Marynarki Wojennej, pomimo faktu, że to statki wielorybnicze, w poszukiwaniu zysku ekonomicznego, powracały z niezwykle ważnymi wiadomościami i obserwacjami z dalekiej północy. W rzeczywistości to raporty statków wielorybniczych jako pierwsze sugerowały, że lód arktyczny może być wystarczająco rozdrobniony, aby umożliwić wznowienie poszukiwań Przejścia Północno-Zachodniego. Barrow był szczególnie wrogo nastawiony do Williama Scoresby'ego Jr. (1789–1857), syna wielorybnika z Whitby. Scoresby, korespondent Josepha Banksa, wykonał obszerne mapy wybrzeży Grenlandii, a także wiele obserwacji lodu polarnego, temperatur morza i życia morskiego w kontekście połowów wielorybów na północy — ale jego prośba o rządowe finansowanie wyprawy odkrywczej pod jego dowództwem została odrzucona na żądanie Barrowa. Obserwacji i eksploracji Arktyki nie należało powierzać komercyjnemu operatorowi; Scoresby, niczym nie zniechęcony, zaciągnął pożyczkę pod zyski z wyprawy i mimo wszystko kontynuował wyprawę. Przedsięwzięcie zakończyło się sukcesem, a Scoresby dotarł dalej na północ niż jakkolwiek poprzedni żeglarz — ale wrogość Barrowa do „zwykłego wielorybnika” oznaczała, że wkrótce wysłano statki, aby pożeglowały kilka stopni dalej wzdłuż wybrzeża Grenlandii, potencjalnie przyćmiewając geograficzne i biologiczne odkrycia, których dokonał Scoresby. Oba te przykłady pokazują, w jakim stopniu tożsamości i interesy ekonomiczne, wojskowe i naukowe były ze sobą powiązane w okresie badań i eksploracji, gdy same nauki znajdowały się w procesie kształtowania dyscyplin i profesjonalizacji. Ponad sto lat później historia eksploracji podziemnej ilustruje trwający ścisły związek między nauką, interesem narodowym, wojskiem i operacjami handlowymi.

### **Nauka i okręt podwodny**

W XX wieku wojna toczyła się nie tylko na wodzie, ale i pod wodą. Coraz częstsze wykorzystywanie okrętów podwodnych zarówno w trakcie, jak i po I wojnie światowej oznaczało, że coraz ważniejsze stawało się zrozumienie właściwości samego morza, jako medium, przez które rzeczy się przemieszczają, a także nad nim. Oficerowie marynarki musieli być w stanie wykorzystać wiedzę specjalistyczną, aby zrozumieć zachowanie fal na brzegu morza, docenić wojskowe zastosowania termoklin i prawidłowe działanie batytermografów, zrozumieć podwodną akustykę, niezależnie od tego, czy jest ona wytwarzana przez okręty podwodne, czy walenie, a także (w czasie pokoju) móc identyfikować gatunki ryb, które łodzie rybackie mogły łowić. Jednak to zainteresowanie oceanografią

i badaniami morskimi oraz wsparcie dla nich nie obyło się bez potencjalnych kosztów zarówno na poziomie indywidualnym, jak i instytucjonalnym, szczególnie w odniesieniu do podejścia Marynarki Wojennej do podstawowych, w przeciwieństwie do stosowanych, badań i roli bezpieczeństwa narodowego. Na przykład w Stanach Zjednoczonych na początku lat 30. XX wieku na obu wybrzeżach powstały dwie kluczowe instytucje oceanograficzne — Scripps Institution of Oceanography, założona w 1903 r. w La Jolla w Kalifornii, oraz Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) w Massachusetts, założona w 1930 r. To Athelstan Spilhaus z WHOI wynalazł batytermograf w 1938 r. Ten instrument był środkiem, za pomocą którego można było oszacować niezawodność sonaru, ponieważ na ruch dźwięku w wodzie wpływała temperatura i głębokość, a można je było montować na zewnątrz okrętów podwodnych, aby pomóc im zarówno w manewrach ataku, jak i obrony. Rozwój ten zapoczątkował produktywną i niezawodną współpracę, opartą na wymianie danych, instrumentów i personelu, między US Navy a WHOI, która trwała przez całą II wojnę światową i później. Obecność oceanografów na okrętach marynarki wojennej i finansowanie badań przez marynarkę wojenną ułatwiły badanie szeregu danych geodezyjnych i oceanograficznych, od kształtu dna oceanu po zachowanie fal na brzegu morza — kluczowe informacje naukowe i obserwacje, które miały również wyraźne zastosowania wojskowe, jeśli chodzi o lądowanie na morzu i podwodną wojnę nuklearną. Jednak związek między badaniami podstawowymi i stosowanymi oraz zainteresowanie marynarki wojennej wspieraniem tych pierwszych nie zawsze było jasne, co ilustruje rozwój załogowych głębinowych łodzi podwodnych. Pomysł zbudowania takiego pojazdu, środka, dzięki któremu ludzie mogliby osiągnąć dotychczas niemożliwe głębokości i ciśnienia, w swojej współczesnej formie był pomysłem Allyna Vine'a (1914–1994); jego realizacja była produktem długich negocjacji w sprawie finansów, własności i projektu między WHOI, Office of Naval Research i Reynolds Metal Corporation. DSV Alvin został oddany do użytku w czerwcu 1964 r., ale pierwsze kilka lat spędził na konkretnych zadaniach dla Marynarki Wojennej — wykonując zadania praktyczne, takie jak inspekcja układów hydrofonów i poszukiwanie zaginionej bomby wodorowej. Początkowo nie był używany do realizacji wniosków badawczych, które zostały przedstawione w celu rozwiązania istotnych kwestii biologii morskiej i geofizyki. Na początku lat 70. doszło do poważnych konfliktów o finansowanie między Marynarką Wojenną a innymi zainteresowanymi stronami, co oznaczało, że Alvin był bliski wyrzucenia. Nie pomogło to, że pod koniec lat 60. doszło do wielu wypadków i strat pod powierzchnią — w tym zatonięcia samego Alwina w 1968 r. — chociaż odkrycie wciąż jadalnej kanapki z baleronom na pokładzie, gdy Alvin został wydobyty prawie rok później, skłoniło mikrobiologów do rozszerzenia prac nad rozkładem w głębinach morskich i ostatecznie do zakwestionowania poglądu, że rowy oceaniczne mogą służyć jako pojemniki na ludzkie odchody: nieco niezamierzony wkład w badania błękitnego nieba (-morza?). Ale gdy Marynarka Wojenna zamówiła własne dedykowane okręty podwodne, anulowała finansowanie Alwina, zmuszając (byłych marynarzy) badaczy, takich jak Robert Ballard (ur. 1941 r.), do poszukiwania innych sponsorów. W tym odnieśli niezwykle sukces: począwszy od 1974 r. Alvin był wykorzystywany w ramach wspólnego projektu instytucji akademickich i wojskowych oraz personelu, który nie tylko odkrył głębinowe źródła hydrotermalne, ale także ustalił, że istnieje tam życie. Tutaj różne zainteresowane strony i instytucje zdołały stworzyć podstawę do współpracy i współdziałania, co zaowocowało wydarzeniem o implikacjach sięgających od nauk geologicznych, przez biologiczne, po filozoficzne, nie wspominając o konsekwencjach dla eksploracji kosmosu. Inne przykłady prac głębinowych przyniosły mniej pomyślne rezultaty. W szczególności problemy powodowały kwestie bezpieczeństwa i biurokracji, zwłaszcza w okresie zimnej wojny. Niektórzy naukowcy stwierdzili, że ich narodowość lub osobiste historie polityczne ograniczały projekty, w które mogli się zaangażować. W innych przypadkach odmawiano zgody na publikację danych lub wyników. Na przykład w latach 40. XX wieku Marynarka Wojenna USA ograniczyła charakter i rodzaj informacji, które można było publikować na temat oceanów — w szczególności informacji o dnie oceanu, które potencjalnie mogłyby zostać wykorzystane do zakłócenia zarówno ruchu okrętów podwodnych, jak i dalekosiężnej komunikacji i monitoringu. Większość

punktów danych, na podstawie których można było budować mapy dna morskiego, pochodziła z automatycznych rejestratorów głębokości przymocowanych do okrętów wojennych — ale te konkretne batymetryczne szczegóły konturów głębokości i sondowań stanowiły wiedzę, której obieg musiał być ograniczony. W rezultacie na przykład słynna mapa dna oceanu Heezena-Tharpa została ostatecznie opublikowana w mniej konkretnej, fizjograficznej formie. Jak się okazało, sprawiło to, że obraz stał się popularny i znany znacznie szerszej publiczności, zwłaszcza po tym, jak jego artystyczna wersja pojawiła się w National Geographic — ale nie umniejsza to faktu, że prace naukowe zostały skutecznie ocenzurowane. Wielu naukowców miało podobne obawy dotyczące źródeł finansowania ich badań i potencjalnego wpływu, jaki mogłoby to mieć na ich niezależność akademicką. Ale pomimo tych przykładów napięcia między eksploracją, polityką, nauką i handlem w dokonywaniu obserwacji świata przyrody, jasne jest, w jakim stopniu różne grupy zainteresowane badaniem morza były zaangażowane w tworzenie wspólnej kultury współpracy w nauce morskiej. Na początku nacisk na dokładne i powtarzalne pomiary, na przykład, był elementem już obecnym w kulturze marynarki wojennej, oficerowie i naukowcy prowadzili dzienniki, a popularność historii naturalnej jako rozrywki klasy średniej zapewniała im wspólną płaszczyznę, na której mogli się spotykać. Podczas gdy relacje społeczne na pokładach statków były przestrzennie odzwierciedlone, a dostęp do niektórych obszarów zależał od rangi, w przypadku przynajmniej niektórych podróży — nie tylko dedykowanych wypraw naukowych, takich jak HMS Challenger — przestrzeń była stworzona dla naukowców i ich sprzętu. Kwestia wynagrodzenia i wsparcia finansowego zawsze była problematyczna: w końcu tożsamość „filozofa przyrody” była ściśle związana z tożsamością „dżentelmena” właśnie z powodu założenia, że niezależność finansowa oznaczała wolność mówienia prawdy. Jednak w połowie XIX wieku wyłoniła się klasa „naukowców-żołnierzy”, do której należeli nie tylko oficerowie marynarki i wojskowi, ale także urzędnicy kolonialni i inni pracownicy rządowi, których zadaniem było zbieranie informacji i próbek z różnych placówek, do których zostali wysłani.

### **Nauka w służbie państwa**

W rzeczywistości kluczowym elementem profesjonalizacji nauki w XIX wieku było pojawienie się szeregu instytucji, często wspieranych przez państwo (przynajmniej w Wielkiej Brytanii), które były zależne od agentów terenowych i zatrudniały ich, takich jak biura hydrograficzne, krajowe służby geologiczne, służby ordnance survey, biura spisowe itd. Ponownie, działały one zarówno w kraju, jak i za granicą, a kluczowe postacie w rozwoju nauk terenowych często przemieszczały się między nimi. Joseph Hooker jest jednym z takich przykładów. W młodości brał udział w wyprawach badawczych na Arktykę w latach 1839–1843. Po powrocie w 1846 r. objął stanowisko botanika w Geological Survey of Great Britain, założonym w 1835 r. pod nadzorem Henry'ego de la Beche, a w tym momencie wkraczającym w okres intensywnej działalności, ponieważ ustawa parlamentu z poprzedniego roku wzywała do sporządzenia kompletnej mapy geologicznej kraju. Hooker spędził następny rok na badaniu roślin kopalnych w pokładach węgla w Walii i na południowym zachodzie, zanim został wysłany przez ojca (który wkrótce został dyrektorem Królewskich Ogrodów Botanicznych w Kew) na wyprawę zbierania roślin do Indii i Himalajów. Jego podróż do Indii była ułatwiona dzięki długoletnim powiązaniom wojskowym i handlowym między Wielką Brytanią a subkontynentem: pływał na okrętach marynarki wojennej i mieszkał u urzędników Kompanii Wschodnioindyjskiej. W zamian udało mu się spowodować coś, co mogło być poważnym incydentem międzynarodowym — a być może karną egzekucją strażnika granicznego — gdy w poszukiwaniu nowości przekroczył zakazany teren Tybetu bez pozwolenia. Po powrocie do Wielkiej Brytanii został mianowany zastępcą dyrektora w Kew w 1855 r., zastępując swojego ojca na stanowisku dyrektora w 1865 r. Na tych stanowiskach i dzięki kontaktom, które nawiązał podczas wszystkich tych podróży w kraju i za granicą, Hooker stworzył sieć korespondentów i przedstawicieli, formalnych i nieformalnych, którzy wysyłali informacje i okazy do Londynu. Praca ta miała zarówno element naukowy, jak i ekonomiczny: w istocie, często bardzo trudno

było odróżnić jedno od drugiego. Kew i sieć kolonialnych ogrodów botanicznych były kluczowe nie tylko w zbieraniu i hodowli nowych roślin, ale także w ich ulepszaniu z myślą o potencjalnej eksploatacji. Okazy pochodziły z wyznaczonych wypraw, od urzędników państwowych stacjonujących w odległych placówkach, od urzędników celnych w portach i na granicach, od podróżników i mieszkańców, a nawet z targów ulicznych. Można je było dawać, wymieniać, kupować lub kraść — a nawet sabotować, jak lubili wierzyć niezadowoleni ogrodnicy, którym nie udało się wykiełkować chińskich nasion. Udana naturalizacja cennej rośliny lub zwierzęcia mogła prowadzić do ogromnych zysków. To właśnie w Paryżu założono pierwsze Société d'Acclimatation (w 1854 r. przez Isidore Geoffroy Saint-Hilaire), ale ekonomiczne i biznesowe znaczenie aklimatyzacji roślin i zwierząt kolonialnych — oraz przesadzania do produktywnej flory i fauny domowej kolonii — szybko zostało dostrzeżone gdzie indziej. Do 1900 roku istniało ponad pięćdziesiąt stowarzyszeń aklimatyzacyjnych, zlokalizowanych głównie w koloniach Europy. Handel spektakularnymi egzotycznymi zwierzętami i roślinami zawsze kwitł wraz z podróżnikami, ale te stowarzyszenia były zainteresowane możliwością celowego wykorzystania nauki i wiedzy fachowej w celu ulepszenia (uczynienia bardziej dochodowymi) rodzimych ekosystemów za pomocą przeszczepiania gatunków. Niektórzy zwolennicy, tacy jak Richard Owen lub Francis Trevelyan Buckland, byli zainteresowani perspektywą wprowadzenia nowych zwierząt hodowlanych na europejskie stoły, ale największe sukcesy odniesiono w koloniach, gdzie zakładano plantacje herbaty i kawy oraz eksportowano łososia, pstrąga i owce (oraz króliki) do Australii i Nowej Zelandii. Tutaj nie tylko naukowcy przemieszczali się z miejsca na miejsce: produkty pracy terenowej i praktyki również podróżowały, wspierając szerszą gospodarkę. Ta relacja między nauką a poprawą gospodarki — której kolejnym przykładem było zainteresowanie Scoresby'ego poprawą połowów wielorybów arktycznych — była znaczącym czynnikiem w rozwoju nauk terenowych. Jak zauważono, badania i wyprawy, zarówno w kraju, jak i za granicą, były wysyłane nie tylko w celu sporządzenia zapisu krajobrazu lądowego i morskiego, ale jako część tego procesu, aby zidentyfikować potencjalne źródła bogactwa botanicznego, mineralnego i zwierzęcego. Proces ten nie ograniczał się do wczesnych dni eksploracji, ale był kluczową częścią procesu imperialnego i kolonialnego: na przykład African Research Survey (1929–1939) miało na celu zidentyfikowanie i mobilizację zasobów naturalnych brytyjskiej kolonialnej Afryki. Nie zawsze było ono przeprowadzane tylko przez podróżników: na początku XX wieku kolonie europejskie aktywnie starały się przyciągnąć osadników z wiedzą techniczną w zakresie leśnictwa, medycyny, łowiectwa i rolnictwa, wśród innych specjalności, aby zarządzać i maksymalizować lokalną produkcję. Wcześni współautorzy tego, co stawało się nauką ekologii, tacy jak Reginald Stapledon (1882–1960), byli mocno zakorzenieni w tym tle doskonalenia nauki rolniczej, przemieszczania się między krajowymi i kolonialnymi miejscami badań i wnoszenia wkładu teoretycznego, gdy zmagali się z praktycznymi problemami produkcji. Jednym z zmartwień Stapledona był na przykład problem trawiastych terenów, który od dawna stanowił problem dla brytyjskich rolników — konkretnie problem tego, jak zamienić ziemię orną w pastwisko, ponieważ po zaoraniu ziemi przywrócenie jej do stanu, w którym dawała odpowiednią paszę dla zwierząt wypasanych, było bardzo trudne. W 1912 r. Stapledon rozpoczął kompleksowe badanie roślinności środkowej i północnej Walii, a w 1919 r. został pierwszym dyrektorem Welsh Plant Breeding Station, stanowisko o dużym znaczeniu, biorąc pod uwagę znaczenie produktywnych trawiastych terenów dla polityki imperialnej Wielkiej Brytanii. Jego mapy roślinności, wraz z pracami eksperymentalnymi prowadzonymi w miejscach takich jak Royal Agricultural College, umożliwiły pokazanie, w jaki sposób jakość łąk (mierzona w plonach mięsa lub mleka) może być stopniowo poprawiana. Jednak to podróże po Australii i Nowej Zelandii uświadomiły mu jedną z kluczowych kwestii, która miała stanowić podstawę ekologicznych prac terenowych — konieczność rozważenia relacji i kontekstów, a w tym kontekście uznanie, że jeśli chodzi o produktywne pastwiska, działania zwierząt gospodarskich są równie ważne, jeśli nie ważniejsze, niż celowe wysiłki w zakresie zarządzania przez człowieka. Jedno to ulepszanie natury, a zupełnie co innego, gdy ludzie tworzą ją od podstaw. Doświadczenia naukowców takich jak Lauren Donaldson (1906–1994) na amerykańskim

Północnym Zachodzie pokazały, jak niemożliwe jest eksperymentalne odtworzenie naturalnych relacji. Donaldson uważał, że można manipulować naturą w terenie, aby stworzyć ekonomicznie produktywną ekologię — a konkretnie, aby stworzyć stado łososi w Pacyficznym Północnym Zachodzie. W latach dwudziestych XX wieku rosły obawy dotyczące szkód wyrządzonych rybołówstwu przez industrializację i nadmierne połowy. Donaldson próbował zasiać w jeziorze ubogim w składniki odżywcze i łososię minerały i jaja ryb, a także wytępić lub zmarginalizować niepożądane zwierzęta i rośliny. Ostatecznie mu się nie udało. Łososi rosły, a nawet rozmnażały się w jeziorze, ale nie migrowały; bobry można było zastrzelić, ale one ciągle wracały i tamowały strumienie. Donaldson mógł stworzyć farmę rybną, a nie łowisko łososi. Zarówno dla Stapletona, jak i Donaldsona ekologiczna praca terenowa wykazała ograniczenia, jakie naturalna złożoność nałożyła na interwencję człowieka. Rozplątanie zawitej i złożonej relacji między nauką terenową a wymaganiami ekonomicznymi i handlowymi w ciągu ostatnich dwustu lat wykracza poza zakres tego rozdziału. Warto jednak zauważyć, że tak jak identyfikacja i wydobywanie zasobów biologicznych i mineralnych stanowiły centralny punkt tej relacji (od eksploratorów imperium po sponsorowanie przez Shell zarówno Royal Geographic Society, jak i National Geographic Society), tak samo obrona tych zasobów przed rozwojem, w imię ochrony przyrody, bioróżnorodności i wolności demokratycznych. Ponownie, jest to problem ściśle związany z pytaniem, w jaki sposób tożsamość naukowa jest ustanawiana i utrzymywana w kontekście nauk terenowych — w jaki sposób, kiedy i dlaczego naukowiec może być lepiej opisany jako naukowy aktywista? Jakie wpływy mają lub mogą mieć naukowcy terenowi na rozwój gospodarczy i polityczny? I — być może najważniejsze — jakie konsekwencje może mieć próba zrobienia tego dla ich zdolności do wypowiadania się z autorytetem o świecie przyrody? Następną sekcją tego rozdziału rozważy te pytania.

### **Aktywizm, autorytet i nauka terenowa**

Praca terenowa zazwyczaj oznacza pracę na terenie, lądzie lub morzu, który należy do innych grup ludzkich lub jest przez nie użytkowany. Może to powodować problemy zarówno praktyczne, jak i epistemologiczne. Na przykład pod względem metodologii badawczej wielu badaczy, zwłaszcza tych zajmujących się naukami terenowymi opartymi na obserwacji/historii, poświęciło się obserwowaniu „naturalnych” zachowań lub zdarzeń. Udali się w teren w pierwszej kolejności, ponieważ chcieli zobaczyć, jak organizmy odnoszą się do siebie w „naturalnym” kontekście, ponieważ odtworzenie złożoności naturalnych relacji w sztucznym kontekście było niemożliwe. Szczególnie cenne były zatem dziewicze miejsca, które pozostały stosunkowo nietknięte przez rozwój człowieka, ale ponieważ miejsca te były, niemal z definicji, niemożliwe do znalezienia lub uzyskania do nich dostępu, większość pracowników XX wieku zadowalała się przybliżeniami. Niemniej jednak twierdzenie, że rywal wykonywał pracę na miejscu, na którym warunki zostały istotnie zmienione przez zmiany ludzkie, pozostało zasobem retorycznym w kontrowersyjnych debatach. Przechodząc od epistemologii do praktyczności, praca terenowa praktycznie zawsze oznaczała uzyskanie pozwolenia od grup, które wcześniej rościły sobie prawa — prawne lub moralne — do przestrzeni, w której badacz chciał pracować.

### **Uzyskiwanie dostępu do pola**

Innymi słowy, miejsca pracy terenowej to nie tylko przestrzenie naukowe, ale krajobrazy robocze. Są zajmowane lub wykorzystywane przez innych ludzi i wykorzystywane do celów ekonomicznych, praktycznych, a nawet duchowych. W zależności od charakteru miejsca, ma to szereg konsekwencji dla naukowca i prowadzonych tam badań. Po pierwsze, istnieje potrzeba uzyskania pozwolenia na przebywanie w danym miejscu i związana z tym kwestia tego, co, jeśli cokolwiek, naukowiec musi lub powinien zaoferować w zamian za to pozwolenie. Po drugie, istnieje kwestia zarządzania relacjami z innymi osobami w tym miejscu, a w szczególności zarządzania wszelkim wkładem, jaki wnoszą one w

prorowadzenie tam badań. Po trzecie, istnieje problem przedstawienia wyników tych badań ludziom w kraju, czy to opiekunom naukowym/kolegom, politykom, urzędnikom państwowym, liderom biznesu czy członkom społeczeństwa. Wszystkie trzy kwestie mogą mieć znaczący wpływ na zdolność naukowca terenowego do prowadzenia badań i odbiór, jaki te badania otrzymują. Powinno być już oczywiste, że prace terenowe są prowadzone w niezwykle zróżnicowanych miejscach — od pokładu statku po szczyt góry i las deszczowy — a polityczny i biurokratyczny proces uzyskiwania pozwolenia na pracę w terenie może być niezwykle złożony. Na przykład pod koniec XX i na początku XXI wieku konieczne jest uzyskanie pozwoleń na prowadzenie prac w parkach narodowych, ostemplowanie wiz badawczych w celu umożliwienia wjazdu do krajów zagranicznych, uzyskanie licencji na import technologii lub eksport nabytych próbek. Kiedy naukowcy już byli w terenie, a może i bardziej nieformalnie, często musieli oferować zachęty, aby ułatwić im wejście na ich rzeczywiste miejsce. Mogą one obejmować oferowanie kredytu, czy to naukowego, czy pieniężnego, pomoc w rozwiązaniu problemu prawnego lub wspieranie roszczeń ekonomicznych, a ich natura zmieniała się z czasem. Na przykład antropologom w czasach imperium zezwolono na dostęp do ludów plemiennych, nie w ostatniej kolejności dlatego, że ich praca mogła pomóc urzędnikom kolonialnym w zarządzaniu „tubylcami”; w XXI wieku natomiast starsi mogli zgodzić się na współpracę z badaniami antropologicznymi w zamian za pomoc w sądowych bataliach o odzyskanie ziemi od przybywających osadników. Archeolodzy i paleontolodzy, zwłaszcza na amerykańskim Zachodzie, znaleźli się w sytuacji, w której najbardziej interesujące intelektualnie miejsca były już własnością prywatną lub znajdowały się w rezerwach indiańskich, lub były w trakcie stawania się takimi — jak odkrył dyrektor Carnegie Museum, William Holland (1848–1932) na początku XX wieku. Niezwykle bogate złoża skamieniałości odkryto wokół rancza w Nebrasce należącego do rodziny Cook, która, jak się okazało, była bardzo chętna do przyjmowania i wspierania odwiedzających naukowców, chociaż nie była chętna do prób Carnegie, aby nalegać na uprzywilejowany dostęp. Ale kiedy badacze Carnegie odmówili uznania Cooków za odkrycie złóż skamieniałości w pierwszej kolejności, relacje między rodziną a instytucją zostały poważnie nadszarpnięte. Ostatecznie rozpadły się, gdy Holland próbował uzyskać tytuł prawny do ziemi zawierającej złoża skamieniałości, która znajdowała się poza linią własności Cooka, z zamiarem wykluczenia innych naukowców. Harold Cook natychmiast zagospodarował ten obszar i był w stanie przekuć swoje praktyczne wsparcie dla badań w karierę naukową dla siebie z instytucjami takimi jak University of Nebraska i American Museum — które były bardziej skłonne do przyjęcia wkładu amatorów niż Carnegie w tym momencie.

### **Miejscowi, laicy i lokalizowanie ekspertyzy**

Jednak wkład osób, które nie identyfikowały się przede wszystkim jako naukowcy, niezależnie od tego, czy były właściwie uznawane, czy nie, zawsze odgrywał ważną rolę w prowadzeniu badań terenowych. Wcześniej omówiono osiągnięcia Edwarda Sabine'a i Williama Scoresby'ego, ale nawet po tym, jak nauka w dużej mierze stała się profesjonalna, amatorzy nadal byli kluczowi dla nauki w terenie. W kraju i za granicą naukowcy terenowi czerpali z szeregu lokalnych talentów w zbieraniu danych i okazów, niezależnie od tego, czy byli to marynarze na pokładzie statku, lokalni rolnicy czy uczniowie. Być może jednym z najsłynniejszych amatorów w historii nauki — z pewnością w historii geologii — była Mary Anning (1799–1847), chociaż użycie terminu amator w jej przypadku jest ironiczne. Kolekcjonowanie skamieniałości było dla niej przede wszystkim biznesem: jej odkrycia, czy to kultowych skamieniałości morskich kręgowców *Ichthyosaurus* i *Plesiosaurus*, czy też bardziej powszechnych amonitów i koprolitów, były sprzedawane, aby zapewnić jej i jej rodzinie utrzymanie. A jej podejście do tego biznesu było całkowicie profesjonalne: była powszechnie znana jako ekspertka i doświadczona w wykopywaniu skamieniałości, która była bardzo dobrze zaznajomiona z odpowiednią literaturą naukową. Była doceniana przez przyrodników i geologów, takich jak de la Beche i Murchison, ale jej umiejętności znajdowania i wykopywania skamieniałości nie znajdowała odzwierciedlenia w



formalnych zasługach: kiedy jej znaleziska pojawiały się w muzeach, nie były pod jej nazwiskiem, ale pod nazwiskiem jej darczyńców. Anning jest niezwykła, ponieważ jest tak dobrze znana — inni amatorzy, którzy przyczynili się do rozwoju nauki terenowej, czy to w przeszłości, czy obecnie, są w dużej mierze zapomniani, właśnie dlatego, że mają tendencję do przekazywania swoich danych (okazów lub obserwacji) naukowcom do analizy i raportowania. W tym względzie podążają za schematem ustalonym na samym początku naukowych badań terenowych. Początkowo rolę pracownika terenowego było po prostu zbieranie informacji, które następnie przekazywali z powrotem naukowcom uniwersyteckim i muzealnym w metropolitalnych centrach produkcji wiedzy. To był jeden z głównych powodów, dla których instytucje, towarzystwa naukowe i stowarzyszenia tak chętnie tworzyły podręczniki instruujące ludzi, jak i co obserwować: był to sposób kierowania ludzi z dystansu do punktów, które ci „naukowcy-kanapowcy” uważali za interesujące. Był to również i pozostaje sposób na stosunkowo wydajne zbieranie dużych ilości danych, jak w przypadku pracy Charlesa Eltona (1900–1991) z Hudson Bay Company na początku XX wieku: lokalni agenci przesyłali mu dane o liczbie zwierząt futerkowych i ich ofiar, które mógł następnie wykorzystać zarówno do doradzania Kompanii, jak i do opracowywania własnej pracy ekologicznej. Jednak te przykłady skupiają się tylko na jednym aspekcie pracy terenowej — co dzieje się z informacjami, okazami lub danymi po ich wydobyciu. To, co poprzedza ten proces, jest równie ważne. Wkład amatorów, laików i lokalnych badaczy terenowych wykraczał daleko poza samo dostarczanie informacji — ich umiejętności i praktyki były w rzeczywistości kluczowym czynnikiem w rozwoju niezawodnego naukowego badacza terenowego. Jak wcześniej zauważono, gdy naukowcy udali się w teren, odkryli, że jest on już zamieszkały przez różne grupy społeczne — i to z kultury i praktyk tych grup nauczyli się poruszać w środowisku terenowym. Omówiliśmy już związek między nauką o morzu a wojskiem, ale zwykli rybacy również stanowili źródło dla badaczy. Na przykład badanie rzeki Illinois przez ekologa Stephena Forbesa (1844–1930) czerpało inspirację i informacje od lokalnych rybaków: on i jego koledzy stosowali lokalne techniki do pracy na rzece, zbierania próbek itd., a także słuchali i korzystali z rodzimych wersji historii naturalnej rzeki. Eugenie Clark (1922–2015), czasami znana jako „The Shark Lady”, oddała hołd wiedzy i pomocy, jaką otrzymała od „najlepszego rybaka-podwodnika” Siakonga, mieszkańca wysp Pacyfiku, który uczył ją technologii i psychologii połowu ryb. Nie było to zjawisko ograniczone do XX wieku: wkład Horace'a-Bénédicta de Saussure'a (1740–1799) w naukę o górach, alpinizm i geologię został upamiętniony poprzez pomnik w Chamonix — gdzie jest on przedstawiony obok Jacques'a Balmata (1762–1834), przewodnika górskiego, który pokazał mu, że można wspiąć się na Mont Blanc. Ekspedycje i terenowe badania naukowe w ogromnym stopniu korzystały z lokalnej wiedzy i wskazówek, nie tylko pod względem realizacji celów wyprawy, ale często w odniesieniu do prostego przetrwania. Jeśli chodzi o obserwacyjne/histeryczne nauki terenowe, lokalna wiedza i praktyka są niezwykle istotne — nie w ostatniej kolejności dlatego, że podczas gdy sukces tej pracy często zależy od szczegółowej wiedzy o konkretnych miejscach, praca ta jest zwykle wykonywana przez osoby, które nie są lokalne dla danego obszaru. Na przykład w przypadku etologii i zoologii, zlokalizowanie zwierząt, które są interesujące — zwłaszcza jeśli są rzadkie — często zależy w pierwszej kolejności od rozmowy z lokalnymi mieszkańcami. Ironicznie, często najbardziej kompetentni ludzie mogą być tymi, którzy w pierwszej kolejności biorą udział w uczynieniu zwierząt rzadkimi — jak myśliwi, drwale i rybacy. Rybacy na przykład byli zatrudniani do dostarczania próbek do morskich stacji biologicznych: naukowcy podróżowali na wybrzeże, zamawiali okazy do badań i sekcji i znajdowali je na swoich biurkach następnego dnia. Jednak coraz częściej w XX i XXI wieku badacze terenowi zatrudniali lokalnych asystentów, nie tylko do znajdowania zwierząt lub roślin w pierwszej kolejności, lub do zapewniania wskazówek lub ochrony — ale do prowadzenia długoterminowej dokumentacji, która miała okazać się kluczowa dla ostatecznego autorytetu i akceptowalności pracy wyłaniającej się z tego miejsca terenowego. Większość naukowców terenowych miała w końcu zobowiązania w domu, które musieli spełnić — musieli albo wrócić, aby napisać i obronić swoje prace dyplomowe pod koniec swoich

projektów, albo wrócić na kampus, aby uczyć na początku roku akademickiego. To, co stało się z miejscem i badaniem, stało się problemem, szczególnie w odniesieniu do badań zoologicznych i ornitologicznych: czy cała praca była tam wykonywana w zakresie przyzwyczajania i identyfikacji zwierząt, które miały zostać porzucone, czy też istniał sposób zarządzania wydarzeniami w celu zachowania ciągłości? Można przekazać miejsce nowemu koledze w ramach nowego projektu — ale można również spróbować zapewnić, aby lokalni asystenci terenowi mogli prowadzić dokumentację miejsca i zapewnić stałą obecność badawczą na miejscu. Historia prymatologii w szczególności charakteryzuje się takimi wysiłkami i przejściami, chociaż niewiele z nich było bezproblemowych, a niektóre były niezwykle kontrowersyjne, z pytaniami o kwalifikacje asystentów terenowych do prowadzenia długoterminowych obserwacji. Na przykład Gombe Stream Research Centre jest jednym z najdłużej działających ośrodków badań terenowych na świecie, nie w ostatniej kolejności ze względu na zdolność lokalnych asystentów do prowadzenia obserwacji pod nieobecność badaczy. W 1960 roku warunkiem uzyskania pozwolenia na pracę Jane Goodall (1934–) w Gombe było, aby towarzyszyli jej miejscowi mężczyźni. Ich rola stała się bardziej widoczna po 1970 roku, kiedy postanowiono, że oprócz towarzyszenia studentom będą zbierać podstawowe dane na temat grup społecznych i zachowań szympanсів. Ich rola wzrosła wraz z Gombe, ponieważ coraz więcej studentów przyjeżdżało, aby pracować z Goodall i szympanсами — i stała się absolutnie niezbędna, gdy rebelianci z Zairu wzięli czterech studentów jako zakładników w 1975 roku. Rząd Tanzanii natychmiast cofnął pozwolenie na badania dla cudzoziemców w Gombe, a przez kolejne lata dane społeczne i ekologiczne zbierali asystenci terenowi. Goodall później zauważyła znaczenie wprowadzenia programów szkoleniowych dla takich osób, argumentując, że — w tym przypadku — ich zdolność do konsekwentnej i dokładnej identyfikacji poszczególnych szympanсів była podstawową kwalifikacją do wiarygodnego rejestrowania danych. W wielu innych przykładach nauk terenowych zapewnienie szkoleń lub zatrudnienia lokalnej ludności stało się częścią procesu uzyskiwania pozwolenia na prowadzenie badań — a także, dla wielu naukowców, moralnym obowiązkiem. Jednak kwestia wiarygodności tych wyników terenowych może pozostać, zwłaszcza gdy są one oceniane przez osoby znajdujące się daleko od danego miejsca badań terenowych.

### **Przyjemność, ból i popularne narracje**

Zarządzanie problemem roli odgrywanej w badaniach przez osoby bez formalnych kwalifikacji było tylko jednym z problemów, z którymi musieli zmierzyć się badacze, jeśli chodzi o relacje społeczne i tożsamości nauk terenowych. Musieli być towarzyscy, aby — jak widzieliśmy wcześniej w odniesieniu do nauk morskich — budować koalicje, które wspierałyby ich badania. Musieli przekonać ludzi — czy to naukowców, czy członków społeczeństwa — którzy mieszkali i pracowali w miejscach oddalonych od ich miejsc badań, że ich praca stanowi autorytatywny opis pewnego aspektu świata przyrody — że faktycznie zajmują się nauką w terenie. Może to być problem strukturalny, jak i akademicki. Kiedy naukowcy wyjeżdżali w teren, zwykle robili to w „wakacjach” od formalnego nauczania. Biolodzy morscy wyjeżdżali nad morze, glaciolodzy lub astronomowie w góry, botanicy do lasów i wrzosowisk — i robili to, korzystając z kolei i dróg stworzonych dla przemysłu rekreacyjnego, który pojawił się pod koniec XIX wieku. Często podróżowali z rodzinami i zatrzymywali się w domach noclegowych i zajazdach przydrożnych, z których korzystali turyści i inni podróżnicy; biwakowali, chodzili na piesze wędrówki, szkicowali i robili zdjęcia, a na pierwszy rzut oka nie można ich było odróżnić od innych profesjonalistów z klasy średniej na wakacjach. Biologia morska po opracowaniu akwalungu przez Cousteau i Gagnana jest tego szczególnym przykładem: naukowcy należeli do klubów nurkowych, a kluby nurkowe przekazywały naukowcom informacje. Czy ci ludzie pracowali, czy bawili się kosztem kogoś innego? Problem ten może być zaostrowany przez fakt, że chociaż żaden projekt naukowy niekoniecznie daje wiarygodne wyniki, nieproduktywna praca terenowa może wyglądać szczególnie podejrzanie. Jeśli projekt laboratoryjny okaże się niejednoznaczny lub przyniesie sprzeczne efekty, to

przynajmniej widoczna obecność badacza w laboratorium pokazuje, że starał się on jak najlepiej, aby odnieść sukces. Ale jak oceniasz lub nagradzasz długie okresy czasu, kiedy pracownik terenowy nie może znaleźć poszukiwanych danych lub oceniasz, z perspektywy krajowych instytucji akademickich, fizyczny wysiłek związany z dotarciem, budową i obroną stanowiska badawczego w lesie deszczowym? Listy między badaczami terenowymi a tymi w kraju ujawniają napięcia, które mogą się pojawić, gdy ci ostatni próbują sprawować zbyt dużą kontrolę na odległość — na przykład problemy spowodowane dla Geological Survey, gdy de la Beche próbował nalegać, aby urzędnicy geodezyjni szczegółowo opisywali ich codzienne ruchy (1850), lub pełna goryczy korespondencja między astronomami z Harvardu Williamem Pickeringiem i Robertem Blackiem (1889–1890). Badacze terenowi uważali, że ich autonomia zawodowa i godność muszą być szanowane: administratorzy i wyższe stanowiska martwili się, że nie zobaczą akademickiego zwrotu z finansowania. Nauka terenowa była o wiele bardziej ryzykownym biznesem niż praca laboratoryjna. Aby odnieść sukces, pracownicy terenowi musieli posiadać lub rozwijać szereg cech osobistych i talentów interpersonalnych. Musieli być towarzyscy — zdolni do podejmowania wspólnych działań i komunikowania się z różnymi grupami społecznymi, od swoich przełożonych w domu po lokalnych asystentów w terenie. Musieli być fizycznie i emocjonalnie silni i odporni. Jak wspomniano wcześniej, z definicji praca terenowa wymagała przemieszczania się w przestrzeni: nie tylko zdolności do długich godzin pracy w skupieniu, ale także sprawności fizycznej i wytrzymałości, a także zdolności do tolerowania różnych środowisk. Jak powiedział prymatolog Clarence Ray Carpenter (1905–1975), aby odnieść sukces, pracownik terenowy potrzebuje „wytrzymałości i cierpliwości jucznego muła”. Sprawozdania z pracy terenowej, od opowieści odkrywców z XIX wieku po blogi z XXI wieku, często odnoszą się do pewnego rodzaju nauki o mięśniach, w której ciało jest ponownie narzędziem do wydobycia danych z krajobrazu lądowego i morskiego. Krwawiące stopy, pęcherze na dłoniach, ataki chorób, monotonne racje żywnościowe lub ich brak, zimno, gorąco oraz nagłe i nieprzyjemne spotkania z dużą i zdecydowanie niecharakterystyczną megafauną są powszechne w tych opowieściach. Emocjonalny i psychologiczny stres był również potencjalnym problemem, szczególnie gdy praca terenowa była prowadzona samotnie w nieznanym miejscu. Ale co najważniejsze, badacze terenowi byli w stanie obrócić te problemy na swoją korzyść, szczególnie gdy opowiadali o swojej pracy szerszej publiczności, zarówno akademickiej, jak i świeckiej. W niektórych kontekstach zgłaszali, że przedłużająca się samotność może być teoretycznie i intelektualnie produktywna: napotykanie nowych zjawisk w warunkach całkowitego pochłonięcia pracą mogło generować twórczą innowację. Częściej podkreślano fizyczne i emocjonalne cierpienie, którego doświadczyli w terenie, zwłaszcza w pracach przeznaczonych do konsumpcji przez ogół społeczeństwa. Od arktycznych i tropikalnych narracji odkrywców z początku XIX wieku po relacje herpetologów z XXI wieku w Kongo, trudności i problemy napotykane i (czasami) przewyżczone przez badacza terenowego były na pierwszym planie, niezależnie od tego, czy wynikały ze środowiska fizycznego, czy społecznego. Częściowo wynikało to ze strukturalnych wymagań pisania dla masowej publiczności: w 1752 roku John Hawkesworth (1715–1773) argumentował, że aby historie odkrywców były atrakcyjne, muszą podkreślać bohaterski charakter przedsięwzięcia. Powinny one ukazywać podróżnika poświęcającego siebie w imię wiedzy, a także powinny w pierwszej kolejności przekazywać relacje naocznych świadków świata przyrody, dając widzom szansę patrzenia przez ramię, jak stawiają czoła niezwykłym wyzwaniom i stawiają im czoła. Pomimo faktu, że produkcja popularnonaukowa stała się coraz mniej szanowanym zajęciem dla naukowców w miarę postępu XX wieku, z wielu powodów naukowcy terenowi nadal chętnie publikowali takie sprawozdania. Po pierwsze i najbardziej oczywiste, były one potencjalnie dochodowym sposobem na podniesienie swojego profilu. Co ważniejsze jednak dla większości pisarzy, nie były one tylko sposobem na reklamę ich pracy, ale także na pokazanie opinii publicznej znaczenia ich pracy, co zwiększało prawdopodobieństwo utrzymania wsparcia finansowego dla ich badań. Chęć Johna Barrowa do promowania eksploracji Arktyki poprzez narracje publikowane przez Murraya i synów pokazała jego wczesną świadomość potrzeby ustanowienia szerokiego poparcia

społecznego dla badań finansowanych ze środków publicznych. Pod koniec XX wieku naukowcy nie szukali tylko wsparcia dla badań poprzez popularyzację swojej pracy, ale wsparcia dla szerszych projektów ochrony. W tym momencie nauki terenowe, wcześniej określane jako przykłady nauki obserwacyjnej/historycznej, zaczęły wykazywać niektóre cechy nauki ratowniczej, ponieważ badacze spieszyli się, aby badać organizmy i środowiska, zanim znikną na zawsze. Szczególnie w odniesieniu do pracy zoologicznej, co jest godne uwagi w tych relacjach, to sposób, w jaki naukowcy posunęli argumenty Hawkeswortha o potrzebie zdramatyzowania naukowej historii o krok dalej. Nie wystarczyło to, aby przedstawić bohaterską walkę naukowca: w tych relacjach sami poddani badaniom naukowym stają się osobowościami, walczącymi o przetrwanie i ochronę swoich rodzin w nieprzyjnym środowisku fizycznym i społecznym. Jak pokazano wcześniej w tym rozdziale, długoterminowe badania oznaczały, że naukowcy mogli poznać indywidualne historie swoich poddanych badaniom, przedstawiając ich jako postaci z własnymi historiami, motywacjami i emocjami. Taka antropomorficzna strategia oznaczała, że naukowy status autorów mógł zostać zakwestionowany; dla niektórych był to koszt, który warto było zapłacić, jeśli oznaczał publiczne wsparcie dla prac konserwatorskich.

## **Wnioski**

Zainteresowanie opinii publicznej naukami terenowymi zawsze było duże, zarówno pod względem informacji, jak i praktyki. XIX wiek — a dokładniej okres od 1930 do 1870 roku — został nazwany okresem świetności historii naturalnej, ponieważ botanika stała się szanowaną formą spędzania wolnego czasu, a salony wypełniły się kolekcjami żywych i zakonserwowanych stworzeń, od akwariów po suszone kwiaty. Jednak pod względem treści wiedzy naukowej, to właśnie zdolność nauk terenowych do opowiadania historii pochodzenia była i jest odpowiedzialna za większość jej atrakcyjności. Od geologii po astronomię i prymatologię, relacje z prac terenowych, które zdają się rzucać światło na to, skąd pochodzą ludzie i dokąd możemy zmierzać, były przekazywane za pośrednictwem czasopism, książek, radia, filmów i blogów i chciwie konsumowane przez opinię publiczną. Oczywiście, dodaje to kolejny element niepewności do roli i tożsamości naukowca terenowego — jak zauważono wcześniej, niekoniecznie kontrolują oni informacje, które pochodzą z ich miejsca pracy terenowej, i z pewnością nie kontrolują sposobu, w jaki te informacje są wykorzystywane w życiu publicznym przez różne grupy. Od Hawkesworth do dnia dzisiejszego relacje z życia w terenie były edytowane i adaptowane — nie w żadnym nikczemnym celu, ponieważ konstrukcja jakiegokolwiek narracji opiera się na wysuwaniu na pierwszy plan niektórych elementów i marginalizowaniu innych — ale z konsekwencjami dla sposobu, w jaki zachodnia opinia publiczna myśli o naturze i naszym związku z nią. Obecne w tych relacjach, ale często traktowane jako w dużej mierze marginalne, są sieci wsparcia politycznego, wsparcia komercyjnego i zobowiązania intelektualnego, które stanowią podstawę pracy terenowej. Szczególnie w ostatnich latach podkreślono rolę lokalnych społeczności zarówno w pomaganiu, jak i utrudnianiu procesu badawczego. Ale jak wielokrotnie wykazano, praca terenowa jest ściśle związana z zagadnieniami rozwoju gospodarczego, manewrów politycznych i tworzenia polityki: tak jak niektórzy pracownicy terenowi udali się w teren, aby badać relacje między organizmami, tak nauka terenowa istnieje w szerszym ekosystemie relacji, zarówno wzajemnych, jak i zaprzeczanych, między ludźmi a resztą świata przyrody. Nie chodzi o to, aby twierdzić, że inne rodzaje nauki nie wykazują takich cech, tylko że są one o wiele bardziej oczywiste w kontekście nauki terenowej, ponieważ nauka terenowa jest prowadzona na otwartej przestrzeni, a nie za ścianami laboratorium. Ale oczywiście połączenie faktu, że praca terenowa odbywa się w domenie publicznej, z łatwą dostępnością wyników i opisów badań terenowych oznacza, że wiedza specjalistyczna naukowców terenowych może czasami zostać zatarta. Jest to zaostrzone, gdy praca terenowa jest oceniana i porównywana w oparciu o dość uproszczony opis metody naukowej — takiej, która zakłada na przykład zdolność do przeprowadzania jednoznacznych eksperymentalnych testów

hipotez. Mogą istnieć aspekty nauk terenowych podatne na takie oceny, ale większość prac terenowych — wykonywanych, jak widzieliśmy, w określonych, unikalnych miejscach i przy użyciu metod obserwacji, a nie manipulacji, aby sprawować kontrolę nad swoim środowiskiem — nie jest. Ponadto, bardziej niż większość naukowców, pracownicy terenowi są świadomi ostrożności, jaką należy zachować przy interpretacji ich obserwacji i pomiarów, a także potrzeby refleksyjnego samokrytycyzmu i ostrożności przy rozważaniu relacji między teorią a obserwacjami, instrumentem a danymi. Niezależnie od tego, czy zajmują się globalnymi pomiarami klimatu, czy rozważają interakcję między dwoma młodymi pawianami, większość współczesnych naukowców terenowych wykazuje samoświadomość i pokorę, które dobrze byłoby naśladować uczonych z zakresu nauk humanistycznych i społecznych. Zrozumienie tego aspektu nauk terenowych jest szczególnie ważne, biorąc pod uwagę znaczenie, jakie wyniki badań terenowych mają dla przyszłości ludzkości. Jak zauważono, relacje z nauk terenowych były konsumowane ze względu na to, co mogą nam powiedzieć o pochodzeniu człowieka; ironią jest to, że lepsze zrozumienie historii nauk przyrodniczych może pomóc nam lepiej docenić złożoność reakcji politycznych, naukowych i kulturowych na perspektywę zagłady gatunku ludzkiego.

## **Sens życia**

### **Rozwój materializmu**

W 1818 roku powieść Mary Shelley *Frankenstein* stworzyła trwały obraz samotnego, szalonego geniusza, który używa tajemniczych sił — z katastrofalnymi konsekwencjami — aby stworzyć życie. Ale perspektywa ożywienia kompozytu zwłok nie wykraczała poza granice znanego; w rzeczywistości, jak zauważono we wstępie do książki, była to prosta ekstrapolacja z najnowszych naukowych spostrzeżeń na temat natury życia: „Wydarzenie, na którym opiera się ta fikcja, zostało uznane przez dr Darwina i niektórych niemieckich pisarzy fizjologicznych za niemożliwy do zaistnienia”. Wizja Shelley była ostrzeżeniem przed tym, co mogłoby się wydarzyć, gdyby najnowszym osiągnięciom w nauce dano wolną rękę. Gdyby naturę i pochodzenie życia postrzegano jako podlegające prawom natury, a zatem ludzkiej manipulacji, tradycyjne ramy myśli chrześcijańskiej zostałyby podważone. Zwierzęta i ludzie byłiby postrzegani jako nic więcej niż maszyny, a pojęcie nieśmiertelnej duszy zostałoby utracone wraz z mitem nadprzyrodzonego stworzenia przedstawionym w *Księdze Rodzaju*. Te niepokojące konsekwencje rzeczywistości by się pojawiły i byłyby napędzane przez szeroki zakres wydarzeń w naukach o życiu. Najbardziej oczywiste w kontekście powieści Shelleya było pojawienie się nauki fizjologii, która dążyła do zrozumienia funkcjonowania ciała w kategoriach materialistycznych. Dla Frankensteina i bardziej radykalnych fizjologów tamtego okresu ciało było po prostu maszyną, napędzaną wciąż tajemniczą siłą elektryczności (pożyczając w ten sposób jedno z najbardziej ekscytujących nowych odkryć w naukach fizycznych). Materialiści używali tego modelu życia, aby kwestionować religijny pogląd na naturę ludzką od czasów starożytnych, a ich filozofia otrzymała nowy impuls w osiemnastowiecznym wieku Oświecenia dzięki pismom Juliena Offraya de La Mettriego i innych (książka La Mettriego z 1748 roku nosiła tytuł *L’homme machine*). Nie było żadnej tajemniczej siły witalnej ożywiającej ciało, więc nie ma sensu zakładać, że istoty ludzkie mają duszę, która przetrwałaby śmierć fizycznego ciała. W XIX wieku model ten zyskał na znaczeniu w nauce, gdy fizjolodzy badali funkcje ciała za pomocą coraz bardziej wyrafinowanego zakresu technik. Zagrożenie dla tradycyjnych wartości stało się jeszcze bardziej realne, gdy nowy sposób myślenia zastosowano do samego mózgu. Fizjolodzy wykazali, że nerwy działają poprzez aktywność elektryczną, podczas gdy anatomowie udowodnili, że sekcje mózgu odpowiadają za wytwarzanie określonych funkcji umysłowych. Ludzie tłumnie zwracali się do frenologów, którzy twierdzili, że potrafią odczytać osobowość człowieka z kształtu czaszki (przypuszczalnie ujawniającego podstawową strukturę mózgu). Jednak popularna moda ukrywała głębokie zagrożenie dla chrześcijańskiej wizji duszy istniejącej niezależnie od ciała, obdarzonej wolną wolą przez swojego Stwórcę właśnie dlatego, że nie podlegała

prawom natury. Podczas gdy myśliciele religijni cofali się z przerażeniem, całe pokolenie psychologów i filozofów zostało zainspirowane do opracowania bardziej naukowej teorii na temat działania umysłu. Frankenstein ujawnia kolejny niepokojący aspekt nowych technik. Eksperymentator nie tylko badał żywe ciało — starał się nim manipulować, a tym samym kontrolować je. Straszne implikacje tej kontroli zostały podkreślone przez fikcyjne postaci od Frankensteina do doktora Moreau H. G. Wellsa, chociaż ich rzeczywiste przejawy nie stały się w pełni widoczne aż do później. Bardziej bezpośrednim zmartwieniem wielu zwykłych ludzi była pozorna obojętność wiwisekjonistów na cierpienie żywych zwierząt wykorzystywanych jako obiekty eksperymentów. Dla moralistów wydawało się oczywiste, że uodporniając się na takie działania, naukowcy torowali drogę do szerszej obojętności na konsekwencje tego, jak ich badania mogłyby zostać zastosowane. Istniał jednak inny nurt materializmu, który wzbudził własne źródła niepokoju. Odniesienie Shelleya do doktora Erasmusa Darwina przypomina nam, że jeden z zaangażowanych w to naukowców był również źródłem wczesnej wersji tego, co później nazwano ewolucjonizmem. Uważał, że powstanie życia na Ziemi w odległej przeszłości było naturalnym procesem, po którym następował stały, acz nieunikniony postęp, w wyniku którego pierwsze prymitywne formy życia stawały się coraz bardziej złożone na przestrzeni długiego okresu czasu. Ewolucjonizm wiązał się z odrzuceniem opisu stworzenia z Księgi Rodzaju i poprzez powiązanie rasy ludzkiej z „zwierzętami, które giną”, był równoległy z atakiem fizjologów na koncepcję nieśmiertelnej duszy. Wierzący nieuchronnie odrzucali tę ideę, ale radykalni myśliciele, którzy poszli w ślady Erazma Darwina, starali się zachować poczucie, że kosmos ma cel moralny, podkreślając, że ewolucja nieuchronnie kieruje zwierzęta w stronę wyższych poziomów organizacji fizycznej i umysłowej. To poczucie celu zostałoby zakwestionowane przez Karola Darwina (wnuka Erazma), którego O powstawaniu gatunków z 1859 r. zdawało się sprowadzać ewolucję do rozdziału przypadków napędzanych brutalną walką o byt. Znaczną część ewolucjonizmu z końca XIX wieku można postrzegać jako akcję straży tylnej, prowadzoną w celu zachowania elementu postępu, który dał teorii jej moralny fundament. W latach 50. XIX wieku nie można było już bronić dosłownego odczytania Księgi Rodzaju, ponieważ geolodzy wykazali, że Ziemia była świadkiem długiej serii wydarzeń poprzedzających pojawienie się ludzkości. Ustalono zarys zapisu kopalnego, potwierdzający, że życie najpierw pojawiło się w prymitywnych formach, a następnie wspięło się na skalę organizacji w toku czasu geologicznego. Nawet ci, którzy chcieli bronić idei boskiego stworzenia, musieli zaakceptować serię odrębnych epizodów twórczych, podczas gdy ewolucjoniści wykorzystywali przekaz postępu zawarty w zapisie, jak tylko mógł. Popularne rozumienie ewolucji nieuchronnie skupiało się na dowodach kopalnych, ale nowe idee dotyczące rozwoju życia pochodziły również z innego obszaru odkryć, geograficznej eksploracji globu. Naukowi podróżnicy, tacy jak Alexander von Humboldt, ujawnili wzór rozmieszczenia gatunków roślin i zwierząt na różnych kontynentach, który domagał się wyjaśnienia. Karol Darwin doszedł do swojej teorii ewolucji nie dzięki skamieniałościom, ale dzięki próbom zrozumienia rozmieszczenia geograficznego zwierząt Ameryki Południowej, które widział podczas podróży na pokładzie HMS Beagle. Rozwój ten miał miejsce na tle ogromnych zmian w statusie i organizacji nauki. Popularny obraz samotnego (i prawdopodobnie szalonego) naukowca wykonującego dziwaczne eksperymenty w jakimś odległym miejscu był coraz bardziej oderwany od rzeczywistości. Karol Darwin był bogatym amatorem (termin ten nie miał wówczas pejoratywnych konotacji), ale nauka była coraz częściej uprawiana w dużych laboratoriach komunalnych zlokalizowanych na uniwersytetach, w sponsorowanych przez rząd muzeach i badaniach oraz zakładach przemysłowych. Rządy Francji i Niemiec przewodziły w zapewnianiu wsparcia dla nauki, a fizjologia, która poprawiła nasze zrozumienie funkcji organizmu, była wykonywana w laboratoriach, które wspierały. Historia naturalna została przekształcona dzięki pracy anatomów porównawczych z muzeów historii naturalnej w Paryżu i innych wielkich miastach. Zwolennik Darwina T. H. Huxley odegrał wiodącą rolę w profesjonalizacji społeczności naukowej w Wielkiej Brytanii — jego pierwszą pracą było stanowisko paleontologa w Royal School of Mines, a on sam nieustrudzenie pracował nad ustanowieniem nauczania opartego na

laboratorium dla studentów nauk ścisłych w wielu innych instytucjach. Inny darwinista, J. D. Hooker, był dyrektorem Royal Botanic Gardens w Kew, centrum globalnej sieci kolekcjonerów roślin. Wszystko to wydarzyło się częściowo dlatego, że nauka pokazywała swoją wartość rządowi i przemysłowi jako źródło praktycznych informacji wspomagających postęp przemysłowy, medyczny i rolniczy. Fizjologia oferowała oczywiste korzyści dla zawodu lekarza, ujawniając czynniki niezbędne do zdrowej diety, podczas gdy inne odkrycia naukowe, takie jak teoria zarazków chorób, również oferowały perspektywę przyszłych lekarstw. Zawód lekarza był powolny w przyjmowaniu oferty, postrzegając swoją praktykę bardziej jako sztukę niż naukę, ale w wielu innych obszarach oczekiwano, że odkrycia naukowe zapewnią kontrolę, a także zrozumienie natury, było mile widziane. Społeczeństwo było chętne, aby doświadczyć tego, co może być oferowane, szukając informacji poprzez wystawy, muzea, wykłady publiczne i stale rozszerzający się zakres literatury drukowanej. Tutaj mamy zupełnie inny aspekt nowego materializmu, budujący w bardziej realistyczny sposób nadzieję na zdominowanie natury karykaturowanej w wizerunku Frankensteina i jego potwora. Jeśli większość nowej technologii pochodziła z nauk fizycznych, nauki przyrodnicze nie były daleko w tyle, jak pokazały medyczne zastosowania fizjologii. Darwin czerpał inspirację od hodowców zwierząt, którzy zrewolucjonizowali rolnictwo, tworząc bardziej produktywne odmiany udomowionych gatunków. Kew Gardens było centrum projektu mającego na celu przekształcenie produktywności imperium brytyjskiego poprzez transport użytecznych gatunków, takich jak kauczukowiec, z ich rodzimych siedlisk do innych regionów. Podróż Beagle'a była również produktem brytyjskiego imperializmu — głównym zadaniem statku było mapowanie wybrzeża Ameryki Południowej, aby wspomóc żeglugę, która przewoziła światowy handel. Teoria ewolucji Darwina zagrażała chrześcijańskiemu poglądowi na relację ludzkości z Bogiem, ale zdolność nauki do zaspokojenia praktycznych wymagań ludzkiego życia stanowiła równie trudne zagrożenie dla starej moralności i starego porządku społecznego.

### **Nowa nauka o życiu**

Te uogólnienia są wystarczająco trafne w zarysie, ale współczesne badania historyczne coraz bardziej ujawniają złożoność rzeczywistego przebiegu wydarzeń. Siły konserwatywne prowadziły desperacką akcję strażniczą, aby bronić tradycyjnych idei dotyczących natury i pochodzenia życia, czasami modyfikując te idee, aby dostosować je bardziej do najnowszych osiągnięć naukowych. W przypadku fizjologii pojawienie się nowej nauki poświęconej wyjaśnianiu życia w kategoriach procesów fizycznych i chemicznych było długotrwałym przedsięwzięciem, na które wpływ miał szeroki zakres czynników. Zastosowanie procedur eksperymentalnych do istot żywych otworzyło róg obfitości nowej wiedzy, pozwalając fizjologom ustanowić się jako niezależna dyscyplina wolna od pierwotnych powiązań z zawodem medycznym. Odrzucenie witalizmu (pojęcia specjalnej siły witalnej, która nie podlegała prawom fizycznego wszechświata) było integralną częścią tego procesu modernizacji. Ale profesjonalizacja była napędzana zarówno przez środowisko akademickie, jak i rozwój wiedzy. W Niemczech ekspansja liczby wydziałów fizjologii była napędzana przez rywalizację uniwersytecką, podczas gdy spóźnione nadrobienie zaległości w Wielkiej Brytanii zostało przyspieszone przez decyzję Royal College of Surgeons o wymaganiu od studentów pewnego przeszkolenia w tej dziedzinie. Nie było też żadnego prostego związku między wzrostem eksperymentalizmu a zanikającą wiarą, że żywe istoty są ożywiane przez odrębną niefizyczną siłę. Wykorzystanie eksperymentu do ujawnienia funkcjonowania żywego ciała było z pewnością kluczową cechą nowej nauki. W późniejszych dekadach XVIII wieku Albrecht von Haller zaczął definiować dyscyplinę fizjologii w oparciu o zwiększone wykorzystanie kontrolowanej obserwacji. Zostało to przyjęte z entuzjazmem na początku następnego stulecia, najpierw we Francji, potem w Niemczech, a nieco później w świecie anglojęzycznym. Eksperymentatorzy z pewnością mieli nadzieję na ustanowienie prawideł regulujących różne funkcje żywego ciała, a dla bardziej radykalnych materialistów (czasami nazywanych redukcjonistami) oznaczało to, że wszystkie te funkcje zostaną ostatecznie wyjaśnione w kategoriach chemii i fizyki.

Kiedyś uważano, że synteza mocznika z nieorganicznych związków chemicznych dokonana przez Friedricha Wöhlera w 1828 r. odegrała główną rolę w podważaniu wiary w odrębną siłę życiową. Nie można już było twierdzić, że niektóre związki można wytworzyć tylko poprzez działanie siły życiowej. Jednak badania historyczne wykazały, że synteza Wöhlera nie spowodowała tak nagłej transformacji wiary. Przez cały XIX wiek walka między witalistami a redukcjonistami wahała się w tę i z powrotem, przy czym obie strony korzystały z eksperymentów, aby poprzeć swoje wnioski. W pierwszej połowie wieku kluczowi założyciele nowej nauki albo zachowali jakąś formę witalizmu, albo odmówili otwartego poparcia dla stanowiska redukcjonistycznego. Xavier Bichat, pionierski francuski eksperymentator, zdefiniował życie jako sumę procesów opierających się degeneracji wywołanej działaniem sił fizycznych. Dla Claude'a Bernarda żywe ciało było systemem stworzonym w celu utrzymania swojego środowiska wewnętrznego w obliczu zmieniającego się świata zewnętrznego. Bez otwartego odwoływania się do siły witalnej, widział on żywe ciało jako coś więcej niż prosty system mechaniczny. W Niemczech Johannes Müller i Justus von Liebig nadal opowiadali się za witalizmem, ale inni przyjęli stanowisko równoległe do stanowiska Bernarda, widząc ciało jako wykorzystujące procesy fizyczne i chemiczne, ale robiące to w sposób, którego nie można wyjaśnić wyłącznie w kategoriach fizykochemicznych. To „telemechanicystyczne” stanowisko postrzegało ciało jako złożony, samorównoważący się system zaprojektowany tak, aby nadal zachowywać swoją integralność. Później w tym samym stuleciu popularny stał się pomysł, że ciało jest czymś więcej niż sumą jego części, pod nazwą holizmu lub organicyzmu. Funkcje ciała można było wyjaśnić tylko w kategoriach biologicznych, obejmujących poziomy organizacji niesprowadzalne do praw fizycznych. To ewolucjoniści próbowali wyjaśnić, w jaki sposób takie wyższe poziomy organizacji mogły powstać w wyniku procesów naturalnych, ale ich badania wywodziły się z zupełnie innej tradycji badawczej. Thomas Henry Huxley, jeden z głównych zwolenników Darwina, był również zwolennikiem stanowiska redukcjonistycznego, otwarcie odwołując się do starej tradycji materialistycznej, zgodnie z którą zwierzęta należy traktować jak zwykłe maszyny. Nowa teoria, że wszystkie żywe istoty składają się z komórek, kładła nacisk na „protoplazmę” w komórkach, pozwalając redukcjonistom wierzyć, że poprzez zrozumienie jej właściwości chemicznych ujawnią „fizyczną podstawę życia”. Huxley był jedną z niewielu postaci, które balansowały na granicy biologii laboratoryjnej i naukowej historii naturalnej darwinistów. Większość fizjologów nadal zajmowała się tą kwestią w kategoriach czysto eksperymentalnych, a na tym poziomie debata między redukcjonizmem a organicyzmem trwała przez jakiś czas. Na początku XX wieku John Scott Haldane nadal bronił poglądu, że ciało jest systemem zaprojektowanym w sposób, którego nigdy nie da się zrozumieć w kategoriach mechanistycznych. Nastąpił nawet krótki renesans otwartego witalizmu, zainspirowany koncepcją Hansa Driescha „entelechii” zdolnej do przewyciężenia zasad mechanicznych. Wielu fizjologów z początku XX wieku nadal pracowało z koncepcjami, które były definiowane w kategoriach czysto biologicznych, w efekcie kontynuując holistyczny pogląd, że ciało jest czymś więcej niż sumą swoich części. Podział między redukcjonistami i organicystami często opierał się bardziej na podstawach ideologicznych niż naukowych. Redukcjoniści mieli tendencję do bycia materialistami w szerszym sensie, w przeciwieństwie do tradycyjnych wierzeń religijnych i konserwatywnych sił społecznych. Organicyści pozostali przychylni idei, że w ewolucji mogą działać jakieś wyższe siły, jeśli nie w codziennym świecie. Gwałtowne ruchy antywiwiskcyjne XIX wieku były również napędzane podejrzeniami co do roli nauki jako radykalnego wpływu modernizacyjnego, co odzwierciedlało obawy wyrażone wcześniej w historii Frankenstein.

### **Elektryczność i życie**

Większość odkryć z początku XIX wieku skupiała się na procesach chemicznych podtrzymujących życie, wczesnym przykładem jest wyjaśnienie „ciepła zwierzęcego” przez analogię do spalania. Ale jak przypomina nam historia Mary Shelley, istniało również duże zainteresowanie możliwością, że ciało jest ożywiane przez siłę związaną lub nawet identyczną z elektrycznością. Odkrycie prądu



elektrycznego przez Luigiego Galvaniego zostało zainspirowane obserwacją, że noga żaby drgała pod wpływem prądu. Jego pomysł odrębnej formy elektryczności zwierzęcej został wkrótce odrzucony, co pozwoliło postrzegać samą elektryczność jako siłę, która aktywuje nerwy kontrolujące ciało. Tutaj leży początek historii Frankenstein, napędzanej przez demonstracje Giovanniego Aldiniego dotyczące konwulsji wytwarzanych w ciałach straconych przestępców, gdy byli stymulowani wstrząsami elektrycznymi. Chociaż wkrótce stało się jasne, że życia ludzkiego lub zwierzęcego nie da się przywrócić w ten sposób, możliwość, że prymitywne formy organizacji życia mogą być wytwarzane przez aktywność elektryczną, była szeroko dyskutowana przez radykalnych myślicieli. Pionierski francuski ewolucjonista Jean-Baptiste Lamarck zaproponował, że całe życie zaczęło się od prostych form generowanych w ten sposób. Pod koniec lat 30. XIX wieku Andrew Crosse twierdził, że stworzył żywe owady, przepuszczając prąd elektryczny przez pewne substancje chemiczne. Nawiązanie do historii Frankenstein nieuchronnie znalazło swoje miejsce w powstałej debacie, w której Crosse gorączkowo próbował bronić się przed oskarżeniem o bycie materialistą. Jego odkrycie zostało ostatecznie zdyskredytowane, chociaż nie wcześniej niż zostało poparte przez najbardziej kontrowersyjny tekst ewolucyjny następnej dekady, *Vestiges of the Natural History of Creation* Roberta Chambersa z 1844 roku. Tymczasem fizjolodzy kontynuowali badanie, w jaki sposób nerwy działają poprzez transmisję impulsów elektrycznych. Hermann von Helmholtz był później w stanie zmierzyć rzeczywistą prędkość, z jaką impulsy przemieszczały się wzdłuż zwojów nerwowych. Wśród popularnych pisarzy zajmujących się nauką szeroko dyskutowano przekonanie, że elektryczność jest rzeczywiście kluczem do zrozumienia życia, wraz z oczywistą możliwością, że kontrola zaangażowanych procesów będzie miała zastosowania medyczne. Alfred Smea w *Elements of Electrobiolgy* (1849) ogłosił, że całe ciało jest złożonym obwodem elektrycznym. Sam mózg był serią połączeń elektrycznych, połączonych z ciałem za pomocą nerwów, które działały w taki sam sposób jak telegraf. Zawód lekarza był bardzo krytyczny wobec prób zastosowania tej filozofii życia w leczeniu zaburzeń nerwowych, a nawet fizycznych, ale nielicencjonowani praktycy zaspokajali znaczne zainteresowanie społeczeństwa tą nową wizją życia.

### **Umysł i mózg**

Elektryczny pogląd na działanie mózgu zbiegł się z innym popularnym ruchem, również szeroko kojarzonym z materializmem i potępianym w profesjonalnych kręgach akademickich. Pod koniec XVIII wieku Franz Joseph Gall wykorzystał anatomię mózgu do zbudowania teorii, w której różne funkcje umysłowe miały być wytwarzane przez aktywność w określonych częściach mózgu. Pod nazwą „frenologia” ten pogląd na naturę człowieka został rozpowszechniony w Europie przez J. C. Spurzheima. Frenolodzy założyli, że osobowość jednostki jest determinowana przez strukturę mózgu i wierzyli, że można wywnioskować tę strukturę — a zatem naturę osobowości — z guzów na czaszce. Zwolennicy tej techniki, tacy jak George Combe z Edynburga, ogłosili ją nauką, która zreformuje społeczeństwo, pozwalając ludziom jak najlepiej wykorzystać ich wrodzone zdolności. Konstytucja człowieka Combe'a z 1832 roku była jedną z najpopularniejszych książek stulecia. Twierdził, że nie jest materialistą, ale implikacja, że umysł został stworzony przez procesy fizyczne zachodzące w mózgu, była oczywista. W ten sposób frenologia pomogła rzucić cień na tradycyjną wiarę w duszę niezależną od ciała. Frenologia stała się niezwykle popularna, pomimo potępienia w kręgach akademickich i medycznych. Konserwatywni myśliciele sprzeciwiali się jej materializmowi, ale wskazywali również, że cechy powierzchniowe czaszki nie odzwierciedlają podstawowej struktury mózgu. Frenologia ostatecznie zaczęła być postrzegana jako pseudonauka, ale podstawowa idea, że zdolności umysłowe muszą wynikać z aktywności fizycznej mózgu, pozostała wpływowa, inspirując głównych myślicieli, takich jak Herbert Spencer. Ostatecznie anatomowie zaczęli potwierdzać, że niektóre zdolności są rzeczywiście zlokalizowane w określonych obszarach mózgu. W latach 60. XIX wieku Paul Broca zidentyfikował obszar odpowiedzialny za mowę artykułowaną. Fizjolodzy badali również działanie układu nerwowego i mózgu, opierając się na odkryciu, że nerwy działają za pomocą impulsów

elektrycznych. Ale neurofizjologia i psychologia integrowały się powoli, głównie dlatego, że fizjologowie chcieli przedstawić obraz swojej nauki jako mocno opartej na eksperymencie. Zaangażowanie się w kwestie takie jak fizyczne podstawy wyższych zdolności umysłowych wyglądało zbyt podobnie do spekulacji materialistycznych, więc badanie funkcji umysłowych pozostawiono psychologom wciąż pracującym w starszej tradycji, bardziej zgodnej z filozoficzną analizą umysłu. Dopiero w XX wieku związek między neurofizjologią a psychologią został właściwie ustalony. Mimo to psychologowie filozoficzni, tacy jak William James, byli coraz bardziej zainteresowani modelem mózgu, który postrzegał go jako rodzaj obwodu elektrycznego. Biorąc pod uwagę wzrost wyrafinowania telegrafii i przemysłu elektroenergetycznego pod koniec XIX wieku, istniało wiele analogii fizycznych, dzięki którym można było zrozumieć działanie złożonej maszyny elektrycznej, takiej jak mózg. Kiedy Sigmund Freud starał się ustanowić swój rodzaj psychologii (psychoanalizy) jako niezależną dyscyplinę w latach 90. XIX wieku, skonstruował obraz jej początków, który umniejszał wpływ modeli biologicznych na jego myślenie. W rzeczywistości Freud rozpoczął karierę jako neurofizjolog, pracując nad układem nerwowym zwierząt niższych i był dobrze świadomy najnowszych idei, które wyjaśniały napięcia nerwowe poprzez analogię do wyładowań elektrycznych. Freud chciał leczyć pacjentów cierpiących na histerię, irracjonalne zachowanie, o którym uważano, że jest spowodowane stresem emocjonalnym. Twierdził, że napięcie zostało wygenerowane przez traumatyczne wydarzenia we wczesnym życiu i można je wyleczyć, namawiając pacjenta do przypomnienia sobie i skonfrontowania się z traumą. Jego podejście zostało ogłoszone czystą nauką o umyśle, operującą koncepcjami, których nie można wyjaśnić w kategoriach fizycznych lub biologicznych. Choroba psychiczna była spowodowana czysto psychologicznymi napięciami, a nie fizycznymi aberracjami w mózgu. Wraz z innymi, często bardzo różnymi podejściami, takimi jak behawioryzm (oparty na eksperymentalnych badaniach zachowania zwierząt), psychoanaliza była częścią bardziej ogólnego trendu, w którym wczesne nauki o umyśle XX wieku dążyły do zawodowej niezależności od swoich korzeni w filozofii i biologii. Droga Freuda do psychoanalizy została w rzeczywistości oświetlona zarówno przez wcześniejsze idee dotyczące funkcjonowania układu nerwowego, jak i przez ewolucyjne modele umysłu z końca XIX wieku. „Nieświadomość” Freuda była w rzeczywistości dziedzictwem naszych wczesnych zwierzęcych przodków, tylko niedoskonale przykrytymi wyższymi funkcjami psychicznymi świadomości, które pojawiły się w ostatniej fazie ewolucji człowieka. Tam, gdzie Freud różnił się od ewolucyjnych myślicieli ery Darwina, było jego założenie, że świadome „ego” często nie było w stanie kontrolować pragnień podświadomego „id” pozostałego po naszej zwierzęcej przeszłości. Model ewolucyjny, stworzony w oczekiwaniu, że ujawni triumfalny postęp umysłu w toku ewolucji, został wyrócony do góry nogami, aby ujawnić ukryte niebezpieczeństwa naszych zwierzęcych instynktów. Oto nowa forma materializmu, równie przerażająca, jak ta stworzona przez historię Frankensteinia. Nic dziwnego, że analityczna psychologia Freuda była postrzegana jako potężny symbol odrzucenia przez nowy wiek wiary w postęp wiktoriańców.

### **Pojawienie się ewolucjonizmu**

Model postępu kwestionowany przez Freuda został w dużej mierze poparty pojawieniem się ewolucjonizmu w biologii i pokrewnych dyscyplinach. Erazm Darwin zgorszył czytelników swoim ewolucjonizmem, a także swoimi ideami na temat natury życia. Zoonomia Darwina z 1794 r. przedstawiła jego teorię w terminach technicznych, ale jego radykalne idee znalazły również swoje miejsce w jego dziełach poetyckich, które były wówczas dość popularne. Natural Theology Williama Paleya z 1802 r. została napisana częściowo w celu obrony tradycyjnej wizji boskiego stworzenia przed spekulacjami Darwina. Podczas gdy Darwin widział życie zaczynające się od prostych organizmów utworzonych przez spontaniczne generowanie, a następnie wzrastające do coraz wyższych poziomów organizacji przez wiele pokoleń, Paley argumentował, że adaptację struktur gatunków do ich środowiska można wyjaśnić jedynie zakładając, że zostały zaprojektowane przez mądrego i życzliwego

Boga. Tak jak złożona struktura zegarka głosi, że został wykonany przez inteligentnego rzemieślnika, ciała żywych istot ujawniają moc, mądrość i dobroć Boga. Dla Paleya istniało tylko jedno stworzenie, ale biblijna wersja pochodzenia Ziemi była już poddawana w wątpliwość przez odkrycia w geologii. Badania zapisu kopalnego przeprowadzone przez Georges'a Cuviera we Francji i jego następców, takich jak William Buckland w Wielkiej Brytanii, ujawniły szczątki dziwnych stworzeń, których nie znamy dzisiaj, które prawdopodobnie wyginęły, zanim pojawił się obecny gatunek. Być może zostały zabite przez ogromną katastrofę geologiczną, którą Buckland próbował utożsamić z potopem Noego. Ale nawet on zdał sobie sprawę, że ostatnia katastrofa była tylko jedną z wielu, a w latach czterdziestych XIX wieku wyłonił się zarys historii Ziemi bardzo podobny do tego, który jest nadal akceptowany dzisiaj. Zarys wydawał się potwierdzać stopniowy rozwój życia od prymitywnych bezkręgowców w najstarszych okresach, przez epokę ryb, epokę gadów (termin „dinozaur” został ukuwany w 1841 r. przez Richarda Owena), epokę ssaków i wreszcie okres nowożytny, w którym pojawiła się ludzkość. Aby zachować ideę boskiego stworzenia, konieczne byłoby wyobrażenie sobie całej serii takich wydarzeń, w których wiele produktów zostało następnie wymazanych. „Argument z projektu” Paleya mógłby zostać uratowany w obliczu tych nowych odkryć, ale naturaliści byli zmuszeni do dokładniejszego przemyślenia znaczenia zmian ujawnionych przez historię życia. Alternatywny pogląd, że życie rozwinęło się dzięki prawom natury, a nie boskiemu cudowi, z pewnością krążył wśród bardziej radykalnych myślicieli, jak ujawniają spekulacje Erazma Darwina. Pojęcie projektu zostało później wywrócone do góry nogami przez wnuka Erazma, Charlesa, z jego teorią doboru naturalnego. Jednak w dziele O powstawaniu gatunków Karola Darwina przedstawiono pewien szczególny obraz tego, jak działa ewolucja, który był radykalny na więcej niż jeden sposób. Wyjaśniono w nim, w jaki sposób gatunki dostosowały się do swojego środowiska, gdy „walka o byt” wyeliminowała wszystkie oprócz najbardziej uprzywilejowanych osobników. Nalegano jednak również, aby ewolucję życia postrzegać jako rozgałęzione drzewo, którego gałęzie rozchodziły się, gdy populacje migrowały po całym świecie, rozdzielały się barierami geograficznymi i dostosowywały się do napotykanego środowiska. W żadnym wypadku nie tak postrzegała ten proces większość wczesnych ewolucjonistów, a aby zrozumieć ówczesne debaty, musimy dokładnie przemyśleć różne sposoby, w jakie można by sformułować teorię ewolucji (lub „transmutacji”, jak ją początkowo nazywano). Alternatywy najlepiej ujawniają się w pracy francuskiego współczesnego Erazma Darwina, Jeana-Baptiste'a Lamarcka, którego Philosophie zoologique z 1809 r. zaproponował podobną teorię znacznie bardziej szczegółowo. Obaj docenili fakt, że gatunki są przystosowane do swojego środowiska i zasugerowali, że stało się tak, ponieważ zwierzęta starały się dostosować swoje zachowanie do nowych warunków. Gdyby przodkowie żyraf wyciągali szyję, aby dosięgnąć liści drzew, ćwiczenie to wydłużyłoby ich szyję, a dodatkowa długość zostałaby odziedziczona przez ich potomstwo, które następnie powtórzyłoby ten proces — prowadząc ostatecznie do długiej szyi współczesnych gatunków. Jest to dziedziczenie nabytych cech, często określane jako „lamarkizm”. Chociaż odrzucili go współcześni genetycy, ten sposób dziedziczenia został zaakceptowany przez większość dziewiętnastowiecznych przyrodników, chociaż początkowo niewielu uważało go za wystarczający do wytworzenia nowych gatunków.

Ani Erazm Darwin, ani Lamarck nie mieli pojęcia o doborze naturalnym, ale nie myśleli też w kategoriach populacji przodków, które oddzielały się i rozchodziły w różnych kierunkach, aby dać „drzewo życia”. Obaj uważali, że ewolucja musi być również procesem z natury postępowym — musi koniecznie pchać żywe istoty w górę skali organizacji, aż w końcu zostanie osiągnięte coś w rodzaju ludzkiego poziomu intelektu. Lamarck argumentował, że postępowy trend był głównym czynnikiem zmiany, a adaptacja do środowiska była czysto wtórnym efektem. Model ewolucji jako drabiny postępu, a nie rozgałęzionego drzewa, miał mieć głęboki wpływ na myśl dziewiętnastowieczną, chociaż była to wizja głęboko odmienna od tej, którą Charles Darwin promował w O powstawaniu gatunków. Nawet w obrębie określonych grup zwierząt i roślin przyrodnicy myśleli w kategoriach sztywnych

trendów popychających gatunki w tym samym z góry określonym kierunku. Ewolucja musiała mieć cel i być napędzana wbudowanym trendem, który zmierzał w kierunku tego celu. To właśnie ukierunkowanie na cel większości wczesnych teorii ewolucyjnych ostatecznie uczyniło je akceptowalnymi dla liberalnych myślicieli religijnych. Georges Cuvier wyśmiał teorię Lamarcka, a historycy zwykli sądzić, że oznaczało to ich całkowite odrzucenie przez społeczność naukową. Jednak nowsze badania pokazują, że byli bardziej radykalni myśliciele, szczególnie wśród anatomów medycznych, którzy byli gotowi rzucić wyzwanie tradycyjnej hierarchii zawodowej i którzy widzieli takie materialistyczne idee jako idealny sposób na promowanie swojej sprawy. W Edynburgu Robert Grant zaskoczył młodego Karola Darwina swoim poparciem dla lamarckizmu, chociaż wówczas Darwin — wówczas młody student medycyny — nie był pod wrażeniem. Wielu wczesnych zwolenników Lamarcka nie skupiało się jednak na sugerowanym przez niego mechanizmie adaptacji (który dopiero później został zidentyfikowany jako rdzeń „lamarckizmu”), ale na idei wielu linii ewolucji posuwających się równolegle w górę skali rozwoju w kierunku ludzkości. Ten sam model rozwoju jako drabiny, a nie drzewa, rozkwitł w Niemczech wśród zwolenników J. F. Blumenbacha. Należeli do nich dobrze wyszkoleni biolodzy, tacy jak Johannes Müller, który odrzucił wszelkie pojęcie boskiego stworzenia jako zadowalającego wyjaśnienia pochodzenia nowych form życia. Rzadko rozwijali dobrze sformułowane teorie tego, co nazwalibyśmy ewolucją, a niektórzy nadal uważali, że złożone organizmy żywe mogą powstawać spontanicznie pod wpływem celowych sił natury. Oczywiście, spychałoby to ewolucję do roli drugorzędnej, chociaż często spekulowano, że każdy kontynent może mieć swoje własne pierwotne formy jako punkt wyjścia dla dalszych, z góry określonych zmian w toku czasu. W najbardziej ekstremalnej wersji oznaczało to, że różne rasy ludzkie ewoluowały niezależnie na oddzielnych kontynentach z odrębnych form przodków. W połowie XIX wieku koncepcja spontanicznego generowania w odniesieniu do złożonych form została porzucona, częściowo dlatego, że nowa teoria, że wszystkie organizmy składają się z komórek, sprawiała, że wydawała się nieprawdopodobna. Stworzyło to więcej miejsca na perspektywę ewolucyjną, choć niekoniecznie taką, która byłaby promowana w O powstawaniu gatunków. Nie było zbyt dużego entuzjazmu dla boskiego stworzenia, ale jak dotąd nie było większego nacisku na rozwinięcie liniowego modelu rozwoju w całkowicie wyartykułowaną teorię ewolucji. Zamiast tego studenci anatomii porównawczej skupili się na poszukiwaniu „praw formy”, które ustanowiłyby prawidłowości łączące różne gatunki w spójny wzór. Część wczesnych niemieckich przemyśleń na te tematy została zachęcona przez spekulatywną i mistyczną tradycję Naturphilosophie utożsamianą z Lorenzem Okenem. Poszukiwanie podstawowych wzorców łączących gatunki było czasami znane jako „anatomia transcendentna”. Ale zwolennicy Blumenbacha nie byli zwykłymi spekulantami, byli bardziej skłonni do „telemechanizmu” — idei, że natura jest napędzana przez siły fizyczne ograniczone do działania w kierunku celowych celów. We Francji również poszukiwanie ujednoczonych wzorców wśród typów życia było promowane z materialistycznej perspektywy przez Etienne'a Geoffroya Saint-Hilaire'a. Podobnie jak Lamarck, Geoffroy stał się z Cuvierem, proponując teorię transmutacji, ale jego wersja postulowała nagłe saltacje lub makromutacje, które produkowały nowe gatunki natychmiastowo poprzez pewne odchylenie w procesie rozwoju embrionalnego. Wpływowy niemiecki myśliciel J. W. Goethe uznał starcie Cuviera z Geoffroyem w 1830 r. za wielką intelektualną debatę epoki. Anatomia transcendentna promowała alternatywę dla „drabiny” modelu rozwoju, ponieważ podkreślała podstawową jedność każdej grupy żyjących gatunków. Podejście to zostało wprowadzone do Wielkiej Brytanii przez Richarda Owena, który w 1848 roku napisał o „archetypie kręgowców” — podstawowym wzorcu, na którym wzorowane były wszystkie żyjące i kopalne kręgowce. Modyfikacje nadały każdemu gatunkowi cechy, których potrzebował, aby dostosować się do panującego środowiska. Owen przedstawił swoją teorię archetypów jako wyższą formę teologii naturalnej, pozwalając nam dostrzec uporządkowanie stworzenia Boga, a także Jego dobroć. Jednak model ten wskazywał również na rozgałęziony, a nie liniowy model rozwoju, a Owen zaczął postrzegać historię życia rozwijającą się w

zapisie kopalnym bardziej jako drzewo niż drabinę. Jego dowody zostały w rzeczywistości wykorzystane w zupełnie innym celu przez Darwina w O powstawaniu gatunków. Archetyp stał się wspólnym przodkiem, z którego wyewoluowali różni bardziej wyspecjalizowani potomkowie. Debata „Vestiges”.

Kontynentalne spekulacje na temat ewolucji zostały początkowo odrzucone przez konserwatywny establishment naukowy w Wielkiej Brytanii. Owen przewodził atakom na lamarkizm w latach 30. XIX wieku, chociaż jego sprzeciw stał się mniej stanowczy z biegiem czasu. W szczególności odmówił krytyki książki, która przedstawiła nowe idee szerszej publiczności, anonimowo opublikowanej przez Roberta Chambersa *Vestiges of the Natural History of Creation* z 1844 roku. Chambers był wydawcą z Edynburga, który produkował literaturę skierowaną do rosnącej klasy średniej, dla której idea postępu była centralnym fundamentem nadziei na reformę społeczną. Jako amator przyrodnik zdał sobie sprawę, że jednym ze sposobów promowania nieuchronności postępu społecznego było przedstawienie go jako kontynuacji stopniowego rozwoju, który działał przez całą historię życia na Ziemi. *Vestiges* wprowadziło zatem teorię ewolucji postępowej wywołanej przez prawo natury, a nie boskie cuda — chociaż aby uczynić tę ideę bardziej strawną, Chambers podkreślił, że prawa zostały ustanowione przez Boga, aby osiągnąć Jego cel — produkcję racjonalnych, moralnych istot - pośrednio. Wiele tematów w książce Chambersa byłoby znanych każdemu radykalnemu myślicielowi. Ziemia została stworzona wraz z innymi roślinami przez kondensację wirującej mgławicy gazu i pyłu. Pierwsze, bardzo prymitywne, żywe istoty powstały w wyniku działania elektryczności na materię. Życie stopniowo wspinało się po skali złożoności w trakcie czasu geologicznego, napędzane prawem rozwoju, które czasami modyfikowało proces wzrostu embrionalnego, aby wytworzyć następny najwyższy stopień na skali poprzez nagły skok lub saltację. Model ewolucji Chambersa był liniowy, a nie rozgałęziony (ponieważ lepiej pasował do ogólnej ideologii postępu) i poświęcał niewiele uwagi adaptacji. Obraz przedstawiał wiele równoległych linii ewolucji o odrębnych początkach, z których każda posuwała się krok po kroku w górę mniej więcej po tej samej hierarchii organizacji. Mógł to być ewolucyjny światopogląd, ale bardzo różnił się od tego, który Darwin przedstawił piętnaście lat później. Chambers nie starał się ukryć najniebezpieczniejszej implikacji teorii: idei, że ludzie są najwyższymi produktami królestwa zwierząt. Oznaczało to, że racjonalne i moralne zdolności ludzkiego umysłu rozwinęły się stopniowo z niższych mocy umysłowych niższych zwierząt. Otwarcie głosił, że nasze funkcje umysłowe, a zatem ludzkie relacje społeczne, podlegają prawom natury. Dla tradycyjnych chrześcijan było to bezpośrednio wyzwanie dla idei, że ludzie zostali stworzeni na obraz Boga i że nasza nieśmiertelna dusza będzie sądzona przez swojego Stwórcę. Książka wywołała ogromny publiczny sprzeciw, a przewodził jej Adam Sedgwick, profesor geologii z Cambridge, który był mentorem Darwina. Duża część debaty skupiała się na naukowych słabościach stanowiska Chambersa, zwłaszcza na nieciągłości zapisu kopalnego, który w tym momencie nie ujawnił jeszcze ciągłych sekwencji ewolucyjnych. Było niemal tak, jakby szersze implikacje jego teorii były zbyt niebezpieczne, aby dyskutować o nich otwarcie (zwłaszcza, jak zasugerował Sedgwick, w obecności pań). Mimo to książka sprzedawała się dobrze, a jej idee stopniowo zaczęły znajdować drogę do literatury popularnej. Coraz więcej osób było niezadowolonych ze starego światopoglądu opartego na boskim stworzeniu i grzechu pierworodnym. W latach 50. XIX wieku nawet społeczność naukowa zaczęła rozważać na nowo swoje stanowisko. W 1855 roku Herbert Spencer opublikował lamarckowskie wyjaśnienie pojawienia się ludzkiego umysłu. Jak dotąd jednak większość przyrodników niechętnie promowała otwarcie ewolucyjny model historii życia na Ziemi. Ale Charles Darwin, który pracował nad taką teorią od lat 30. XIX wieku, wyczuł zmianę nastawienia opinii publicznej i w końcu zaczął przygotowywać się do publikacji.

## **Rozwój teorii Darwina**

Karol Darwin urodził się w 1809 roku, jego ojciec (jeden z synów Erazma Darwina) był bogatym lekarzem. Po nieudanym epizodzie jako student medycyny w Edynburgu (gdzie poznał Granta, anatoma lamarckiego) udał się do Cambridge, aby studiować nauki humanistyczne, z mglistym zamiarem zostania duchownym-przyrodnikiem. Tam przeczytał *Natural Theology* Paleya, która następnie skupiła jego uwagę na problemie wyjaśnienia, w jaki sposób gatunki przystosowały się do swojego środowiska. Rozpoczął również pracę pozalekcyjną w zakresie geologii pod kierunkiem Sedgwicka i botaniki pod kierunkiem J. S. Henslowa. To właśnie Henslow dał mu możliwość podróżowania na pokładzie statku badawczego HMS Beagle, który wyruszył w 1831 roku w pięcioletnią podróż w celu sporządzenia mapy wód Ameryki Południowej. Podczas podróży przeczytał „Zasady geologii” Charlesa Lyella i nawrócił się na pogląd uniformitarny, że powierzchnia Ziemi nie została ukształtowana przez gwałtowne katastrofy, ale przez codzienne przyczyny działające przez ogromne okresy czasu. Kiedy próbował zrozumieć odkrycia dokonane podczas podróży, ten model pomógł mu przygotować się do podejścia opartego na procesach naturalnych, a nie na cudownym stworzeniu. Najważniejsze odkrycia dotyczyły biogeografii i dotyczyły czynników, które rządzą rozmieszczeniem gatunków w przestrzeni geologicznej. Zauważył, że bariery, takie jak wielkie rzeki lub pasma górskie, często oddzielają blisko spokrewnione gatunki tej samej grupy. Punkt ten został mu najbardziej uświadomiony na Wyspach Galapagos, gdzie na różnych wyspach można było znaleźć różne gatunki przedrzeźniaczy i zięb. Kiedy rozważał te fakty po powrocie do Anglii, Darwin zdał sobie sprawę, że miałyby one sens, gdyby ptaki pochodzące od pierwotnych południowoamerykańskich gatunków rodzicielskich zostały przypadkowo przetransportowane na wyspy, gdzie każda lokalna populacja przystosowała się do swojego środowiska w nieco inny sposób. Grupowanie gatunków w rodzaje i wyższe klasyfikacje było konsekwencją rozbieżnej ewolucji od wspólnego przodka, napędzanej przez pewien proces działający na rozdrobnionych populacjach, które nie mogły się już krzyżować. Oto model „drzewa życia” opartego na ciągłym rozgałęzianiu, po którym następowała adaptacja do różnych środowisk. Pod koniec lat 30. XIX wieku Darwin rozpoczął program badawczy, aby odkryć, jak działa proces adaptacji. Znał wyjaśnienie Lamarcka i nigdy nie wątpił, że nabyte cechy są dziedziczone w pewnym stopniu, ale nie uważał, że jest to wystarczające. W celu zrozumienia, w jaki sposób gatunki się różnią, współpracował z hodowcami zwierząt i zauważył, że osiągnęli oni swoje cele poprzez sztuczną selekcję. Byli świadomi, że każdy osobnik w populacji ma swoje własne osobliwości, z których większość wydaje się nie mieć żadnego zastosowania ani celu. W populacji istnieje fundusz naturalnej zmienności, który jest niekierowany lub (mówiąc potocznie) losowy. Ale hodowca może wybrać te kilka osobników, które urodziły się z pożądanymi przez niego cechami i wybierze tylko te do rozmnażania. Kontynuując proces przez wiele pokoleń, można stworzyć wszelkiego rodzaju dziwaczne postacie, takie jak różne rasy gołębi lub psów. Darwin zastanawiał się, czy w naturze może zachodzić analogiczny proces, ale bez świadomego kierowania przez hodowcę. Jego wskazówka, jak taki proces „selekcji naturalnej” może działać, pochodziła z lektury prac Thomasa Malthusa na temat populacji. Malthus atakował spekulatywne propozycje reform społecznych, argumentując, że populacja ludzka zawsze będzie miała tendencję do przewyższania podaży żywności, więc ubóstwo jest nieuniknione, chyba że ludzie dobrowolnie ograniczą wielkość swojej rodziny. Stosując ten model do królestwa zwierząt, gdzie samoograniczenie nie ma zastosowania, Darwin zdał sobie sprawę, że musi istnieć ciągła „walka o byt” spowodowana niedoborem żywności i że w tej walce te osobniki, które były przypadkowo najlepiej przystosowane do lokalnego środowiska, przetrwają i będą się rozmnażać pomyślnie. Mniej przystosowane zostaną wyeliminowane. Był to proces analogiczny do sztucznej selekcji, ale napędzany czysto naturalnymi przyczynami i mający na celu wyłącznie adaptację do lokalnego środowiska.

Implikacje doboru naturalnego były naprawdę szokujące dla każdego wychowanego w tradycyjnym światopoglądzie opartym na boskim stworzeniu. To była ewolucja z mocy prawa, ale proces ten był czysto próbą i błędem, opartym na nieustannej walce i cierpieniu, a nie tym, czego można by się

spodziewać po mądrym i życzliwym Bogu. Jej produktem końcowym była lokalna adaptacja, a nie postępowanie w kierunku jakiegoś moralnie istotnego celu. Darwin zdawał sobie sprawę, że ewolucja jest postępowaniem w dłuższej perspektywie, ale widział, że większość gałęzi drzewa życia prowadzi jedynie do zwiększonej specjalizacji dla jakiegoś wąsko zdefiniowanego sposobu życia. Wyginięcie było nieuniknione, jeśli środowisko zmieniało się zbyt szybko lub jeśli jakiś lepiej przystosowany gatunek wkraczał na terytorium. Oto wysoce materialistyczny pogląd na życie, wzmocniony rosnącym przekonaniem Darwina, że rasa ludzka będzie musiała zostać włączona do systemu. Nasze zdolności umysłowe i moralne muszą być rozszerzeniem tych, które posiadały wyższe zwierzęta, powstałych, ponieważ zapewniały pewne korzyści naszym wczesnym przodkom, gdy oddzielali się od małp. Częściowo z obawy przed reakcją opinii publicznej Darwin postanowił nie publikować swojej teorii. Ożenił się i zaczął żyć jak dżentelmen ze wsi, a jego własna żona była głęboko zaniepokojona implikacjami jego myślenia. Kontynuował swoją pracę nad gatunkami w prywatności, zbierając dowody potwierdzające od innych przyrodników. W każdym razie był zajęty publikowaniem wyników podróży Beagle, a później ogromnym projektem opisanego i sklasyfikowania skorupiaków, wówczas mało znanej grupy. Te wysiłki miały się opłacić, gdy w końcu opublikował, ponieważ dały mu solidną reputację przyrodnika, co zapewniło, że jego teorii nie można było odrzucić jako dzikiej spekulacji. W połowie lat 50. XIX wieku wyczuł rozluźnienie niepokoju opinii publicznej w tej sprawie i poinformował o swoich pomysłach kilku innych naukowców, w tym Lyella i botanika J. D. Hookera. Zaczął pracę nad tym, co miało być wielotomowym sprawozdaniem z jego teorii do ostatecznej publikacji. Pracę tę przerwał w 1858 roku artykuł nieznanego przyrodnika, Alfreda Russela Wallace'a, który wydawał się zawierać esencję jego własnej teorii. Wallace zarabiał wówczas na życie, zbierając okazy gatunków egzotycznych na wyspach dzisiejszej Indonezji. W 1855 roku opublikował artykuł, w którym w istocie przedstawił teorię ewolucji rozbieżnej, ale bez wyraźnego przedstawienia jej implikacji. Teraz, przypomniawszy sobie wcześniejszą lekturę Malthusa, uznał, że walka o byt doprowadzi do wyginięcia nieodpowiednich odmian, a tym samym do ewolucji adaptacyjnej. Spisał ten pomysł w krótkim artykule i wysłał go do Darwina, o którym wiedział, że interesuje się tymi zagadnieniami, z prośbą o pomoc w zorganizowaniu publikacji. Artykuł Wallace'a jest powszechnie uważany za klasyczny przykład niezależnego odkrycia. Darwin z pewnością był tym przerażony, obawiając się, że zostanie wyprzedzony, i Lyell i Hooker doradzili mu, aby opublikował artykuł Wallace'a wraz z krótkim fragmentem swoich własnych pism, które można zweryfikować jako napisane wcześniej. Niektórzy historycy podejrzewają jednak, że Darwin mógł zareagować przesadnie, doszukując się zbyt wielu własnych przemyśleń w niekiedy niejasnym języku Wallace'a. Kiedy czyta się artykuł bez okularów Darwina, wydaje się prawdopodobne, że większość dyskusji koncentruje się na wyginięciu nieodpowiednich odmian lub podgatunków, a nie na eliminacji nieodpowiednich osobników w pojedynczej populacji. Wallace nie powoływał się na analogię do doboru sztucznego i pozostał podejrzliwy, kiedy później przeczytał o powstawaniu gatunków. Pochodził z biednego środowiska i nie podzielał entuzjazmu Darwina dla światopoglądu analogicznego do ducha rywalizacji wiktoriańskiego kapitalizmu. Biorąc pod uwagę te różnice i znacznie późniejsze odkrycie idei doboru, trudno uznać, że Wallace był w stanie zapoczątkować poważną rewolucję w myśleniu naukowców. Darwin tymczasem spieszył się, aby dokończyć znacznie krótsze sprawozdanie ze swojej teorii, które ukazało się pod koniec 1859 roku jako O powstawaniu gatunków. Wspólne prace Darwina i Wallace'a opublikowane w 1858 r. miały bardzo niewielki wpływ, ale teraz ukazał się szczegółowy opis teorii w formacie, którego nikt nie mógł zignorować. Debata nad prawdopodobieństwem ewolucji, która wisiała w powietrzu przez poprzednią dekadę, została teraz rozpalona wybuchowymi rezultatami.

### **Rewolucja darwinowska**

Książka Darwina wywołała ożywioną kontrowersję zarówno w nauce, jak i wśród ogółu społeczeństwa. Wrogość niektórych konserwatywnych myślicieli była tak wielka, że wynik wisiał na włosku przez

wczesne lata 60. XIX wieku. Jednak pod koniec tej dekady stało się jasne, że bitwę wygrali ewolucjoniści — lub „darwiniści”, jak zaczęli się nazywać. Jednak termin ten jest mylący, ponieważ w tamtym czasie oznaczał każdego, kto poszedł w ślady Darwina i przyjął ogólny światopogląd ewolucjonizmu. Nie oznaczał (w przeciwieństwie do współczesnego użycia tego terminu) akceptacji doboru naturalnego jako głównej przyczyny ewolucji. Nawet niektórzy z najbardziej energicznych zwolenników Darwina nie byli w pełni przekonani jego wyjaśnieniem, jak działa ten proces. Myśl późnego XIX wieku była z pewnością zdominowana przez ideę ewolucji, zarówno w nauce, jak i w wielu dziedzinach kultury i myśli społecznej. Dominowała również idea nieuchronnego postępu, a jakaś forma walki o byt była postrzegana jako siła napędowa. Jednak według standardów współczesnego darwinizmu wpływ teorii doboru naturalnego był często powierzchowny — okazało się, że istnieją inne sposoby wizualizacji „postępu poprzez walkę”, które nie zależą od selekcji losowych odmian w populacji. Popularne założenie, że natura wyeliminuje mniej wydajne gatunki, jest tego przykładem — poparli je niektórzy myśliciele, którzy nigdy nie przyznaliby, że dobór naturalny może faktycznie wytworzyć nowe gatunki. Duża część początkowej kontrowersji została wywołana przez obawy religijne i moralne. Starcie między Thomasem Henrym Huxleyem a Samuelem Wilberforcem, biskupem Oksfordu, na spotkaniu Brytyjskiego Stowarzyszenia na rzecz Postępu Nauki w 1860 roku jest często postrzegane jako wskazówka, jak potoczą się sprawy, dzięki postrzeganiu, że Huxley zwyciężył w debacie. Dla tradycyjnych chrześcijan istniały oczywiste obszary obaw, które zostałyby podniesione przez każdą teorię ewolucji. Podważono status duszy ludzkiej — w jaki sposób nieśmiertelna istota duchowa mogłaby ewoluować z „zwierząt, które giną”? Tutaj jednak nastąpił rozwój w innych dyscyplinach, który również wskazywał na perspektywę ewolucyjną. Archeolodzy odkrywali pozostałości starożytnych kultur epoki kamienia łupanego, co wskazywało na głęboką starożytność prymitywnych ludzi. Antropolodzy badający kultury z całego świata zaczęli klasyfikować je w hierarchii od najbardziej prymitywnych — niewiele lepszych od naszych przodków z epoki kamienia łupanego — aż do współczesnej cywilizacji przemysłowej. Zbyt często najbardziej prymitywni (klasycznym przykładem byli australijscy Aborygeni) byli również opisywani przez antropologów fizycznych jako posiadający cechy małopodobne i mniejsze mózgi niż „współcześni” ludzie. W przypadku braku kopalnych przodków człowieka, musieli oni zastąpić „brakujące ogniwo” w łańcuchu postępu od małpy. Kiedy skamieniałości pojawiły się później w tym stuleciu, one również zostały włączone do progresywnej sekwencji. Biorąc pod uwagę ten ogrom pozornych dowodów, nawet liberalni chrześcijanie przekonali się, że duch ludzki musiał ewoluować zgodnie z prawami ustanowionymi przez Stwórcę. Czcigodny Charles Kingsley napisał popularną opowieść *The Water Babies*, aby uczcić, w jaki sposób wysiłek i inicjatywa doprowadziły do postępu, podczas gdy bezczynność i lenistwo wyznaczały ścieżkę do degeneracji, którą podążały małpy. Kingsley popierał Darwina, a jego opowieść jest często przedstawiana jako wyraz darwinizmu, ale w rzeczywistości przyjmuje lamarckowski pogląd, że jednostki mogą się doskonalić i przekazywać swoje osiągnięcia swojemu potomstwu, aby promować postęp rasy. To było przesłanie, które było również promowane w filozofii Herberta Spencera — i pomimo ukucia kultowego terminu „przetrwanie najsilniejszych”, Spencer był w rzeczywistości lamarckowskim, który śpiewał pochwały samodoskonalenia jako fundamentu postępu społecznego i biologicznego. Opowiadał się za społeczeństwem opartym na nieograniczonej wolnej przedsiębiorczości, ponieważ uważał, że walka o byt zachęci każdego do podejmowania większych wysiłków w celu samodoskonalenia się i przekazywania korzyści przyszłym pokoleniom. W Ameryce duchowni tacy jak Henry Ward Beecher otwarcie ogłaszali się zwolennikami Spencera, postrzegając jego filozofię jako zmodernizowaną wersję protestanckiej etyki pracy. Ci spencerianie są często określane jako „społeczni darwiniści”, ale ich entuzjazm dla postępu poprzez walkę niewiele zawdzięczał idei doboru naturalnego. Dobór naturalny w swojej prawdziwej darwinowskiej formie nie wyglądał jak proces, który życzliwy Stwórca ustanowiłby, aby osiągnąć swoje cele. Wybierając niewielką garstkę bardziej przystosowanych wariantów i zabijając resztę, sprowadził ewolucję do



procesu prób i błędów, podważając wszelkie dowody projektu Boga. Niekoniecznie też prowadził do nieuchronnego postępu, chociaż w swoim O pochodzeniu człowieka Darwin próbował zidentyfikować okoliczności, które postawiły naszych przodków na drodze do wyższości umysłowej nad małpami. Zidentyfikował nasze wyjście z drzew na otwarte równiny jako kluczowy krok, sugestią zignorowaną przez większość jego współczesnych, którzy byli przekonani, że musi istnieć nieunikniona presja ewolucyjna prowadząca do większych mózgów. Darwinowski model ewolucji jako wiecznie rozgałęzionego drzewa, z ludzką gałązką jako punktem końcowym jednej gałęzi spośród wielu, po prostu nie pasował do powszechnego entuzjazmu dla idei postępu. Jeśli chodzi o większość wiktoriańskich ludzi — w tym wielu liberalnych myślicieli religijnych — ewolucja musiała mieć z góry określony cel o znaczeniu moralnym. Woleli model ewolucji jako drabiny, z samymi sobą na szczycie skali doskonałości.

### **Zaćmienie darwinizmu**

Te obawy moralne podzielało wielu naukowców. Niektórzy, jak Huxley, chętnie wykorzystywali darwinizm do dyskredytowania Kościoła, starając się zastąpić go jako źródło autorytetu we współczesnym świecie. Jednak nie chcieli być identyfikowani jako ateści pozbawieni obaw moralnych — dlatego Huxley ukuł termin „agnostyk”, aby określić tych, którzy podejrzliwie podchodzili do twierdzeń ortodoksyjnej religii. Powszechna była niechęć do postrzegania świata jako miejsca rządzonego wyłącznie metodą prób i błędów oraz preferencja dla bardziej uporządkowanych i celowych schematów ewolucji, na które już wcześniej w tym stuleciu napomykano. Z pewnością istniały problemy techniczne z teorią Darwina, a najbardziej oczywistą słabością jego idei dotyczących zmienności i dziedziczności. Jednak pod naukowymi sprzeciwami kryło się pragnienie czegoś innego — albo jako uzupełnienia doboru naturalnego, albo alternatywy — co wniosłoby element porządku i celu do procesu ewolucji. Co znamienne, sam Huxley nigdy nie był przekonany, że dobór naturalny oferuje kompletne wyjaśnienie. Wyraził preferencję dla ewolucji poprzez nagłe skoki, które natychmiast tworzyłyby nowe gatunki, co pomogłoby wyjaśnić wiele luk w zapisie kopalnym. Nie był przekonany, że wszystkie ewolucyjne zmiany przynoszą korzyści adaptacyjne, spekulując, że mogą istnieć prawa rządzące produkcją odmian, które kontrolowałyby pojawianie się nowych cech. W praktyce oznaczało to, że jego stanowisko nie różniło się aż tak bardzo od jego arcyprzeciwników Richarda Owena i St George'a Jacksona Mivarta. Owen był teraz konwertytą na ewolucjonizm, choć otwartym przeciwnikiem teorii selekcji, podczas gdy Genesis of Species Mivarta z 1871 r. oferował róg obfitości argumentów antydarwinowskich. Obaj uważali, że ewolucja będzie kierowana wzdłuż z góry określonych kanałów przez siły generowane w organizmie. Ale dostosowali się również do tradycyjnych wierzeń religijnych, sugerując, że powstałe trendy zostały w jakiś sposób zaprojektowane przez Stwórcę, co sprawiło, że ich argumenty stały się anatemą dla Huxleya. Huxley z pewnością przyjął rolę doboru naturalnego w wyjaśnianiu powierzchniowych cech adaptacyjnych posiadanych przez wszystkie gatunki, dlatego mógł zasadnie promować się jako darwinista. Nie miał czasu na lamarckowską teorię dziedziczenia nabytych cech, jednak dla większości jego współczesnych stała się ona preferowanym mechanizmem wyjaśniania adaptacyjnej ewolucji. W epoce poprzedzającej pojawienie się genetyki większość przyrodników — w tym Darwin — uważała, że taki proces jest prawdopodobny. Herbert Spencer stał się wiodącym obrońcą lamarkizmu i widzieliśmy, jak odegrał on istotną rolę w jego filozofii społecznej. Z zupełnie innej perspektywy niemiecki obrońca darwinizmu, Ernst Haeckel, również zachwycał się postępowym charakterem ewolucji i powoływał się na dużą porcję lamarkizmu (jego książki były również popularne w angielskich tłumaczeniach). Huxley, Spencer i Haeckel to trzy postacie powszechnie postrzegane jako darwiniści, którzy uzupełnili dobór naturalny innymi mechanizmami ewolucji, aby narzucić poczucie porządku lub postępu historii życia na Ziemi. Zastosowanie przez Haeckela analogii między ewolucją a postępowym rozwojem zarodka było charakterystyczne dla wielu myśli niedarwinowskich. W miarę upływu stulecia wątpliwości co do skuteczności doboru naturalnego

stawały się coraz bardziej, a nie mniej dotkliwe. W połowie XX wieku Julian Huxley, wnuk Thomasa Henry'ego Huxleya i czołowy architekt współczesnej teorii doboru, napisał, że dekady około 1900 roku były świadkami „zaćmienia darwinizmu”. Mechanizmy niedarwinowskie, niegdyś przywoływane jako uzupełnienie doboru naturalnego, były coraz częściej ogłaszane jako kompletne alternatywy. W Ameryce paleontolodzy, tacy jak Edward Drinker Cope, nalegali, że tylko lamarkizm może wyjaśnić liniowe trendy, które dostrzegli w zapisie kopalnym, powołując się również na analogię z rozwojem embrionalnym. Cope był kwakrem i opublikował w 1887 r. Teologię ewolucji, podkreślając, że lamarkizm rezygnuje z walki o byt i pozwala zachować element celowości w ewolucji. Te moralne obiekcje zostały również wyrażone poza społecznością naukową przez pisarzy takich jak Samuel Butler, którego Ewolucja stara i nowa z 1879 r. zapoczątkowała zacieklej atak na Darwina i jego teorię. Pod koniec stulecia powszechnie uważano, że niedarwinowskie wyjaśnienia ewolucji odniosły triumf, nawet w społeczności naukowej. Na początku XX wieku entuzjazm dla filozofii „kreatywnej ewolucji” Henri Bergsona zachęcił wielu biologów do myślenia niedarwinowskiego. Potrzebna byłaby nowa inicjatywa, aby umożliwić ponowne pojawienie się teorii selekcji.

### **Pojawienie się genetyki**

Pomimo „zaćmienia” pozostało jądro poparcia dla teorii doboru naturalnego. Teoria ta przynajmniej zachęcała do poparcia przekonania, że żywe organizmy muszą oddziaływać ze swoim środowiskiem, a sam Darwin pisał o „splątanych banku” tego, co później nazwano relacjami ekologicznymi. Termin „ekologia” został ukuty przez Ernsta Haeckela, chociaż ewolucjonizm odegrał stosunkowo ograniczoną rolę, gdy na przełomie wieków zaczął pojawiać się odrębny program badawczy pod tą nazwą. Wcześni ekolodzy nie byli darwinistami, a ich nauka nie była w żadnym wypadku produktem rosnących obaw o niszczenie środowiska naturalnego przez ludzkość. Bardziej bezpośrednim zainteresowaniem dla tych, którzy chcieli zachować teorię doboru naturalnego, był problem dziedziczności. Darwin założył, że nowe indywidualne odmiany są w jakiś sposób tworzone w populacji, a aby selekcja działała, te nowe cechy muszą być przekazywane przyszłym pokoleniom. Nie miał jednak pojęcia, co powodowało te odmiany, a jego teorię dziedziczenia powszechnie uznano za niezadowolającą. Sama koncepcja dziedziczności we współczesnym sensie dopiero zaczynała pojawiać się w myśleniu naukowców i dopiero pod koniec XIX wieku nastąpiły poważne zmiany koncepcyjne, aby jej znaczenie stało się oczywiste. Podobnie jak większość jego współczesnych, Darwin zakładał, że każdy organizm wytwarza czynniki (być może cząstki materialne), które rządzą rozwojem embrionalnym jego potomstwa. Dlatego nadal akceptował lamarckowski pogląd, że cechy nabyte przez rodzica mogą być dziedziczone. Nie istniało jeszcze pojęcie cech lub jednostek dziedzicznych przekazywanych przez kolejne pokolenia niezależnie od ciał rodziców. Szeroko cytowany atak na teorię selekcji w 1867 roku autorstwa Fleeminga Jenkina twierdził, że w tradycyjnym modelu dziedziczności nowe cechy zostałyby rozcieńczone do niczego w trakcie reprodukcji z niezmiennymi osobnikami. Darwiniści potrzebowali nowej koncepcji dziedziczności, a kilku zwolenników Darwina pomogło ustanowić współczesny punkt widzenia. Ale szczegółowa struktura nowej teorii, która pojawiła się na początku XX wieku — genetyki — wiele zawdzięczała również jednej z głównych alternatyw dla darwinizmu. Nowe podejście zostało zbudowane na fundamencie tego, co czasami nazywa się „twardą” dziedzicznością: twierdzeniem, że to, co jest przekazywane z rodzica na potomstwo, nie może być dotknięte zmianami w ciałach samych rodziców. („Miękka” dziedziczność to lamarckowska koncepcja, że nabyte cechy mogą być przekazywane dalej). Głównym architektem tej koncepcji był August Weismann, który wprowadził pojęcie substancji materialnej, „plazmy zarodkowej”, zawartej w jądrze komórek rozrodczych (jajka i plemnika), która była odpowiedzialna za przekazywanie cech przyszłym pokoleniom. Weismann oświadczył, że plazma zarodkowa była całkowicie odizolowana od reszty ciała organizmu, więc teoria lamarckowska była fałszywa. Przeprowadził słynny eksperyment, odcinając ogony wielu pokoleniom myszy, aby pokazać, że plazma zarodkowa do produkcji ogonów została zachowana pomimo

okaleczenia. Weismann upierał się, że dobór naturalny jest jedynym możliwym mechanizmem ewolucji adaptacyjnej. Jego zwolennicy stali się znani jako neodarwiniści (zauważ, że sam Darwin nie zostałby uznany za neodarwinistę). Przeciwwstawiali się im neolamarckiści, którzy całkowicie odrzucili dobór naturalny. Pod koniec stulecia wcale nie było jasne, że neodarwiniści odniosą zwycięstwo, chociaż późniejsze pojawienie się genetyki wzmocniło koncepcję Weismanna o twardej dziedziczności i zapewniło ostateczną eliminację lamarckizmu z biologii.

Szersze konsekwencje tego nowego poglądu na dziedziczność zostały zbadane przez kuzyna Darwina, Francisca Galtona. Nabrał przekonania, że odziedziczony charakter odgrywa kluczową rolę w sprawach ludzkich. Fizyczne i intelektualne zdolności jednostki są z góry określone przez to, co odziedziczono po rodzicach — żadna poprawa w edukacji ani środowisku nie może mieć znaczącego wpływu. Książka Galtona *Hereditary Genius* z 1869 r. podkreślała, że wysoki poziom inteligencji zawsze jest dziedziczony rodzinie. Jeszcze bardziej zależało mu na wykazaniu, że wady intelektu i charakteru są również dziedziczone, i wzywał do ograniczenia reprodukcji osób o słabym umyśle, które rzekomo rozmnażały się w slumsach wielkich miast. Był to program „eugeniki”, promowany przez Galtona jako krucjata mająca na celu ochronę rasy ludzkiej przed degeneracją. W efekcie gatunek ludzki miał zostać poddany procesowi sztucznej selekcji. Sam Galton uważał, że naturalna ewolucja może nastąpić jedynie poprzez produkcję sportów lub „saltations” — osobników urodzonych z całkowicie nową dziedziczną cechą. Jego uczeń Karl Pearson wykazał jednak, że pogląd Galtona na dziedziczność był zgodny z darwinowską teorią doboru naturalnego działającą na małe indywidualne różnicowania. Wraz z W. F. R. Weldonem założył program badawczy znany jako „biometria”, w ramach którego pobierano próbki dzikich populacji w celu zmierzenia zakresu naturalnej zmienności i zademonstrowania wpływu doboru naturalnego na ten zakres. Jeden zestaw obserwacji wykazał wyraźne zmiany w wymiarach krabów w porcie Plymouth podczas operacji pogłębiania. Pearson był również zdecydowanym zwolennikiem eugeniki w populacji ludzkiej. Ani Weismann, ani Galton i jego uczniowie nie uważali cech dziedzicznych za stałe jednostki. Pearson w istocie wykazał, że atak Fleeminga Jenkina na teorię Darwina nie trafił w sedno, zakładając, że nowe cechy pojawiają się tylko nagle, chociaż w rzeczywistości w każdej populacji występuje pewna naturalna zmienność. Często przedstawia się to graficznie jako krzywą dzwonową dla każdej cechy, przy czym większość osobników grupuje się wokół średniej, a mniejsze liczby rozciągają się do skrajności po obu stronach. To podejście sprawiło, że Pearson zaczął podejrzewać innowację, która doprowadziła do powstania współczesnej genetyki. W 1900 roku biologowie, którzy rozpoczęli eksperymenty hodowlane na szeregu różnych gatunków, zaczęli skupiać się na cesze często widocznej w rasach udomowionych, istnieniu odrębnych cech, które wydawały się być prawdziwe jako jednostki. Być może, aby zapobiec szkodliwemu spórowi o pierwszeństwo, uznali pracę nieżyjącego już Gregora Mendla za kamień węgielny swojej nowej teorii. Pracując nad udomowionym grochem w latach 60. XIX wieku Mendel ustanowił prawa, które wydawały się regulować przekazywanie odrębnych cech, takich jak kolor nasion, przez kolejne pokolenia. Po skrzyżowaniu, czyste rasowo zielone i żółte grochy nie dawały żółtozielonego potomstwa — były czysto zielone, chociaż żółta cecha pojawiała się ponownie w jednej czwartej następnego pokolenia, jeśli hybrydy zostały skrzyżowane. To właśnie istnienie tych odrębnych dziedzicznych cech zostało teraz potwierdzone w szeregu eksperymentów hodowlanych, a prawa dziedziczenia Mendla zostały pośmiertnie okrzyknięte podstawą nowego modelu dziedziczności. Ostatecznie ta nowa nauka miała ożywić losy darwinizmu, częściowo dlatego, że nie pozwalała na tworzenie genów odpowiadających nabytym modyfikacjom. Lamarckizm został zatem wykluczony — jednak początki genetyki leżały w innej niedarwinowskiej teorii, przekonaniu, że nowe cechy są wytwarzane tylko nagle przez saltacje lub „sporty natury” — co dzisiaj nazwalibyśmy makromutacjami. Kilku założycieli genetyki zaczynało jako saltacjoniści i wydaje się, że zostali zaprowadzeni od idei, że cechy są tworzone jako odrębne jednostki, do możliwości, że mogą być przekazywane przyszłym pokoleniom również jako jednostki. Hugo De Vries, najbardziej znany z

„ponownie odkrywających” prace Mendla, zaproponował teorię ewolucji przez makromutacje. William Bateson, który ukuł termin „genetyka”, również pisał na rzecz saltacji. Wiodący amerykański genetyk Thomas Hunt Morgan początkowo poparł teorię mutacji De Vriesa i skrytykował ideę, że typy nieadaptacyjne mogą zostać wyeliminowane przez dobór naturalny. Nic dziwnego, że Pearson uznał nową teorię za trudną do zaakceptowania: biometrycy nie widzieli żadnych oznak odrębnych cech w swoich dzikich populacjach i odrzucili je jako artefakty udomowienia. Tymczasem genetycy odrzucili ciągły zakres różnic indywidualnych jako przejściowy produkt wpływu środowiska. Rezultatem była ostra debata, która opóźniła pogodzenie darwinizmu i genetyki aż do lat dwudziestych i trzydziestych XX wieku. Ostatecznie powstała nowa nauka genetyki populacyjnej, oparta na uznaniu, że czasami wiele genów może wpływać na jedną cechę, więc krzywa dzwonowa normalnej zmienności składa się z licznych nakładających się efektów genetycznych. Genetyczna teoria doboru naturalnego R. A. Fishera z 1930 r. była kluczowym tekstem dostarczającym matematycznych szczegółów na temat tego, jak selekcja przez środowisko może stopniowo zmieniać proporcje genów w populacji, a tym samym powodować adaptacyjną ewolucję. Szkoła Morgana wykazała teraz istnienie licznych mutacji na małą skalę, więc mogły one zapewnić losową zmienność w populacji wymaganą przez teorię Darwina. Ten model selekcji został powiązany z badaniami terenowymi i innymi obszarami istotnymi dla ewolucji przez takie postaci jak Julian Huxley w Wielkiej Brytanii i Ernst Mayr w Ameryce, ustanawiając nową formę darwinizmu, która wkrótce zaczęła dominować w biologii. Ewolucja: nowoczesna synteza Huxleya z 1942 r. nadała teorii jej nazwę.

### **Biologia i współczesny materializm**

Kosmos zabrania szczegółowego opracowywania biologicznych osiągnięć w XX wieku i później, ale możemy zakończyć, oceniając wpływ wszystkich opisanych powyżej obszarów na sposób, w jaki myślimy o naturze ludzkiej i naszej pozycji na świecie. Niektóre zastosowania myślenia biologicznego wywołały poważne obawy społeczne, często dlatego, że opierają się na nadmiernych uproszczeniach sytuacji spopularyzowanych przez pisarzy naukowych (i zbyt często tolerowanych przez przynajmniej niektórych członków społeczności naukowej). Kiedy są one doprowadzane do skrajności, jak w przypadku bezwzględnego narzucania przez nazistów polityki eugenicznej w celu „oczyszczenia rasy”, wszyscy możemy wyrazić nasze obawy — jednak podstawowe założenie determinizmu genetycznego nadal napędza znaczną część zainteresowania społecznego rolą dziedziczności w sprawach ludzkich. Tymczasem obraz darwinizmu jako czynnika ateizmu i materializmu jest wykorzystywany przez religijnych fundamentalistów, którzy chcą kwestionować cały program nauki, kiedykolwiek jest on sprzeczny z ich interpretacją świętego tekstu. Pod koniec XIX wieku wielu wierzących pogodziło się z ewolucjonizmem, zwłaszcza w jego niedarwinowskich formach. Kiedy religijny fundamentalizm zaczął rozkwitać w Ameryce, wkrótce zaczął traktować darwinizm jako symbol trendów podważających tradycyjne wartości. Co ciekawe, darwinizm osiągnął ten stan, mimo że w tamtym czasie był jeszcze w zaćmieniu. Proces Johna Thomasa Scopesa za nauczanie ewolucjonizmu w Dayton w stanie Tennessee w 1925 roku został uznany za punkt kulminacyjny tej pierwszej fali sprzeciwu. Ponowne pojawienie się teorii doboru naturalnego w połowie XX wieku ponownie rozpało strach, że nauka sprowadza wszystko do produktu prób i błędów, czyniąc bezsensownie wszystkie wartości duchowe. W rzeczywistości niektórzy wczesni zwolennicy współczesnej syntezy darwinowskiej, tacy jak Julian Huxley, mieli nadzieję, że teoria ta może zachować pewne poczucie postępu i celu na świecie. Jednak coraz bardziej popularny obraz darwinizmu zdominowany jest przez postaci takie jak Richard Dawkins, którzy promują go właśnie dlatego, że niszczy on wszelką nadzieję, że świat został zaprojektowany przez mądrego i dobrotliwego Boga. Kreacjonizm posunął się w przeciwną stronę w swojej wersji Young Earth, głosząc dosłowną prawdę historii stworzenia z Księgi Rodzaju. Poglądy umiarkowanych myślicieli religijnych mają trudności ze zdobyciem posłuchu w powstałej atmosferze polaryzacji. Twardy model darwinizmu został w rzeczywistości złagodzony w ostatnich dekadach przez pojawienie się ewolucyjnej

biologii rozwojowej (evo-devo) i badanie epigenetyki. Stary pomysł, że każdy gen koduje konkretną cechę (co w ten sposób determinuje jej los pod wpływem selekcji) został przyćmiony przez uznanie, że interakcje genów mają złożone i czasami nieprzewidywalne rezultaty, podczas gdy procesy rozwojowe, w których informacja genetyczna jest wyrażana w organizmie, również odgrywają rolę i mogą mieć konsekwencje dla ewolucji, takie jak ograniczenie zakresu możliwych zmienności. Już w latach 70. biologowie, tacy jak Stephen Jay Gould, ostrzegali, że uproszczona wersja darwinizmu skoncentrowana na genach będzie musiała zostać doprecyzowana pod pewnymi względami, w tym możliwością szybkich epizodów zmian (teoria przerywanej równowagi). Chociaż ogólnie odrzucana przez główny nurt społeczności naukowej, pojawienie się obszarów badawczych, takich jak evo-devo, zrodziło kolejne pokolenie krytyków, którzy kwestionują autorytet teorii doboru naturalnego. Odżyły dawne, niedarwinowskie zainteresowania, jeśli nie faktyczne, niedarwinowskie mechanizmy ewolucyjne. Niektórzy twierdzą nawet, że dziedziczenie epigenetyczne (przekazywanie modyfikacji w rozwoju przez mechanizmy inne niż same geny) umożliwia pewien rodzaj lamarkizmu. Ten punkt ma również konsekwencje dla naszego rozumienia społecznego wpływu genetyki. Program eugeniczny Galtona początkowo nie powiódł się właśnie dlatego, że zaprzeczał pozytywnym efektom samodoskonalenia wymaganym do działania lamarkowskiego procesu postępu społecznego. Jednak jego poglądy zyskały wiarygodność pod koniec XIX wieku, gdy klasa średnia zaczęła coraz bardziej martwić się proliferacją „nieprzystosowanych” jednostek w populacji. Debata XX wieku byłaby spolaryzowana między zwolennikami natury (dziedziczenie biologiczne) i wychowania (środowisko i edukacja) jako czynników determinujących charakter człowieka. Program eugeniczny rozkwitł na całym świecie w pierwszej połowie wieku, na przykład kilka stanów amerykańskich wprowadziło politykę przymusowej sterylizacji osób uznanych za nieodpowiednie. Ruch ten osiągnął swój szczyt wraz z polityką nazistowskiej puryfikacji rasowej, a wynikające z niej okrucieństwa w dużym stopniu zdyskredytowały bardziej ekstremalne zastosowania pojęcia determinizmu dziedzicznego. Niemniej jednak eksplozja zainteresowania genetyką pod koniec XX wieku zachęciła do przetrwania mniej ekstremalnych wersji przekonania, że geny determinują cały charakter jednostki. Kiedy James Watson i Francis Crick zidentyfikowali strukturę DNA w 1953 roku, ich praca przyczyniła się do programu badawczego w biologii molekularnej, który miał na celu pokazanie, w jaki sposób geny są kodowane w celu wytworzenia cech i w jaki sposób te cechy są następnie rozwijane. Odkodowanie ludzkiego genomu, ogłoszone z dużym rozgłosem w 2000 roku, wzmocniło powszechne przekonanie, że geny są wszechmocne w determinowaniu cech. Badania genetyczne wywołały przesadne nadzieje, że wiele chorób — zwłaszcza rak — okaże się mieć podłoże genetyczne, co pozwoli naukowcom dostarczyć lekarzom nowych, skutecznych leków. Trwające badania pomogły ujawnić złożoność procesu, który tłumaczy geny na funkcje organizmu i podważyły proste pojęcie, że każdy gen jednoznacznie koduje jedną cechę. Obecnie stało się praktycznie niemożliwe ustalenie jasnego pojęcia tego, czym jest gen — zależy to od konkretnej sytuacji będącej przedmiotem badania. Jednak popularny pogląd nadal opiera się na założeniu, że powinien istnieć jeden gen dla każdej cechy, co zachęca do nadziei, że eliminacja szkodliwych genów może mieć natychmiastowy wpływ na zdrowie publiczne. Za kulisami nadal istnieją ekstremiści — nawet w nauce — którzy twierdzą, że szkodliwe geny są skoncentrowane w określonych klasach społecznych lub grupach rasowych. Twierdzenie, że wszyscy jesteśmy jedynie marionetkami naszych genów, jest oczywiście wodą na młyn tych, którzy postrzegają naukę jako zagrożenie dla godności człowieka. Ten sam problem pojawia się bardziej ogólnie poprzez ogromną ekspansję nauk biomedycznych pod koniec XX i XXI wieku. Wraz z odkrywaniem przez rozwój fizjologii i biochemii coraz większej liczby „sekretów życia” wzrosły oczekiwania opinii publicznej, że wyniki badań przyniosą lekarstwu na choroby. W niektórych przypadkach, a oczywistym przykładem jest rak, nadzieje te zostały rozwiane, gdy ujawniła się pełna złożoność problemu. Geny odgrywają rolę, ale wiele genów jest zaangażowanych w przypadki tego, co uważano za identyczne nowotwory, a geny reagują z wieloma wpływami środowiskowymi, aby określić rzeczywisty wynik rozwoju. Powszechne

oczekiwanie, że nauka może wyprodukować „cudowną kulę” do leczenia wszystkich problemów medycznych, uwypukla dylemat badań biomedycznych, który pośrednio powstał w wyniku rozpowszechnienia materialistycznego poglądu na życie. Takie obawy są również kluczowe w obszarze zdrowia psychicznego, gdzie redukcjonistyczny model, w którym wszystko zależy od funkcji mózgu, zagraża podważeniem tradycyjnych wartości odpowiedzialności moralnej. Pod koniec XX wieku przemysł farmaceutyczny stworzył szereg leków, które były w stanie złagodzić objawy wielu chorób psychicznych. Psychoanalityczne techniki Freuda, tak modne w środkowych dekadach stulecia, zostały zdyskredytowane. Choroby psychiczne, jak teraz twierdzono, wynikały z fizycznych zaburzeń równowagi mózgu, a nie z urazów z dzieciństwa. Jednak w rezultacie ogromna liczba osób uzależniła się od leków przeciwdepresyjnych, podczas gdy choroby psychiczne pozostały poważnym problemem w społeczeństwie. Media podkreślają obawy społeczeństwa dotyczące chorób psychicznych, ale prawnicy i socjologowie coraz bardziej obawiają się, że nasza definicja odpowiedzialności moralnej została naruszona przez uznanie, że niektóre osoby mogą mieć niewielką kontrolę nad swoimi działaniami. Jedno przynajmniej jest jasne ze wszystkich tych przykładów: naukowcy muszą coraz ściślej współpracować z opinią publiczną, aby zarządzać tym, w jaki sposób nadzieje i obawy generowane przez materialistyczny pogląd na życie będą rozwiązywane w przyszłości.

### **Mapowanie wszechświata**

Sala koncertowa w Sztokholmie, 10 grudnia 2011 r. Podczas ceremonii wręczenia Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 2011 r. astronomowie Saul Perlmutter, Adam Reiss i Brian Schmidt otrzymują nagrodę za odkrycie przyspieszającego wszechświata, odkrycie powszechnie uważane za naukowe odkrycie ostatniej ćwierci XX wieku. We wszechświecie, o którym sądzili, że dominuje przyciągające działanie grawitacji, astronomowie od dawna zakładali, że ekspansja wszechświata, która rozpoczęła się od „Wielkiego Wybuchu” około trzynastu do czternastu miliardów lat temu, ostatecznie zwolni, a być może nawet nastąpi odwrócenie tej ekspansji. Perlmutter, Reiss, Schmidt i ich współpracownicy dostarczyli przekonujących dowodów na to, że jest odwrotnie i że ekspansja przyspiesza. W czasie istoty z naszego punktu widzenia mogą spodziewać się spojrzenia na niemal pusty wszechświat, ponieważ zdecydowana większość galaktyk zniknęłaby, z wyjątkiem tych w naszym własnym „supergromadzie” galaktyk. Co jest być może najbardziej uderzające w tej kosmicznej wizji, to fakt, że astronomowie i fizycy na początku XXI wieku czuli się komfortowo, a nawet uznali to za swoje główne zadanie, aby omówić i ostatecznie wyjaśnić całą historię wszechświata, a także zmapować całą jego zawartość. Dziewiętnastowieczni astronomowie, jak również większość dwudziestowiecznych astronomów uznałaby taką pewność za absurdalną. Ten rozdział dotyczy zmian w przedsięwzięciu astronomii na przestrzeni ostatnich dwóch stuleci, w tym składu siły roboczej astronomów, a także zmieniających się poglądów astronomów na temat właściwego zakresu astronomii oraz natury i działania fizycznego wszechświata.

### **Zupełnie inny rodzaj astronoma**

Literacka postać Fanny Burney napisała w swoim dzienniku o wizycie u Williama Herschela w 1786 r.: Ten wielki i niezwykły człowiek przyjął nas niemal z otwartymi ramionami. . . . Obawiam się, że jego ogromny nowy teleskop, największy, jaki kiedykolwiek zbudowano, będzie potrzebował jeszcze roku lub dwóch na ukończenie. . . . Już teraz, dzięki temu, co ma w użyciu, odkrył półtora tysiąca wszechświatów [galaktyk w nowoczesnej terminologii]! Ile jeszcze może znaleźć, kto może zgadnąć? W 1786 r. William Herschel był sławnym, ale także najbardziej nieprawdopodobnym astronomem. Jego życie zmieniło się 13 marca 1781 r. Tego wieczoru Herschel, wówczas organista, kompozytor, dyrygent i nauczyciel muzyki w Bath, jednym z popularnych uzdrowisk XVIII-wiecznej Anglii, odkrył pierwszą planetę, jaką odkryto w zapisanej historii. Było to sensacyjne odkrycie. Przyniosło to Herschelowi sławę, a także podwoiło rozmiar znanego Układu Słonecznego, ponieważ nowa planeta znajdowała się

daleko za Saturnem. Wkrótce nastąpiło królewskie patronat, a Herschel chętnie porzucił karierę muzyczną, aby zostać astronomem na dworze Jerzego III w Windsorze. Pod koniec XVIII wieku zawodowi astronomowie skupili się na działaniu Układu Słonecznego. Dla profesjonalnych astronomów gwiazdy stanowiły tło „siatki”, na której można było nanieść pozycje i ruchy planet i komet, a następnie wyjaśnić je w kategoriach prawa powszechnego ciężenia Newtona. Każda planeta byłaby przyciągana nie tylko przez Słońce, ale także przez każdą z pozostałych planet. Orbita każdej planety nie byłaby zatem rodzajem prostej elipsy, którą Kepler obliczył na początku XVII wieku. Wzajemne przyciąganie planet oznaczało, jak obliczył Newton, że Układ Słoneczny nieuchronnie ulegnie niestabilności i rozpadowi w ciągu kilkuset lat. Dlaczego więc nie zginął? Newton był pewien, że Bóg bezpośrednio interweniował, aby utrzymać stabilny porządek. Pod koniec XVIII wieku wybitni francuscy matematycy P. S. Laplace i J. L. Lagrange ponownie zbadali wzajemne przyciąganie grawitacyjne członków Układu Słonecznego za pomocą nowych narzędzi matematycznych, które wykraczały poza te opracowane przez Newtona. Laplace i Lagrange wykazali ku zadowoleniu swoich kolegów, że Układ Słoneczny jest stabilny, a stabilność, jak uważali Laplace i Lagrange, wynikała z działania praw natury. Nie było potrzeby powoływania się na działanie boskie. Dla niemal wszystkich astronomów i matematyków w latach około 1800 system Newtona był niepodważalnie prawdziwym systemem świata. Zainteresowania i podejście Herschela do astronomii radykalnie różniły się od „astronomii pozycyjnej” astronomów matematycznych. Herschel wyróżniał się na tle swoich współczesnych jako samozwańczy historyk przyrody nieba. Wielkim projektem Herschela i ostatecznym celem jego obserwacji była „Budowa Niebios”. W tym celu starał się określić układ naszego własnego układu gwiazdowego — Drogi Mlecznej — a także układ i rozwój innych układów gwiazdowych (co Fanny Burney nazywała wszechświatami), kwestie, które generalnie wzbudziły niewielkie zainteresowanie matematyków i profesjonalnych astronomów. W tym samym czasie, gdy niektórzy studenci Ziemi, tacy jak James Hutton, rozwijali idee „głębokiego czasu”, Herschel był zafascynowany i był pionierem w badaniu głębokiej przestrzeni, wysiłku, aby wyobrazić sobie sferę gwiazdową w trzech wymiarach. Jako niebiański botanik dążący do „Budowy Niebios” Herschel przeszukiwał niebo swoimi teleskopami, aby zbierać astronomiczne „okazy”, katalogować je i szukać oraz spekulować na temat możliwych powiązań między różnymi okazami. Sukces Herschela jako konstruktora teleskopów zwierciadlanych był również podstawą jego astronomicznych przedsięwzięć. Podczas gdy refraktory wykorzystują soczewki do tworzenia obrazów, głównym zwierciadłem jest zwierciadło pierwotne lub główne. Chociaż był samoukiem w zakresie wytwarzania i polerowania zwierciadeł, Herschel stworzył najlepsze zwierciadła i najpotężniejsze teleskopy, jakie kiedykolwiek zbudowano. Budowa teleskopu Williama Herschela była również częściowo wysiłkiem rodzinnym ze znaczną pomocą jego brata Alexandra, ale co najważniejsze, jego siostry Caroline. Będąc utalentowaną astronomką, która odkryła osiem komet, ona i William okazali się najbardziej produktywną parą współpracującą w historii astronomii. W czasach, gdy kobiety były generalnie wykluczone z kariery astronoma, Caroline zignorowała te ograniczenia. Powiązania rodzinne były ważne również dla innych kobiet. Jérôme Lalande był jednym z czołowych astronomów końca XVIII i początku XIX wieku i w swoich badaniach pomagało mu kilku członków rodziny, w tym jego córka Amélie.

Obserwacje mgławic Caroline Herschel — widocznych jako słabe smugi światła na niebie — przekonały jej brata na początku lat 80. XVIII wieku do systematycznego przeszukiwania nieba w poszukiwaniu kolejnych. Kiedy William i Caroline rozpoczęli polowanie na mgławice, znanych było około stu. Do czasu, gdy skończyli, skatalogowali ponad dwa i pół tysiąca. Ale czym były mgławice? William Herschel podawał różne odpowiedzi w różnych momentach. Na przykład w 1785 roku uważał, że wygląd Mgławicy Andromedy jest wynikiem „zjednoczonego blasku milionów gwiazd”, ale pod koniec swojego życia, kiedy zasugerował, że wiele mgławic to pojedyncze gwiazdy lub komety w trakcie formowania, nie był pewien ich natury. Ponadto niebiosa wykazywały wiele różnych „okazów” mgławicowości.

Herschel uważał, że wahały się one od niezwykle rozproszonej mgławicy do mgławicy, z której gwiazdy zaczynają się formować, aż po, na drugim końcu, bardzo zagęszczone gromady gwiazd. Te okazy były ponadto uporządkowane według wieku, a podróż od mgławicy do gromad gwiazd napędzana była przez przyciągającą siłę grawitacji działającą w czasie. Być może na końcu sekwencji miały miejsce niezwykle wydarzenia, rozpad, po którym następowało odnowienie. „Te gromady mogą być laboratoriami wszechświata”, zasugerował Herschel, „w których przygotowywane są najbardziej zbawienne środki zaradcze na rozpad całości”. Światło uwalniane podczas katastrofalnego upadku gromad gwiazd, jak również światło emitowane bardziej ogólnie przez ciała świetliste, w niektórych miejscach w przestrzeni byłoby wystarczająco gęste, aby utworzyć mgławicę, rozpoczynając cykl od nowa. Syn Williama, John, dokończył ojcowskie przeglądy nieba, zabierając przebudowaną wersję najbardziej udanego teleskopu Williama do Południowej Afryki, aby przeszukać południowe niebo. Najprawdopodobniej, jak napisał John w 1826 r., mgławice należy interpretować jako „samoświecącą lub fosforyzującą substancję materialną w stanie silnie rozszerzonym lub gazowym, ale stopniowo opadającą dzięki wzajemnemu przyciąganiu jej cząsteczek do gwiazd i układów gwiazdowych”, ale w obecnym stanie naszej wiedzy najlepiej byłoby „odrzuć hipotezę i uciec się (być może przez kolejne stulecia) do obserwacji”. Współcześni Johna generalnie nie byli tak ostrożni. Wielu uważało, że jego ojciec przedstawił przekonujący argument na rzecz prawdziwie mgławicowej materii. Obserwacje starszego Herschela były kluczowym źródłem dla teorii P. S. Laplace'a na temat rozwoju naszego Układu Słonecznego i innych układów słonecznych, teorii, która po raz pierwszy pojawiła się jako długa notatka dołączona do końca Exposition du système du monde Laplace'a z 1796 r. Dlaczego, pytał Laplace, siedem znanych planet i ich czternaście księżyców krąży wokół Słońca w tej samej płaszczyźnie i w tym samym kierunku? Prawdopodobieństwo, że wydarzyło się to przypadkowo, było znikome. Nie było też naukowe powoływanie się na boskie nakazy. Zamiast tego, argumentował Laplace, układ i struktura Układu Słonecznego wynikały ze sposobu, w jaki planety i ich satelity skondensowały się z kurczącej się zewnętrznej, wirującej mgławicowej atmosfery Słońca.

### **Astronomia pozycyjna**

William Herschel był postacią wybitną dla swoich współczesnych, ale woleli oni kierować swoją energię ku celom, które nie były celami Herschela. W chwili śmierci Herschela - 1822 - astronomia zawodowa oznaczała astronomię pozycyjną. Oparta na teorii Newtona astronomia pozycyjna była również ściśle związana z interesami państwa i w wielu względach napędzana przez nie, a istniały gotowe uzasadnienia dla wsparcia państwa w zakresie praktycznej nawigacji, pomiarów i geografii. Aby zmapować Ziemię, geodeci patrzyli w niebo. Ponadto astronomia końca XVIII i XIX wieku była bardzo ważną częścią globalnych i imperialnych projektów Wielkiej Brytanii, Francji i różnych innych państw narodowych. Jednak te uzasadnienia nie opowiadają całej historii, ponieważ funkcje oficjalnych obserwatoriów — tych ustanowionych przez rządy krajowe lub lokalne lub przez uniwersytety — były częściowo związane z innymi celami. Były to symboliczne instytucje stworzone w celu wykazania oświeconego zaangażowania w wysoce precyzyjną formę nauki, często przy użyciu najnowocześniejszych instrumentów. „Nie było” — zauważył jeden historyk — „na ogół żadnego jasnego celu teoretycznego w tym ćwiczeniu, a same obserwacje często pozostawały niepublikowane lub jeśli zostały opublikowane, pozostawały niewykorzystane”. Takie obserwatoria były prestiżowe i służyły jako symbole „stabilności, integralności, porządku, trwałości”. Konstruowanie katalogu gwiazd było również projektem moralnym, ponieważ astronomowie dążyli do jak najdokładniejszych pozycji gwiazd, nawet jeśli poziom dokładności przekraczał wymagania praktycznych celów, do których katalogi mogły być wykorzystywane. Wiodącym przedstawicielem astronomii pozycyjnej w pierwszej połowie XIX wieku był niemiecki astronom F. W. Bessel. Nieustępliwy nacisk, jaki Bessel kładł na używanie doskonałych instrumentów i na rygorystyczne rozliczanie i redukcję błędów, był centralnym punktem jego rozwiązania bardzo długotrwałego problemu: określania „paralaksy gwiazdowej” lub



odległości do gwiazdy poprzez bezpośredni pomiar. Podstawowa technika była dobrze znana od dawna. Polegała na wykorzystaniu orbity Ziemi wokół Słońca jako punktu odniesienia, z którego można było obserwować gwiazdę z różnych pozycji. Ruch Ziemi odzwierciedlałby zmiany położenia stosunkowo bliskiej gwiazdy w porównaniu z tłem odległych i zasadniczo stałych gwiazd. Na początku XIX wieku astronomowie wiedzieli z wcześniejszych, nieudanych prób, że wielkość przesunięć będzie niewielka i trudna do wykrycia. Po ponad dwudziestu latach uważnych obserwacji 61 Cygni, mało znanej gwiazdy widocznej gołym okiem w gwiazdozbiornie Łabędzia, Bessel ogłosił w 1838 roku, że rzeczywiście zmierzył odległość, a jego odpowiedź, wynosząca prawie jedenaście lat świetlnych, jest bliska współczesnym ustaleniom. Jak oświadczył John Herschel, gdy przyznał Besselowi Złoty Medal Brytyjskiego Królewskiego Towarzystwa Astronomicznego, gratuluję wam i sobie, że przeżyliśmy... zobaczyć wielką i dotąd nieprzekraczalną barierę dla naszych wycieczek do gwiazdowego wszechświata, barierę, o którą tak długo i tak daremnie walczyliśmy... prawie jednocześnie nałożyła się na siebie w trzech różnych punktach. Jest to największy i najwspanialszy triumf, jakiego kiedykolwiek doświadczyła praktyczna astronomia. Wzmianka Herschela o „trzech różnych punktach” odnosi się do niemal równoczesnych pomiarów paralaksy przez Bessela, Wilhelma Struvego w Dorpacie — w rzeczywistości znalazł odległość do jasnej gwiazdy Wega, zanim Bessel wykrył ją dla 61 Cygni, ale opublikował swój wynik później — a Thomas Henderson na Przylądku Dobrej Nadziei zmierzył odległość do jasnej gwiazdy południowej Alfa Centauri. Niemieckie metody astronomii pozycyjnej zostały zaadaptowane i rozwinięte przez George'a Biddella Airy'ego w czasie jego kadencji jako Królewskiego Astronoma i szefa Królewskiego Obserwatorium w Greenwich w latach 1835–1881. Thomas Hardy w swojej powieści z 1882 r. Dwoje na wieży nadal potrafił przedstawić życie astronoma w romantycznym świetle, jako osobę zmagającą się z kosmicznymi pytaniami, stojącą na wieży strażniczej skanującej niebo. W Greenwich Airy'ego i wielu innych obserwatoriach rzeczywistość była zupełnie inna. Podczas gdy przemysłowcy mierzyli swoje zyski w kategoriach pieniędzy, Airy mierzył „zyski” Greenwich w odniesieniu do użyteczności publicznej i prestiżu naukowego. Obserwatorium działało w pewnym sensie jak rodzaj biura księgowego lub małej fabryki, w której istniała ścisła hierarchia personelu i sztywny podział pracy. Obserwatorzy, nie tylko obiekty astronomiczne, byli sami przedmiotem kontroli, ponieważ Airy starał się zmechanizować praktyki obserwacyjne. Możliwości astronomii zostały podkreślone przez odkrycie Neptuna w 1846 r. jako bezpośredni wynik obliczeń francuskiego astronoma U. J. J. Le Verriera dotyczących istnienia i lokalizacji takiej planety. Bezprecedensowe odkrycie wywołało wielkie emocje i zacięłą walkę o uznanie, w której wielu brytyjskich naukowców naciskało na roszczenia Johna Coucha Adamsa, który wykonał podobne obliczenia do Le Verriera, ale nie opublikował ich przed odkryciem. Przed ustaleniem nazwy „Neptun” toczyła się nawet zacięta debata na temat nazwy nowej planety. Benjamin Peirce, amerykański astronom, również twierdził, że odkrycie było „szczęśliwym zbiegiem okoliczności”. Według Peirce'a obliczona planeta i zaobserwowana planeta miały tak różne orbity, że odkrycie musiało być wynikiem szczęścia. Rezultatem tych kontrowersji było to, że Le Verrier i Adams byli ogólnie chwaleni jako współmatematyczni odkrywcy planety, a odkrycie nie było szczęśliwym zbiegiem okoliczności. Neptun był powszechnie uznawany za spektakularny triumf nauki. Rzeczywiście, jaki mógłby być bardziej uderzający dowód doskonałości astronomii niż przewidywanie istnienia i miejsca dużej planety? Astronomia naprawdę wydawała się być królową nauk.

### **Natura mgławic**

William Herschel pod koniec XVIII wieku przekształcił teleskop zwierciadlany w poważne narzędzie badawcze. Inni byli zainspirowani jego wysiłkami w próbie stworzenia jeszcze potężniejszych reflektorów. Jednym z nich był trzeci hrabia Rosse, irlandzki szlachcic, który rozpoczął swoje eksperymenty w Parsonstown w środkowej Irlandii w latach dwudziestych XIX wieku. Najbardziej ambitny teleskop Rosse'a miał główne lustro o średnicy 72 cali i ważył około czterech ton. Zwiedzający,

który był świadkiem wznoszenia teleskopu, był zdumiony „gigantyczną skalą” tego przedsięwzięcia. Ten kolosalny teleskop — stał się znany jako „Lewiatan Parsonstown” — został ukończony w 1845 roku. Pomimo ograniczonego obszaru nieba, który mógł zbadać i jego położenia pod często zachmurzonym niebem środkowej Irlandii, Rosse i jego koledzy obserwatorzy byli ważnymi postaciami w szeroko zakrojonych debatach na temat natury mgławic. W latach 30. XIX wieku debaty na temat istnienia mgławicowego płynu we wszechświecie stały się nacechowane politycznie, moralnie i religijnie. Ekonomista polityczny i astronom z Glasgow John Pringle Nichol, między innymi, wykorzystał hipotezę mgławicową Laplace’a i ewolucyjny pogląd na Układ Słoneczny, aby argumentować, że przedstawia to ogólny model powszechnego postępu, który uzasadnia reformę polityczną. Robert Chambers był członkiem kręgu Nicholisa, a jego sensacyjne dzieło *Vestiges of the Natural History of Creation*, opublikowane po raz pierwszy anonimowo w 1844 r., przedstawiało wielką teorię rozwoju kosmicznego, która przebiegała od mgławicowej materii do istot ludzkich. Natomiast Thomas Romney Robinson, dyrektor Obserwatorium Armagh i jeden z obserwatorów regularnie korzystających z Lewiatana z Parsonstown, był konserwatystą politycznym i stanowczym krytykiem hipotezy mgławicowej. Już przed skierowaniem Lewiatana w niebo utrzymywał, że podważy hipotezę Laplace’a (i roszczenia do reformy politycznej) poprzez rozdzielenie mgławic na chmury gwiazd. Kiedy ogłosił, że wiele mgławic zostało rzeczywiście rozdzielonych na gwiazdy przez Lewiatana wkrótce po jego uruchomieniu, Robinson stwierdził ponadto, że byłoby „niefilozoficzne” nie wyciągnąć wniosku, że przy użyciu wystarczająco dużego teleskopu, każda mgławica może zostać rozdzielona na gwiazdy. Debata na temat życia pozaziemskiego została również wpleciona w spory o rozdzielenie mgławic. W połowie XIX wieku większość astronomów zaakceptowała, że życie istnieje poza Ziemią. Jedną z postaci, która podjęła ostry sprzeciw, był polihistor z Cambridge i pobożny anglikanin William Whewell. W 1854 roku napisał *Of the Plurality of Worlds: An Essay* i ku przerażeniu wielu współczesnych oświadczył, że argumenty pluralistów są wadliwe pod względem naukowym. Mgławice nie były systemami gwiazdowymi, które stały się mleczne i mgławicowe z powodu swojej wielkiej odległości. Przyjęte idee dotyczące życia pozaziemskiego były również religijnie niebezpieczne. Jeśli istoty zamieszkiwały inne planety, w jaki sposób Chrystus mógł objawić się wszystkim tym różnym mieszkańcom w tych różnych miejscach? Dla Whewella, pragnącego ograniczyć liczbę możliwych miejsc zamieszkania życia, nasz własny układ galaktyczny, Droga Mleczna, obejmuje cały widoczny wszechświat, a mgławice nie są odległymi systemami gwiazdowymi, które leżą poza jego granicami. Duże teleskopy były centralnym punktem debat na temat mgławic w pierwszej połowie XIX wieku. W latach 60. XIX wieku nowe narzędzie, spektroskop, skierowało te debaty w uderzająco nowych kierunkach.

## **Spektroskopia**

Wielu astronomów z początku XIX wieku miało, jak się później wydawało, bardzo ograniczoną wizję właściwego zakresu astronomii. Być może najbardziej znanym wyrazem ograniczeń astronomii było zdanie pozytywistycznego filozofa Augusta Comte'a, który mówiąc o gwiazdach, uważał, że chociaż „możemy pojąć możliwość określenia ich kształtów, rozmiarów i ruchów, nigdy nie będziemy w stanie w żaden sposób zbadać ich składu chemicznego ani struktury mineralogicznej”. Jednak w 1861 roku Warren de la Rue mógł zawołać, że „fizyk i chemik przedstawili nam sposób analizy, który... gdybyśmy mieli pojechać na słońce i zabrać jego części i przeanalizować je w naszych laboratoriach, nie moglibyśmy zbadać ich dokładniej niż za pomocą tego nowego sposobu analizy widmowej”. Co wydarzyło się między deklaracjami Comte'a i de la Rue? Na początku XIX wieku, dzięki badaniom Williama Wollastona w Wielkiej Brytanii, a w szczególności Josefa Fraunhofera w Niemczech, powszechnie przyjęto, że po przejściu światła przez pryzmat Słońce i niektóre gwiazdy wykazują szereg kolorów przeciętych ciemnymi liniami — linie te stały się znane jako linie Fraunhofera — w swoich widmach. Wkrótce badacze doszli do wniosku, że obserwowane linie widmowe są w jakiś sposób charakterystyczne dla substancji chemicznych, które je powodują, i od lat dwudziestych XIX wieku

istniały dwa główne rodzaje badań widmowych. Pierwsze skupiało się na sposobach, w jakie widma różnych substancji zmieniały się, gdy były poddawane różnym warunkom w laboratorium. W drugim badacze szukali powiązań między widmem słonecznym a widmami laboratoryjnymi. Przełomowe odkrycia nastąpiły w latach około 1860 wraz z fundamentalnymi badaniami fizyka G. R. Kirchhoffa i jego kolegi z Heidelbergu w Niemczech, chemika R. W. E. Bunsena. Kirchhoff i Bunsen ustalili, że substancja zdolna do emitowania określonej linii widmowej ma silną moc absorpcyjną dla tej samej linii. Analiza laboratoryjna mogła ujawnić, które substancje emitowały lub absorbowwały dane linie, a zatem skład ciał niebieskich można było teraz analizować poprzez szczegółowe opisanie ich widm. Ramy interpretacyjne wypracowane przez Kirchhoffa i Bunsena dały astronomom nowe i niezwykle moce. Poprzez porównanie linii w widmie słonecznym z widmami laboratoryjnymi, sam Kirchhoff szybko zidentyfikował kilka ziemskich pierwiastków w Słońcu. W sposób, którego nikt nie przewidział, same gwiazdy stały się laboratoriami. Dla późniejszych astronomów badania Kirchhoffa i Bunsena oznaczały narodziny tego, co później nazwano astrofizyką, czyli badaniem fizyki i chemii ciał niebieskich. Ten nowy rodzaj astronomii oznaczał powstanie nowych rodzajów instytucji, które były zupełnie inne niż tradycyjne obserwatoria ukierunkowane na astronomię pozycyjną. Jak później wspominał jeden z pionierów astrofizyki, „to właśnie wtedy obserwatorium astronomiczne zaczęło po raz pierwszy przybierać wygląd laboratorium”. Spektroskop miał również dramatyczny wpływ na debaty na temat natury mgławic. Do 1864 r. były one w dużej mierze kształtowane przez obserwacje wykonane za pomocą potężnych teleskopów oraz rysunki, szkice i publikowane raporty, które z nich wynikały. W tym roku jednak William Huggins, astronom amator z Londynu, zbadał spektroskopowo kilka mgławic. Kiedy skierował swój teleskop i spektroskop na tzw. mgławicę planetarną (nazwa nadana przez Williama Herschela mgławicom wyróżniającym się okrągłym kształtem) w gwiazdozbiórze Smoka, dostrzegł jasne linie. Huggins doskonale zdawał sobie sprawę, że takie linie są charakterystyczne dla świecącego gazu, więc tego rodzaju mgławice muszą być ogromnymi obłokami świetlistego gazu lub pary, a na pewno nie gromadami gwiazd. Było to dramatyczne i przekonujące odkrycie, które podkreślało siłę nowej astrofizyki. Huggins był nowym rodzajem astronoma, astrofizykiem. Miał również bogactwo, aby dostarczyć większość własnego sprzętu, a także wystarczająco dużo wolnego czasu, aby zająć się astrofizyką. Podobnie jak wielu naukowców płci męskiej z XVIII i XIX wieku, Huggins miał również przez część swojej kariery nieocenioną współpracę swojej żony przy wszelkiego rodzaju zadaniach obserwacyjnych. Na przykład Margaret Huggins wniosła nową wyrafinowaną stronę do wykorzystania fotografii przez Hugginsa do rejestrowania widm. Wiodąca rola, jaką odgrywali amatorzy tacy jak William i Margaret Huggins w astrofizyce, nie trwała jednak długo. Wiele krajów szybko utworzyło obserwatoria astrofizyczne, a także włączyło astrofizykę do działalności swoich istniejących instytucji astronomicznych. Na przykład Królewskie Obserwatorium w Greenwich w Londynie, bastion tradycyjnej astronomii, również rozpoczęło badania astrofizyczne w latach 70. XIX wieku. Pierwsze obserwatorium specjalnie założone przez państwo w celu uprawiania astrofizyki zostało zbudowane w 1876 roku w Poczdamie w Niemczech. Wkrótce powstały kolejne w Meudon we Francji i South Kensington w Londynie. Wraz z nowymi instytucjami, takimi jak Poczdam, i zmianami w istniejących, takich jak Obserwatorium Watykańskie i Obserwatorium w Greenwich, a także ze wzrastającym zainteresowaniem astrofizyką na uniwersytetach, stało się nawet możliwe, aby ktoś zarabiał na życie jako astrofizyk. Pod koniec XIX wieku zawodowi astrofizycy w dużej mierze wyparli amatorów. Pod koniec lat 70. i 80. XIX wieku nowa i stosunkowo łatwa w użyciu płyta fotograficzna — płyta sucha — stała się szeroko dostępna. Był to główny czynnik techniczny, który zapoczątkował erę fotografii astronomicznej, ponieważ czasy naświetlania płyt suchych można było wydłużać niemal w nieskończoność, a cechy nigdy wcześniej niezauważone ujrzaly światło dzienne. Pod koniec XIX wieku zarówno astronomowie pozycyjni, jak i astrofizycy dodali fotografię do swojego arsenału i mogli teraz trwale rejestrować światło ze źródeł i przeglądać płyty fotograficzne w wolnym czasie. Fotografia umożliwiła astrofizykom prowadzenie programów obserwacji widm gwiazdowych na

dużą skalę. Wielkim propagatorem gromadzenia danych tego rodzaju był E. C. Pickering z Harvard College Observatory w Cambridge w stanie Massachusetts. Airy w Greenwich stosował ścisły podział pracy i sztywną hierarchię w celach astronomii pozycyjnej. Pickering zrobił to samo, ale teraz w celu gromadzenia i analizy światła z wielu tysięcy gwiazd. W połowie lat 80. XIX wieku Pickering rozpoczął dwa ogromne projekty dotyczące gwiazd, jeden dotyczący widm, a drugi jasności. Schemat organizacyjny Pickeringa opierał się na słabo opłacanych, ale często wysoko wykwalifikowanych kobietach. Być może najbardziej imponującym hołdem dla umiejętności organizacyjnych Pickeringa i talentów personelu Harvardu był Katalog Henry'ego Drapera, opublikowany w dziewięciu tomach w latach 1918–1924 z klasyfikacjami widmowymi niezwykle 225 300 gwiazd wykonanymi przez Annie Jump Cannon. Wylew filantropijnego wsparcia dla amerykańskich obserwatoriów w latach około 1900 - w tym dla Obserwatorium Pickeringa na Harvard College - pomógł uczynić astrofizykę w Stanach Zjednoczonych najlepiej finansowaną gdziekolwiek. A najbogatszym wsparciem ze wszystkich cieszyło się Obserwatorium Mount Wilson w Kalifornii, założone w 1904 roku jako część Carnegie Institution, które zostało powołane do życia dzięki hojności magnata stalowego Andrew Carnegie. Wzrost znaczenia USA jako wiodącej potęgi gospodarczej znalazł również odzwierciedlenie w ich rosnącym znaczeniu w produkcji i użytkowaniu gigantycznych instrumentów. W 1919 roku najpotężniejszy teleskop na świecie, reflektor z głównym lustrem o średnicy 100 cali, wszedł do użytku na Mount Wilson, co miało bardzo poważne konsekwencje, jak zobaczymy w następnej sekcji.

### **Poza Galaktyką?**

W 1905 roku wybitna historyczka astronomii i pisarka naukowa Agnes Clerke argumentowała, że: „Żaden kompetentny myśliciel, mając przed sobą wszystkie dostępne dowody, nie może teraz, można śmiało powiedzieć, utrzymywać, że jakkolwiek pojedyncza mgławica jest układem gwiazdowym o randze współrzędnej z Drogią Mleczną”. Zdecydowana większość astronomów podzielała jej opinię. Zazwyczaj wyobrażali sobie wszechświat podzielony na dwie części. Jedna była widoczna i ograniczona do Drogi Mlecznej. Druga była nieskończona i uważano, że jest poza obserwacją. Galaktyki mogły istnieć w tym regionie, ale nie można ich było zaobserwować nawet przez gigantyczne teleskopy, a zawodowi astronomowie nie byli zbyt zainteresowani tym niewidocznym wszechświatem. Fotografie Mgławicy Andromedy dostarczyły jednego z wpływowych dowodów przeciwko istnieniu odległych układów gwiazdnych. Astronom z Oksfordu H. H. Turner wspominał w 1911 r.:

Wielu z nas pamięta okazję [w 1888 r.], kiedy mgławica Andromedy w jej prawdziwym kształcie została po raz pierwszy pokazana na ekranie w Royal Astronomical Society przez dr Isaaca Robertsa, ale kształt [spirała] jest teraz tak znajomy, że tylko ci, których pamięć sięga tej daty (koniec 1888 r.), mogą zrozumieć objawienie, które wydawało się towarzyszyć obrazowi.

Słychać było okrzyki „Saturn”, „hipoteza mgławicowa stała się widoczna” i tak dalej. Dla astronomów w 1888 r. mgławica Andromedy była układem słonecznym w trakcie formowania się, a nie rozległym i odległym układem gwiazdowym. Dla Robertsa i wielu innych astronomów fotografia również zastąpiła rysunek jako technologia z wyboru do przedstawiania mgławic i mapowania nieba. Głównym odkryciem obserwatorów, którzy korzystali z Lewiatana z Parsonstown w połowie XIX wieku, było to, że niektóre mgławice wykazują kształt spiralny. Jednak do końca stulecia astronomowie zidentyfikowali mniej niż sto takich mgławic spiralnych. Pod koniec lat 90. XIX wieku amerykański astrofizyk James E. Keeler, korzystając z 36-calowego reflektora w Obserwatorium Licka na szczycie Mount Hamilton w Kalifornii, postanowił ponownie zbadać fotograficznie wszystkie mgławice, które obserwatorzy Lewiatana uznali lub podejrzewali, że są spiralne. Kiedy Keeler policzył liczbę spiral widocznych na ograniczonym obszarze nieba, a następnie ekstrapolował na liczbę spiral dla całego nieba, oszacował ich liczbę na setki tysięcy, co czyniło je zdecydowanie najliczniejszym rodzajem mgławic. Keeler podniósł naturę spiral do rangi głównego pytania dla astronomów. Nie wydawało się

również wykonalne powiązanie spirali z hipotezą mgławicową, przynajmniej w formie pierwotnie zaproponowanej przez Laplace'a. Pod koniec XIX wieku astronomowie coraz częściej uważali wersję hipotezy mgławicowej Laplace'a za zbyt wadliwą, aby mogła stanowić wiarygodny opis rozwoju Układu Słonecznego. Jedną z alternatyw była tak zwana hipoteza Chamberlina-Moultona lub hipoteza planetozymalna (nazywana przez Moultona „hipotezą mgławicy spiralnej”). Po raz pierwszy w pełni wysunięta w 1905 roku przez czołowego geologa T. C. Chamberlina i jego kolegę astronoma z University of Chicago, F. R. Moultona, argumentowali oni, że gdy dwie gwiazdy przechodzą blisko siebie, siły pływowe między nimi mogą powodować wyrzucanie materii i rozpraszanie jej wzdłuż ramion spiralnych. Ciała planetarne powstają w wyniku nieustannej akrecji wyrzucanych cząstek, planetozymali. Żaden obiekt na fotografiach Keelera, jak sądzili, nie odpowiadał rodzajowi mgławicy opisanej przez Laplace'a, w której planety skondensowały się z pierścieni materii. Płyty wykazywały jednak liczne mgławice z kondensacjami w ramionach spirali, które wydawały się gotowe do ewolucji w planety.

### **Przesunięcia ku czerwieni?**

W 1898 roku H. G. Wells opisał inwazję Marsa na Londyn i jego okolice w swojej powieści *Wojna światów*. Tak „próżny jest człowiek”, napisał Wells, „i tak zaślepiony swoją próżnością, że żaden pisarz, aż do samego końca XIX wieku, nie wyraził żadnej idei, że inteligentne życie mogło rozwinąć się tam daleko, lub w ogóle, poza swoim ziemskim poziomem”. Ale jednym astronomem, który to zrobił, był Percival Lowell, bogaty założyciel Obserwatorium Lowella we Flagstaff w Arizonie i główna postać w szerokiej i często zacieklej debacie w dekadach około 1900 roku na temat istnienia inteligentnego życia na Marsie. Lowell był głęboko pod wrażeniem obserwacji Marsa włoskiego astronoma Giovanniego Schiaparelliego. W 1877 roku Schiaparelli wykrył skomplikowany system cienkich prostych linii — linii, które wkrótce zaczęto powszechnie nazywać „kanałami” — które krzyżowały się na powierzchni Marsa. Chwilę później Schiaparelli zauważył nawet, że niektóre linie stają się podwójne, podczas gdy wcześniej była tylko jedna. Niektórzy obserwatorzy byli sceptyczni, a inni wrogo nastawieni do roszczeń dotyczących kanałów. Schiaparelli jednak zwykle był bardzo ostrożny w interpretowaniu swoich obserwacji, ale nie zawsze — i w jednym artykule napisał o wyrafinowanym systemie kanałów i wałów obsługiwanych przez marsjańskich inżynierów. Inni byli mniej powściągliwi. Dla Lowella Marsjanie stawili czoła powolnemu postępowi warunków pustynnych na większej części swojej planety i opracowali środki transportu wody z pokrytych lodem regionów polarnych do suchych obszarów planety. Roślinność rosta wzdłuż kanałów (i to ślady roślinności miały być widoczne z Ziemi, a nie same kanały). Entuzjastyczne i niestrudzone orędownictwo Lowella na rzecz kanałów jako obiektów zbudowanych przez Marsjan przyniosło mu uwagę i rozgłos, ponieważ kwestia ta była przedmiotem sporów w czasopiśmie naukowych, a także książkach, gazetach, popularnych magazynach i na wykładach. Ale Lowell interesował się czymś więcej niż tylko Marsem. Te szersze zainteresowania skłoniły go do poproszenia jednego ze swoich asystentów, Vesto Melvina Sliphera, o zbadanie widm mgławic spiralnych w poszukiwaniu wskazówek dotyczących pochodzenia Układu Słonecznego. Pod koniec 1912 roku Slipher miał cztery płyty fotograficzne, na których mógł nie tylko odróżnić linie w widmie Mgławicy Andromedy, ale także stwierdzić, że zostały one przesunięte względem swoich zwykłych pozycji. Jeśli źródło światła porusza się względem obserwatora, wówczas długości fal jego linii widmowych przesuną się od wartości, jakie miałyby w przypadku braku ruchu względnego. Wielkość przesunięcia linii, przesunięcie Dopplera, ujawnia prędkość linii widzenia lub prędkość radialną źródła. Zakładając, że przesunięcia linii były przesunięciami Dopplera, Slipher zmierzył prędkość zbliżania się Mgławicy na trzysta kilometrów na sekundę, najwyższą prędkość odnotowaną do tego czasu dla ciała astronomicznego i odkrycie tak zdumiewające, że niektórzy astronomowie w nie nie uwierzyli. Jednak do 1914 roku Slipher, pomimo wielkich trudności tych pomiarów, był w stanie ogłosić prędkości radialne piętnastu spiral. Kilka jego wyników zostało potwierdzonych w innych

obserwatoriach. Sceptycy zostali uciszeni. Większość spiral zmierzonych przez Sliphera cofała się, to znaczy linie widmowe były przesunięte w kierunku czerwonego końca widma lub przesunięte ku czerwieni. Najszybsza spirala poruszała się — ponownie zakładając, że przesunięcia widmowe były przesunięciami Dopplera — z prędkością około tysiąca stu kilometrów na sekundę, o kilkaset kilometrów na sekundę szybciej niż najszybsze gwiazdy. Jeśli spirale były układami protosłonecznymi, to astronomowie spodziewali się, że powinny poruszać się z mniej więcej taką samą prędkością jak gwiazdy. Wyniki Sliphera były więc szokiem. W 1912 roku Slipher założył, że Mgławica Andromedy jest układem słonecznym w trakcie formowania. Jednak w 1917 roku, zachęcony rosnącą liczbą dużych przesunięć ku czerwieni, które zmierzył, Slipher dołączył do tych, którzy uważali, że mgławice spiralne mogą być jednak wszechświatami wyspowymi. Chodziło o to, że spirale najwyraźniej poruszały się o wiele za szybko, aby mogły być grawitacyjnie związane z naszą Galaktyką Drogi Mlecznej, a zatem muszą być od niej oddzielne.

### **Wielka Galaktyka**

W miarę jak mgławice spiralne były badane coraz dokładniej, inni astronomowie mapowali nasz własny układ gwiazdny, Galaktykę, za pomocą różnych technik obserwacyjnych i teoretycznych. Badania nad naturą i rozmiarem Galaktyki były również ściśle powiązane z debatami na temat istnienia galaktyk zewnętrznych. Galaktyki (jeśli takie istnieją) musiałyby koniecznie znajdować się poza naszym własnym układem Drogi Mlecznej, więc odległości do możliwych galaktyk, jak również zasięg naszej Galaktyki, miałyby znaczenie w rozstrzygnięciu tej kwestii. Astronomowie wiedzieli, że nasze zanurzenie w naszym własnym układzie galaktycznym bardzo utrudniało wyobrażenie sobie Galaktyki jako całości. Astronomem, którego zwykle uznawano na początku XX wieku za posiadającego najlepsze odpowiedzi na ten problem, był J. C. Kapteyn, profesor astronomii na Uniwersytecie w Groningen. William Herschel próbował zmapować Galaktykę za pomocą statystyk gwiazdnych. Kapteyn był również „statystycznym astronomem”, ale jego podejście było o wiele bardziej szczegółowe i wymagało zebrania o wiele większej ilości danych, a zatem było o wiele bardziej rozsądne dla jego kolegów niż „pomiar gwiazd” Herschela. Wielkim celem Kapteyna było rozwiązanie tego, co nazywano „problemem gwiazdowym”, to znaczy określenie rozmieszczenia gwiazd w naszym własnym układzie gwiazdowym i tym samym wyjaśnienie architektury naszej Galaktyki. Kapteyn był również jednym z nowego rodzaju astronomów i astrofizyków. Biegły w matematyce, miał głębokie obawy dotyczące dowodów obserwacyjnych oraz ograniczeń i słabości tych dowodów, zarówno pozycyjnych, jak i astrofizycznych. Rozwiązywanie problemu gwiazdowego wymagałoby, jak uważał, ogromnych ilości danych. Kapteyn przedstawił jednak „unikalną postać astronoma bez teleskopu”. Dlatego polegał na innych astronomach, którzy zbierali dane, podczas gdy on koncentrował się na ich analizie. Astronomia statystyczna Kapteyna doprowadziła go w 1908 r. do stwierdzenia, że Słońce jest dość centralnie umieszczone w naszym własnym systemie galaktycznym (pogląd bardzo zgodny z poglądami innych astronomów w tym okresie) i że granice systemu gwiazdowego osiągnęte są tylko w odległościach około 30 000 lat świetlnych, to znaczy, że ma średnicę około 60 000 lat świetlnych (coś w rodzaju wzrostu w stosunku do wcześniej akceptowanych rozmiarów). Te wnioski zostały zakwestionowane w 1918 r. przez astronoma z Obserwatorium Mount Wilson, Harlowa Shapleya. Shapleya zastanawiał rozkład około siedemdziesięciu znanych gromad kulistych, gigantycznych kul, z których każda składała się z około miliona gwiazd, które były niemal wszystkie skoncentrowane w jednej części nieba. Co jednak, jeśli te gromady kuliste otaczają Galaktykę? Od centrum galaktyki gromady kuliste byłyby równomiernie rozłożone po całym niebie. Dla Shapleya osobliwy rozkład gromad kulistych wynika z faktu, że nasze Słońce nie znajduje się blisko centrum galaktyki, jak Kapteyn i inni astronomowie od dawna wierzyli, ale jest przesunięte o dziesiątki tysięcy lat świetlnych od tego centrum. Gromady kuliste widzimy z tak dalekiego od środka położenia, że wydają się tłoczyć w jednej części nieba. Na podstawie odległości do gromad kulistych Shapley obliczył, że nasz własny układ gwiazdny ma średnicę około 300 000 lat

światlnych, co stanowi zaskakujący pięciokrotny wzrost nawet w stosunku do rozmiaru zaproponowanego przez Kapteyna, stąd nazwa „Duża Galaktyka”. Shapley doszedł również do wniosku, że mgławice spiralne nie mogą być układami porównywalnymi z Wielką Galaktyką i mogą być ciałami odpychanymi przez Galaktykę. Dla niego pod koniec lat 30. XX wieku istniała tylko jedna widoczna galaktyka, nasza Droga Mleczna.

### Inne galaktyki?

Astronom z Lick Observatory, H. D. Curtis, zajął zupełnie inne stanowisko niż Shapley w sprawie spirali. W 1910 r. Curtis objął kierownictwo nad programem fotografii mgławicowej w Obserwatorium i był również jednym z grupy, którą można nazwać „Szkołą Licka”, astronomów z Lick Observatory, którzy, choć często sceptycznie podchodzili do nowych osiągnięć astronomii (takich jak Wielka Galaktyka Shapleya), byli zwolennikami galaktyk zewnętrznych. Pod koniec lat 10. XX wieku Curtis był również w stanie przedstawić nowe dowody na galaktyki w formie nowych w spiralach. Bardzo jasna nowa, która rozbiła się w 1885 r. w Mgławicy Andromedy, była powszechnie uważana za niemożliwą do pogodzenia z Mgławicą jako galaktyką zewnętrzną. Ale wykrycie kolejnych nowych w spiralach, począwszy od odkryć dokonanych w 1917 roku przez samego Curtisa i George'a Ritcheya w Obserwatorium Mount Wilson, wskazywało, jak uważał Curtis, na nową z 1885 roku jako anomalię i wskazywało na odległości do spiral, które umieszczały je daleko poza naszym własnym układem galaktycznym. Energiczne popieranie przez Curtisa wszechświatów wyspowych przyniosło mu zaproszenie do wzięcia udziału w tzw. „Wielkiej Debacie” w Narodowej Akademii Nauk w Waszyngtonie, DC, w 1920 roku na temat „Skali Wszechświata”. Przeciwnikiem Curtisa w debacie był Harlow Shapley. Curtis opowiadał się za galaktykami zewnętrznymi i krytykował Wielką Galaktykę Shapleya, ponieważ nie był przekonany o wartości ustaleń odległości, które wykorzystał Shapley. Shapley bronił swojej Wielkiej Galaktyki, której los uważał za krytyczny w każdym przypadku dla spiral jako galaktyk zewnętrznych, ale skierował swoje uwagi na znacznie mniej zaawansowany poziom niż Curtis. Curtis i Shapley jednak uporali się ze swoimi argumentami w opublikowanych i znacznie bardziej technicznych wersjach swoich wykładów. Aby rozstrzygnąć sprawę, potrzebny był sposób pomiaru odległości do spirali, co do którego wszyscy mogliby się zgodzić, że jest dokładny. Taka metoda pojawiła się zaledwie trzy lata po Wielkiej Debaty w postaci obserwacji gwiazd w Mgławicy Andromedy dokonanych przez Edwina Hubble'a. Hubble rozpoczął pracę magisterską w Obserwatorium Yerkes na Uniwersytecie Chicagowskim w 1914 r., uzyskał doktorat w 1917 r., ale następnie zaciągnął się do armii USA, aby pojechać i walczyć w Europie. Astronomia bardzo ucierpiała podczas I wojny światowej i w wyniku wstrząsów społecznych, politycznych i gospodarczych, które zrodziła. Komunikacja naukowa była często przerywana; wielu astronomów poświęciło swoje wysiłki służbie wojennej, a niektórzy z nich, w tym genialny niemiecki astronom Karl Schwarzschild, stracili życie. Hubble jednak nigdy nie brał udziału w bitwie, a po zwolnieniu z armii w 1919 roku dołączył do personelu Obserwatorium Mount Wilson, gdzie miał dostęp do najpotężniejszego teleskopu na świecie, 100-calowego reflektora. Na początku lat dwudziestych Hubble kontynuował wcześniejsze badania Curtisa i innych, wykonując liczne zdjęcia Mgławicy Andromedy w celu wykrycia nowych gwiazd, aby lepiej obliczyć odległość do Mgławicy. W październiku 1923 roku Hubble zauważył na jednej ze swoich płyt to, co początkowo uznał za nową i oznaczył to jako takie. Ale gdy zaczął kreślić jasność „nowej” w czasie, odkrył, że zmieniała ona swoje światło w regularny i okresowy sposób, powoli spadając, a następnie szybko jaśniejąc. Zmienna jasność gwiazdy była charakterystyczna nie dla nowej, ale dla typu gwiazdy zmiennej znanej jako „cefeida”. Hubble wiedział, że mierząc czas między szczytami zmieniającej się jasności cefeidy, istnieje prosty sposób na określenie jej odległości (istotny związek między jasnością cefeidy a czasem od jednego szczytu jasności do następnego został odkryty w 1908 roku przez astronomkę z Harvardu Henriettę Swan Leavitt). Odpowiedź Hubble'a wyniosła około 900 000 lat świetlnych. Miało to ogromne znaczenie, ponieważ nawet jeśli średnica Shapleya dla Galaktyki wynosząca 300 000 lat świetlnych była prawidłowa

(szacunek ten sam w sobie opierał się na ustaleniach odległości za pomocą cefeid), to wyraźnie umieszczał Mgławicę Andromedy daleko poza Drogą Mleczną. Mgławica Andromedy musi zatem być odległym układem gwiazdnym. Hubble szybko znalazł więcej cefeid. W ciągu roku lub około tego Hubble zebrał wystarczająco dużo dowodów z cefeid i innych metod obliczania odległości Mgławicy, aby przekonać prawie wszystkich astronomów, że zewnętrzne obszary Mgławicy Andromedy naprawdę składają się z obłoków gwiazd i że Mgławica jest rzeczywiście zewnętrzną galaktyką. Debata na temat istnienia widocznych galaktyk była praktycznie zakończona. Wielu astronomów brało udział w „odkrywaniu” zewnętrznych galaktyk — Slipher, Curtis i inni — ale Hubble dostarczył dowodów, które rozstrzygnęły spór, więc złożony proces, myląco, często był sprowadzany do Hubble'a, który otrzymywał cały kredyt. To, co wkrótce zostało uznane za przekonujący dowód na to, że Słońce jest mimośrodowo umieszczone w naszej Galaktyce, pojawiło się w 1927 roku w badaniach holenderskiego astronoma J. H. Oorta nad systematyczną rotacją Galaktyki. Wskazały one na układ gwiazdowy obracający się wokół odległego środka Galaktyki, który leżał w tym samym kierunku, który Shapley uznał za środek układu gromad kulistych, a więc dla niego za środek Galaktyki. Kilka lat później astronomowie zaczęli akceptować istnienie absorpcji międzygwiazdowej — to znaczy absorpcji światła gwiazd przez materiał rozproszony w przestrzeni międzygwiazdowej. Efektem tego materiału było blokowanie światła gwiazd, przez co gwiazdy wydawały się słabsze, niż były w rzeczywistości; Shapley przeszacował zatem odległości. Rozmiar modelu Shapleya został teraz zredukowany do tego, co wielu uważało za bardziej wiarygodną średnicę około 100 000 lat świetlnych. W rezultacie w połowie lat 30. XX wieku powszechne stało się pojęcie Dużej Galaktyki, w której Słońce jest umieszczone mimośrodowo, chociaż nie była ona tak duża, jak twierdził Shapley pod koniec lat 10. XX wieku.

### **Rozszerzający się wszechświat**

W grudniu 1859 roku U. J. J. Le Verrier odwiedził nieznanego francuskiego lekarza we wsi Oregères-en-Beauce. Kilka miesięcy wcześniej Edmond Modeste Lescarbault poinformował Le Verriera, że zaobserwował za pomocą swojego małego teleskopu obiekt, który zinterpretował jako planetę przechodzącą przed Słońcem. Lescarbault wiedział, że Le Verrier próbował wyjaśnić anomalie w ruchu Merkurego w kategoriach niewidocznej planety między Merkurem a Słońcem, podobnie jak Le Verrier wyjaśnił anomalie w ruchu Urana w kategoriach planety za Uranem (wyjaśnienie, które doprowadziło oczywiście do odkrycia Neptuna). Kwestionowanie Lescarbaulta przez Le Verriera przekonało go zarówno o wiarygodności obserwatora, jak i prawdziwości obserwacji, więc ogłosił odkrycie nowej planety, Wulkana. W analizach matematycznych, które doprowadziły zarówno do Neptuna, jak i Wulkana, Le Verrier wykorzystał prawo powszechnego ciążenia Newtona. Ale po pierwszym dostrzeżeniu przez Lescarbaulta, Wulkan uparcie odmawiał ujawnienia się innym astronomom i „odkrycie” popadło w zapomnienie. Einstein miał wykazać ponad pięćdziesiąt lat później, że anomalie w ruchach Merkurego wymagały nowej teorii grawitacji do ich wyjaśnienia. Ta sama teoria grawitacji miała być również centralną częścią jednego z głównych odkryć kosmologii XX wieku: ekspansji wszechświata. W 1917 roku Albert Einstein zbadał kosmologiczne konsekwencje swojej niedawno opracowanej i rewolucyjnej teorii grawitacji, ogólnej teorii względności. Tutaj spekulował na temat samego rozmiaru i natury wszechświata i w ten sposób zaproponował ogromną zmianę koncepcyjną z nieskończonego wszechświata Newtona na „skończony” wszechświat, w którym nie ma granic. Einstein uważał, że wszechświat musi być statyczny i gdy jego równania wskazywały na wszechświat niestatyczny, wprowadzał termin, stałą kosmologiczną, aby zapewnić jego statyczną naturę. Einstein był dyrektorem Instytutu Fizyki Cesarza Wilhelma i profesorem Uniwersytetu Humboldta w Berlinie w 1917 roku, więc w tym okresie cierpiał z powodu załamania się komunikacji naukowej spowodowanego I wojną światową. Był jednak w kontakcie z astronomem z neutralnej Holandii, Willemem de Sitterem, który stał się dogłębnie zorientowany w ogólnej teorii względności; rzeczywiście de Sitter wkrótce uzyskał inne rozwiązanie równań Einsteina, inne niż to zaproponowane przez samego Einsteina. De



Sitter przewidział również, że powinna istnieć „relacja przesunięcia ku czerwieni-odległości” dla obiektów w dużych odległościach. Oznacza to, że im bardziej odległy obiekt, tym większe powinno być przesunięcie ku czerwieni jego linii widmowych. Ponieważ de Sitter zakładał, że mgławice spiralne są wszechświatami wyspowymi (a zatem najbardziej odległymi obiektami we wszechświecie), spodziewał się, że będą one wykazywać taką relację, jeśli jego model przybliży właściwości wszechświata. Dokładna forma tej relacji była jednak przedmiotem kontrowersji. Co więcej, przesunięcia ku czerwieni przewidziane przez de Sittera dla odległych obiektów nie były spowodowane wyłącznie przesunięciami Dopplera, ale były, zdaniem de Sittera, w dużej mierze konsekwencją właściwości „czterowymiarowej czasoprzestrzeni”, która stanowiła podstawę ogólnej teorii względności. Ogólna teoria względności, z jej wykorzystaniem „czterowymiarowej czasoprzestrzeni” oraz nieznannej i wysoce abstrakcyjnej matematyki, wydawała się zagadkowa dla wielu pracujących astronomów. Jednak gdy Einstein obliczył ruchy Merkurego, korzystając ze swojej nowej teorii, stwierdził bardzo bliską zgodność między teorią a obserwacjami bez potrzeby powoływania się, jak zrobił to Le Verrier, na niewidzialną planetę. W 1919 r. przeprowadzono ważny dalszy test teorii związany z obserwacjami możliwego odchylenia światła gwiazd przechodzących obok Słońca podczas zaćmienia Słońca. „Naprawdę udowodniły one ugięcie światła wokół Słońca”, napisał podekscytowany Einstein do swojej matki, gdy nadeszły wyniki. Niemal z dnia na dzień Einstein stał się międzynarodową gwiazdą i naukową „supergwiazdą”. Kosmologiczne konsekwencje ogólnej teorii względności musiały być traktowane poważnie, nawet przez sceptycznych astronomów. W latach 1922 i 1924 rosyjski matematyk i meteorolog Aleksander Friedmann znalazł i przeanalizował rozwiązania równań ogólnej teorii względności Einsteina, które były niestacyczne, wśród których znajdowały się rozwiązania dla rozszerzającego się wszechświata. Jednak Friedmann nie miał okazji rozwinąć swoich idei, ponieważ zmarł w 1925 roku na dur brzuszny w wieku 37 lat. Pierwszą osobą, która połączyła teorię i obserwację w sposób, który stał się powszechnie uważany za fizycznie znaczący w ogólnych ramach rozszerzającego się wszechświata, był belgijski opat i profesor Uniwersytetu w Lowanium, Georges Lemaître. W 1927 roku Lemaître, który w tamtym czasie nie był świadomy wcześniejszych badań Friedmanna, opublikował to, co później zostało uznane za przełomowy artykuł na temat rozszerzającego się wszechświata. Jednak przez krótki czas badania Lemaître’a, podobnie jak Friedmanna, nie wzbudziły żadnego zainteresowania. Do 1927 r. istniały również, po publikacji de Sittera z 1917 r., dekady spekulacji na temat relacji przesunięcia ku czerwieni-odległości dla bardzo odległych obiektów. Zainspirowani przewidywaniami takiej relacji przesunięcia ku czerwieni-odległości, kilku astronomów, w szczególności szwedzki astronom Knut Lundmark i niemiecki astronom C. A. Wirtz, próbowali określić obserwacyjnie formę (jeśli w ogóle) tej relacji, badając prędkości i odległości mgławic spiralnych i gromad kulistych. Jednak dla większości astronomów forma tej relacji, jeśli taka istniała, była wciąż otwartą kwestią. Na tym tle musimy przyjrzeć się badaniom relacji przesunięcia ku czerwieni-odległości przeprowadzonym przez Edwina Hubble'a i jego kolegę z Mount Wilson, Milтона Humassona. Pierwsza praca naukowa Hubble'a na temat takiej relacji została opublikowana w 1929 r. Tutaj zastosował własne szacunki odległości galaktyk wraz z prędkościami radialnymi, z których prawie wszystkie zostały uzyskane przed 1923 r. przez Sliphera. Znacznie dłuższy artykuł, napisany wspólnie z Humasonem, ukazał się w 1931 r. i zawierał szereg zmierzonych przez niego przesunięć ku czerwieni. Humason zmierzył, że jedna galaktyka porusza się z prędkością prawie 20 000 kilometrów na sekundę. Był to oszałamiający wynik, gdy przypomnimy sobie konsternację wywołaną pomiarem Sliphera sprzed osiemnastu lat, że Mgławica Andromedy porusza się z prędkością 300 kilometrów na sekundę. Dzięki temu artykułowi Hubble i Humason skutecznie zakończyli debatę na temat istnienia związku przesunięcia ku czerwieni z odległością, odpowiadając, że taki związek rzeczywiście istnieje i że przynajmniej w pierwszym przybliżeniu jest liniowy. Oznacza to, że średnio, jeśli odległość galaktyki jest podwojona, jej przesunięcie ku czerwieni jest podwojone; jeśli jej odległość jest potrojona, jej przesunięcie ku czerwieni jest potrojone i tak dalej. Zdecydowana większość astronomów również interpretowała

przesunięcia ku czerwieni jako prędkości, więc dla nich była to relacja prędkość-odległość (relację tę później nazwano prawem Hubble'a). A. S. Edington, wpływowy brytyjski astronom, i inni teoretycy szybko połączyli obliczenia Lemaître'a z obserwacyjnymi badaniami Hubble'a i Humasona dotyczącymi relacji przesunięcia ku czerwieni-odległości w kontekście rozszerzającego się wszechświata. Jednak od lat 30. XX wieku niewielka liczba astronomów czuła się nieswojo, interpretując przesunięcia ku czerwieni wyłącznie jako przesunięcia Dopplera, i dlatego wątpiła w zwykłe wyjaśnienie rozszerzającego się wszechświata. Najbardziej znanym z nich był sam Hubble. Zawsze uważał w druku, aby nie identyfikować przesunięć ku czerwieni jako prędkości i pisał o prędkościach zmierzonych przez Sliphera, a następnie Humasona, jako o „pozornych prędkościach”. Stanowisko Hubble'a w sprawie przesunięć ku czerwieni sprawia, że zwyczajowe przypisywanie mu zasługi za odkrycie rozszerzającego się wszechświata w podręcznikach astronomii jest szczególnie nie na miejscu. Dla astronomów, którzy zaakceptowali rozszerzający się wszechświat, pojawiły się nowe problemy do rozwiązania. W szczególności, co zapoczątkowało ekspansję? Lemaître początkowo postrzegał ekspansję jako bardzo stopniowe budowanie się materii rozprzestrzenionej w całej przestrzeni. Ale w 1931 roku zaproponował znacznie bardziej radykalny pomysł: że początek ekspansji oznaczał początek całego wszechświata. Dla Lemaître'a wszechświat zaczął się jako „pierwotny atom”. Ten wysoce niestabilny atom dzielił się na coraz mniejsze atomy w pewnego rodzaju superradioaktywnym procesie. „Ostatnie dwa miliardy lat to powolna ewolucja”, twierdził Lemaître; „są popiołem i dymem jasnych, ale bardzo szybkich fajerwerków”. Była to pierwsza wersja tego, co później stało się znane jako kosmologia „Wielkiego Wybuchu”, a tym samym oferowała opis stworzenia wszechświata. Wielu innych kosmologów nie lubiło takiego pojęcia i patrzyło na nie i na domniemany skończony wiek wszechświata z podejrzliwością. Jak można wyjaśnić wyjątkowe wydarzenie na samym początku czasu ponadczasowymi prawami fizyki? Rozszerzający się wszechświat doprowadził również do kolizji skal czasowych. Jeśli cofniemy się w czasie o obecną ekspansję i nie weźmiemy pod uwagę możliwego przyspieszenia lub spowolnienia ekspansji, czas od „bardzo szybkich fajerwerków” Lemaître'a wynosił tylko około  $2 \times 10^9$  (czyli 2 000 000 000) lat. Oznaczało to, że wiek wielu gwiazd, w tym Ziemi, wynoszący około trzech miliardów lat, był dłuższy niż wiek wszechświata! Aby uniknąć tego problemu, de Sitter zasugerował na przykład, że początku wszechświata i początku jego ekspansji nie można zidentyfikować jako tego samego wydarzenia. Galaktyki istniały dłużej niż  $2 \times 10^9$  lat, ale zbliżyły się do minimalnej separacji przed rozpoczęciem ekspansji, więc w rzeczywistości wszechświat był znacznie starszy niż  $2 \times 10^9$  lat. Oprócz debat na temat początku ekspansji i pochodzenia wszechświata, odnowiło się również zainteresowanie jego ostatecznym losem. Pomysł „śmierci cieplnej” wszechświata został wprowadzony w 1854 roku przez Hermanna von Helmholtza jako konsekwencja tego, co obecnie nazwalibyśmy drugą zasadą termodynamiki. Taki stan końcowy byłby stanem całkowitej dezorganizacji, a wszechświat składałby się z jednolitej, bezkształtnej masy o stałej temperaturze. W tym stanie ewolucja by się zakończyła. Pod koniec XIX wieku to, co moglibyśmy nazwać termodynamicznym kosmosem, było przedmiotem bardzo znaczącej debaty religijnej i filozoficznej, a także naukowej. Jednak stosunkowo niewielu astronomów było aktywnymi uczestnikami, a ci, którzy byli, skłaniali się ku tym, którzy argumentowali za cykliczną kosmologią, a więc wszechświatem, który może ulec odnowieniu, a nie nieuchronnej śmierci. Pod koniec lat dwudziestych XX wieku nastąpiło odnowione zainteresowanie śmiercią cieplną, które dotarło do szerokiej publiczności za pośrednictwem popularnych pism i artykułów.

### **Astronomia przekształcona**

Kosmologia przed II wojną światową była w dużej mierze domeną indywidualnych badaczy, niezależnie od tego, czy byli to astronomowie obserwacyjni, czy teoretyczni. Po wojnie sprawy wyglądały inaczej, ponieważ zespoły coraz bardziej wysuwały się na pierwszy plan w astronomii, podobnie jak w wielu innych dziedzinach nauki. Astronomowie byli przyzwyczajeni do używania bardzo dużych i drogich

teleskopów. Wielki 200-calowy teleskop Hale'a umieszczony na szczycie góry Palomar w Kalifornii został ukończony w 1948 roku i był najpotężniejszym teleskopem, jaki kiedykolwiek zbudowano, owocem wsparcia filantropijnego Fundacji Rockefellera. Astronomowie jednak używali go w tradycyjny sposób, indywidualnie lub jako małe grupy. Natomiast szybko rozwijająca się dziedzina radioastronomii była zdominowana przez metody Wielkiej Nauki, w tym wykorzystanie interdyscyplinarnych zespołów. Przed II wojną światową astronomowie skupiali się niemal wyłącznie na obserwowaniu wszechświata w długościach fal światła widzialnego, ale wydarzenia wojenne znacznie przyspieszyły otwieranie nowych obszarów widma elektromagnetycznego na obserwacje astronomiczne. Jednym z czołowych praktyków radioastronomii po wojnie był brytyjski naukowiec Bernard Lovell. Przed wojną kształcony jako fizyk, spędził lata wojny rozwijając różne rodzaje technik radarowych i nauczył się nie tylko umiejętności technicznych, ale także wiedzy specjalistycznej w zakresie „polityki naukowej” i silnego poczucia tego, co jest potrzebne do finansowania przedsięwzięć naukowych na dużą skalę. W połowie XIX wieku astrofizyka powstała w wyniku nowych odkryć dotyczących spektroskopii stosowanej do badania nieba. Teraz, po drugiej wojnie światowej, nastąpiła nie tylko „inwazja” astronomii za pomocą nowych metod i instrumentów fizycznych i chemicznych (wiele z nich było możliwych dzięki postępom w elektronice w czasie wojny), ale także fizyków, takich jak Lovell. Niedługo po zakończeniu wojny Lovell wpadł na pomysł zbudowania bardzo dużego radioteleskopu, sterowalnej „talerzyny” do zbierania fal radiowych z ciał astronomicznych. Jednak długości fal radiowych są wielokrotnie większe niż długości fal światła widzialnego. Aby radioteleskop miał porównywalną moc rozdzielczą do teleskopu optycznego, musi być wielokrotnie większy od swojego optycznego odpowiednika. Celem Lovella była czasza o średnicy około 76 metrów, co stawiało ogromne wymagania projektowe. Lovell spodziewał się również, że jej koszt będzie znacznie wyższy niż ten, na który mógł sobie pozwolić sam jego uniwersytet, Uniwersytet w Manchesterze na północy Anglii. To, co stało się znane jako radioteleskop Mark I, oznaczało bardzo duże finansowanie rządowe, a także zaangażowanie zespołów naukowców i inżynierów, a więc rodzaj nauki, który stał się znany jako Wielka Nauka. Po wielu próbach dla jego konstruktorów, Mark I został ukończony pod koniec 1957 roku. W krótkim czasie radioastronomowie zaczęli używać Mark I do rozwiązania głównej zagadki: czy większość źródeł fal radiowych to gwiazdy w naszej Galaktyce, czy też źródła te są w rzeczywistości obiektami pozagalaktycznymi? Na początku lat 50., w czasie pierwszych obszernych badań nieba na falach radiowych, radioastronomowie generalnie zgadzali się, że większość źródeł to „gwiazdy radiowe” rozłożone dość równomiernie na niebie i zlokalizowane wewnątrz naszej Galaktyki. Czy te gwiazdy radiowe można również zidentyfikować ze znanymi, widocznymi gwiazdami? W 1952 roku Walter Baade i Rudolf Minkowski użyli 200-calowego teleskopu na górze Palomar, aby polować na widoczne obiekty, które mogą być powiązane z potężnymi źródłami radiowymi. Jedno źródło wydawało się być pozostałością po gigantycznej eksplozji gwiazdy, supernowej, ale drugie źródło, Cygnus A, wydawało się znajdować w miejscu galaktyki o dziwnym lub osobliwym wyglądzie. Astronomowie optyczni oszacowali, że galaktyka jest oddalona o około tysiąc milionów lat świetlnych. Jeśli identyfikacja była prawidłowa, a Cygnus A naprawdę tak daleko, to wytwarzał on ogromne ilości energii w długościach fal radiowych. Powiązanie źródeł radiowych z obiektami optycznymi okazało się jednak trudnym i powolnym procesem. Głównym problemem było dokładne ustalenie położenia źródeł radiowych. Nawet 76-metrowa antena, z falami radiowymi o długości, powiedzmy, 1 metra, daje rozdzielczość około jednego stopnia, dwadzieścia razy gorszą niż gołe oko i wartość o wiele za dużą, aby była pomocna w sortowaniu, które obiekty optyczne odpowiadają którym źródłom radiowym. Aby przezwyciężyć tę przeszkodę, grupy radioastronomiczne w Sydney w Australii i na Uniwersytecie Cambridge w Anglii zaczęły opracowywać „interferometry”, czyli instrumenty, w których promieniowanie ze źródła radiowego jest dzielone na dwie lub więcej części. Nawet radioteleskop Mark I w Jodrell Bank był często używany jako interferometr. Łącząc jego obserwacje z obserwacjami wykonanymi za pomocą radioteleskopu oddalonego o kilka kilometrów, można było znacznie

zwiększyć zdolność rozdzielczą dwóch źródeł radiowych w porównaniu z obserwacjami Marka I pracującego osobno. Korzystając z interferometrów, radioastronomowie uzyskali dane o wysokiej rozdzielczości, które przekonały ich, że większość źródeł radiowych jest w rzeczywistości pozagalaktyczna. Początkowo powszechnie uważano, że źródła pozagalaktyczne, takie jak Cygnus A, to galaktyki zderzające się ze sobą. Później astronomowie interpretowali Cygnus A w kategoriach „podwójnego źródła radiowego”, w którym występują dwa „gorące punkty” emisji radiowej, a Cygnus A stał się jednym z najlepszych przykładów pewnego rodzaju pozagalaktycznego źródła radiowego, które astronomowie uznali za bardzo powszechne. Wyniki radioastronomii były również kluczowe dla zaciętych debat na temat natury i pochodzenia wszechświata.

### **Wszechświat w stanie stacjonarnym?**

W 1950 roku astronom Fred Hoyle wygłosił serię wykładów radiowych na temat „Natury wszechświata” dla British Broadcasting Corporation. W wykładzie na temat rozszerzającego się wszechświata argumentował, że: [P]rzy założeniu, że wszechświat rozpoczął swoje życie skończony czas temu w pojedynczej ogromnej eksplozji. Na podstawie tego założenia obecna ekspansja jest pozostałością po gwałtownej eksplozji. Ta idea Wielkiego Wybuchu wydawała mi się niezadowolająca, nawet zanim szczegółowe badanie wykazało, że prowadzi do poważnych trudności. Nazwa „Wielki Wybuch” rzeczywiście się przyjęła, Hoyle spędził sporą część reszty swojego życia (zmarł w 2001 roku) atakując teorię Wielkiego Wybuchu i opowiadając się za tzw. wszechświatem w stanie stacjonarnym. Hoyle, podobnie jak jego koledzy z Uniwersytetu Cambridge, Hermann Bondi i Tommy Gold, był zaniepokojony nie tylko ideą początku wszechświata, ale także konfliktem między szacunkami wieku Ziemi i gwiazd a wiekiem wszechświata. Te problemy zniknęły w „teorii stanu stacjonarnego”, zaproponowanej po raz pierwszy w 1948 roku przez Bondiego i Golda, a w nieco innej formie w tym samym roku przez Hoyle’a. Wszyscy trzej zgodzili się co do niekończącego się i niezmiennego wszechświata (przynajmniej gdy rozpatruje się go w wystarczająco dużej skali), w którym materia jest tworzona w sposób ciągły w czasie i przestrzeni, a nie w jednym pojedynczym zdarzeniu na początku istnienia wszechświata w Wielkim Wybuchu. W teorii stanu stacjonarnego tworzenie materii w efekcie napędza ekspansję, ponieważ ogólnie gęstość pozostaje stała pomimo tworzenia nowej materii. Wszechświat zatem naprawdę znajduje się w pewnego rodzaju stanie stacjonarnym. Jednak w połowie lat 50. astronomowie zdecydowali, że metody Hubble’a pomiaru odległości do galaktyk zostały podważone przez poważne błędy, takie jak mylenie obłoków świecącego gazu z bardzo jasnymi gwiazdami. Teraz wydawało się, że wcześniejsze odległości do odległych galaktyk musiały zostać podwojone, a to z kolei oznaczało, że tempo ekspansji wszechświata było wolniejsze, niż sądzono wcześniej. Wiek wszechświata został w rezultacie poważnie niedoszacowany, a jego wiek nie był już krótszy od wieku Ziemi i gwiazd, co pozbawiło go jednego z uzasadnień dla teorii stanu stacjonarnego. Co więcej, to, co szybko stało się powszechnie akceptowane jako przekonujący dowód przeciwko teorii stanu stacjonarnego, pojawiło się w 1965 r. w postaci „kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła”. W 1964 r. dwóch fizyków z Bell Telephone Laboratories w New Jersey na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych rozpoczęło serię eksperymentów z niezwykle anteną radiową. Arno Penzias i Robert Wilson użyli anteny do zbadania „szumu” w komunikacji satelitarnej. Chcieli wyśledzić i wyeliminować wszystkie źródła szumu. Początkowo Penziasowi i Wilsonowi wydawało się, że ich antena może wytwarzać więcej szumu elektrycznego, niż się spodziewali. Po dokładnych testach i czyszczeniu anteny (w tym usunięciu dwóch nocujących gołębi i ich odchodów) doszli do wniosku, że niezależnie od tego, co zrobili, jednego źródła hałasu nie dało się wyeliminować i że docierał on z równą intensywnością ze wszystkich kierunków w przestrzeni. Jakie było jego źródło? Odpowiedź, jaką Penzias i Wilson otrzymali wkrótce od fizyków i astronomów z pobliskiego Uniwersytetu Princeton, brzmiała, że kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła można interpretować jako pozostałości niezwykle wczesnego okresu w historii wszechświata, w rzeczywistości jako rodzaj reliktu pochodzenia

„Wielkiego Wybuchu” dla wszechświata. Chociaż niewiarygodnie gorące na samym początku ekspansji, jak głosił argument, ekspansja doprowadziła do początkowo szybkiego, a następnie stopniowego ochłodzenia promieniowania do temperatury około 3 kelwinów, czyli trzech stopni Celsjusza powyżej zera absolutnego. George Gamow, Ralph Alpher i Robert Herman wcześniej przewidzieli istnienie takiego zimnego promieniowania jako dowodu bardzo wczesnego i gorącego okresu w historii wszechświata, ale Penzias i Wilson potrzebowali nieświadomości tych przewidywań, aby je znaleźć. Promieniowanie 3K, powszechnie interpretowane jako bezpośredni dowód samego Wielkiego Wybuchu, było powszechnie postrzegane jako cios młotem przeciwko teorii stanu stacjonarnego.

### **Astronomia z kosmosu**

Radiowe i mikrofalowe obszary widma elektromagnetycznego nie były jedynymi, które zostały otwarte na obserwacje astronomiczne po II wojnie światowej. Rozwój astronomii wysoko w atmosferze przy użyciu balonów i ponad atmosferą Ziemi był nie do pomyślenia nawet kilka lat wcześniej. Astronomia kosmiczna „zarówno dosłownie, jak i metaforycznie, rozkręciła się”. Dzięki zastosowaniu rakiet i satelitów udostępniono jeszcze więcej regionów, a także zaoferowano astronomom optycznym perspektywę zabezpieczania obrazów i widm obiektów astronomicznych znacznie ostrzejszych niż te, które można było uzyskać za pomocą instrumentów naziemnych. Przed II wojną światową astronomowie mogli tylko pomarzyć o umieszczaniu teleskopów ponad przesłaniającymi warstwami atmosfery Ziemi. Dostępna technologia raketowa była tak prymitywna, że w najlepszym razie takie teleskopy znajdowały się w odległej przyszłości. Jednak w czasie wojny nacisk na budowę broni przyspieszył rozwój technologii raketowej. Największe postępy technologiczne poczyniono w nazistowskich Niemczech. Dzięki zapewnieniu dużych ilości zasobów państwa i pracy przymusowej wielu tysięcy więźniów obozów koncentracyjnych, Niemcy zbudowali kierowany pocisk raketowy V-2. V-2 były straszną, choć niedokładną bronią, ale podkreślały, że skonstruowano rakiety zdolne do przenoszenia instrumentów astronomicznych w kosmos. Międzykontynentalne pociski balistyczne uzbrojone w głowice nuklearne zdefiniowały zimną wojnę. Pod koniec lat 40. i 50. XX wieku istniały również duże projekty finansowane przez wojsko, mające na celu lepsze zrozumienie górnych warstw atmosfery, ośrodka, przez który takie pociski będą się przemieszczać. Naukowcy byli ściśle zaangażowani w ten wysiłek i często wynosili instrumenty naukowe wysoko w atmosferę lub ponad nią na pokładach rakiet. Na przykład grupa z Naval Research Laboratory w pobliżu Waszyngtonu, D.C., wyniosła instrumenty w raketach V-2, aby obserwować Słońce w ultrafioletowych długościach fal, które ze względu na efekt osłony atmosfery nie docierają do ziemi. Wystrzelenie radzieckiego Sputnika I w październiku 1957 r., pierwszego obiektu zbudowanego przez człowieka, który został wysłany na orbitę, wyniosło przestrzeń kosmiczną do bardzo publicznego teatru zimnej wojny, a astronomia kosmiczna stała się jedną z broni w walce o prestiż naukowy i technologiczny między Stanami Zjednoczonymi a Związkiem Radzieckim. Dzięki połączeniu czynników naukowych, technicznych i politycznych astronomia kosmiczna zyskała poziom wsparcia, o jakim nie śniło się nawet kilka lat wcześniej. Astronomia kosmiczna „zarówno dosłownie, jak i metaforycznie, wystartowała”.

W Stanach Zjednoczonych programami badania obiektów astronomicznych z kosmosu zarządzała NASA, Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej. W latach 60. i 70. misje NASA nadały istotny impuls badaniom Układu Słonecznego, na przykład lot Mariner 2, który przeleciał obok Wenus. Oprócz przelotów, zarówno USA, jak i Związek Radziecki rozpoczęły lądowanie statków kosmicznych na planetach, a pierwszym sukcesem było lądowanie radzieckiej Wener 7 na Wenus w 1970 roku. W połowie 1976 roku dwa amerykańskie statki kosmiczne wylądowały na Marsie. Każdy statek kosmiczny Viking składał się z „lądownika” i „orbitera”, lądownika do transportu szeregu eksperymentów na powierzchnię Marsa i orbitera do badania planety z dużej wysokości nad powierzchnią. Lądowniki poszukiwały oznak życia, ale ogólny wniosek naukowców Viking był taki, że nie znaleźli takich

dowodów, przynajmniej nie w bezpośrednim sąsiedztwie dwóch lądowisk. W latach 60. Stany Zjednoczone i Związek Radziecki przeprowadziły główne misje naukowe w zakresie kosmosu. Ten stan rzeczy zaczął się zmieniać w latach 70. W następnej dekadzie Europejska Agencja Kosmiczna prowadziła bardzo znaczący program naukowy w zakresie kosmosu, a Japonia również budowała i uruchamiała misje kosmiczne. Dlatego gdy w 1985 i 1986 roku kometa Halleya dokonała jednego ze swoich regularnych powrotów do wewnętrznych regionów Układu Słonecznego, spotkała ją mała armada statków z Europejskiej Agencji Kosmicznej, Związku Radzieckiego i Japonii, ale nie ze Stanów Zjednoczonych. Instrumenty astronomiczne umieszczone na pokładzie statków kosmicznych umożliwiły niektóre poddyscypliny, które w przeciwnym razie byłyby niemożliwe do przeprowadzenia z powierzchni Ziemi. Jednym z przykładów jest astronomia rentgenowska. Promienie rentgenowskie z obiektów astronomicznych są pochłaniane przez atmosferę Ziemi, więc aby zająć się astronomią rentgenowską, instrumenty muszą zostać wysłane w kosmos. Kluczowy rozwój wczesnej historii astronomii rentgenowskiej nastąpił w 1970 roku wraz z wystrzeleniem Uhuru, pierwszego satelity poświęconego astronomii rentgenowskiej (Uhuru to słowo w języku suahili oznaczające wolność i zostało wybrane, ponieważ satelita wystartował w pobliżu wybrzeża Kenii). Dzięki instrumentom na pokładzie rakiet astronomowie rentgenowscy byli ograniczeni do kilku minut obserwacji, zanim rakieta wygięła się z powrotem w atmosferę pod wpływem grawitacji. Dzięki Uhuru to paraliżujące ograniczenie zniknęło. W 1963 roku Riccardo Giacconi, lider grupy badawczej w American Science and Engineering, firmie z siedzibą w pobliżu Bostonu, opracował plan takiego satelity rentgenowskiego (w 2002 roku otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki za pionierski wkład w astronomię rentgenowską). Grupa miała już duże doświadczenie w wystrzeliwaniu satelitów z instrumentami rentgenowskimi dzięki pracy w latach 1961 i 1962 dla Departamentu Obrony USA nad pomiarami wybuchów broni jądowej na dużych wysokościach, broni, która również emitowała promienie rentgenowskie. Stąd, jak to często bywa w astronomii kosmicznej, pozornie naukowy projekt, Uhuru, wiele zawdzięczał połączeniu zainteresowań naukowych i wojskowych. Być może głównymi odkryciami dokonanymi przy pomocy Uhuru były szybkie zmiany intensywności kilku źródeł. Jak wyjaśnić te zmiany? Jedno źródło, „Cygnum X-1”, przyciągnęło szczególną uwagę, a astronomowie teoretyczni zinterpretowali promienie rentgenowskie z Cygnusa X-1 jako wynik emisji z gorącego gazu, który został podgrzany przez przeciąganie w kierunku bardzo zwartego obiektu. Niektórzy astronomowie zaproponowali, że zwarty obiekt był „czarną dziurą”, gwiazdą, która zakończyła swoją ewolucję z gęstością tak dużą, że nawet światło, które porusza się z prędkością około 300 000 kilometrów na sekundę, nie może uciec z jej powierzchni. Jak argumentowali fizycy Robert Oppenheimer i Harlan Snyder w klasycznej pracy z 1939 r., gwiazda, która raz stała się czarną dziurą, „ma tendencję do zamykania się na wszelką komunikację z odległym obserwatorem; tylko dwóch radzieckich fizyków, Jakow Zeldowicz i Igor Nowikow, zasugerowało w połowie lat 60., że czarne dziury mogą być wykrywane jako źródła promieniowania rentgenowskiego. Nasze Słońce ma temperaturę około 6000 kelwinów i emituje większość swojej energii w widzialnych długościach fal. Im cieplejszy obiekt, tym krótsze są długości fal emitowanego promieniowania. Astronomowie dawno ustalili, że gwiazdy o temperaturze 50 000 kelwinów emitują większość swojej energii w ultrafioletowym obszarze widma. Zeldowicz i Nowikow zaproponowali, że gdy materia jest przyciągana w kierunku czarnej dziury, przyspiesza, a ta zwiększona energia ruchu jest przekształcana w energię cieplną przez tarcie. Bardzo blisko czarnej dziury temperatury są tak wysokie, że zamiast światła widzialnego materia emituje promienie rentgenowskie i gamma. Czy Cygnus X-1 był naprawdę zasilany przez czarną dziurę? Dla wielu astronomów dowody były niejednoznaczne. Od wczesnych lat 70. czarne dziury stały się jednak centralnym tematem dla astronomów, a spekulacje były powszechne, że być może nie były one tylko punktem końcowym w ewolucji bardzo masywnych gwiazd, ale także obecne w sercach galaktyk, podobnie jak wysoce energetyczne kwazary — obiekty, które emitowały znacznie więcej energii niż normalne galaktyki, ale zajmowały znacznie mniejszą objętość — które zostały odkryte na początku lat

60-tych. W rzeczywistości odkrycia astronomów dotyczące tak wysoce energetycznych obiektów, jak kwazary, a także spekulacje na temat czarnych dziur i intensywnych wylewów energii z radiogalaktyk w czasie podważyły szeroko rozpowszechniony pogląd na wszechświat galaktyk spokojnie koziółkujących w przestrzeni, który był powszechny od lat 30. XX wieku. Wszechświat, jak się wydawało pod koniec lat 70. XX wieku, był o wiele bardziej gwałtownym miejscem, niż astronomowie wyobrażali sobie wcześniej. W latach 70. XX wieku; i 1980, nastąpiła również rosnąca wymiana zdań między astrofizyką a fizyką wysokich energii oraz kolejna „inwazja” fizyków na astronomię. Jednym z najbardziej uderzających przykładów powiązań między tymi dwiema dyscyplinami są podziemne „obserwatoria” w kopalniach i tunelach. Obserwatoria te zostały zaprojektowane i zbudowane nie w celu obserwacji, powiedzmy, światła widzialnego lub fal radiowych, ale neutrin. Niektórzy studenci Słońca, na przykład, wykonali obliczenia liczby neutrin, których uwolnienia można się spodziewać w wyniku reakcji termojądrowych głęboko we wnętrzu Słońca. Jednym ze sposobów, w jaki astronomowie i astrofizycy próbowali przetestować te przewidywania i teorie, na których się opierały, było zliczenie uwolnionych neutrin. Kiedy w latach 60-tych zbudowano pierwsze z tych podziemnych obserwatoriów, neutrina były szeroko badane przez fizyków w akceleratorach cząstek i reaktorach, a ich zdolność do penetracji ogromnych ilości gęstej materii była dobrze znana. Wykrycie tych widmowych cząstek stwarzało zatem wiele problemów. Po pierwsze, projektanci obserwatorium chcieli osłonić się przed promieniami kosmicznymi, które mogłyby zakłócać pomiary neutrin. Aby to zrobić, obserwatoria neutrin umieszczono około mili pod ziemią, na odległość, na którą mogą dotrzeć neutrina, ale nie promienie kosmiczne. Ale jak „złapać” neutrina? Rozwiązaniem przyjętym w kopalni złota Homestake w Dakocie Południowej w Stanach Zjednoczonych w latach 60. było napełnienie ogromnego zbiornika 100 000 galonów płynu czyszczącego. Chlor w płynie może absorbować neutrina. Kiedy neutrina wchodzi w interakcję z atomem chloru, chlor przekształca się w radioaktywny argon. Ilość radioaktywnego argonu uwolnionego w danym okresie można zmierzyć i policzyć liczbę neutrin. Takie eksperymenty wykazały, że liczba neutrin ze Słońca była mniejsza niż połowa oczekiwanej liczby, a ta anomalia między obserwacją a teorią stanowiła poważną anomalię. Jednak na początku XXI wieku nowe pomiary neutrin z bardziej zaawansowanych obserwatoriów niż Homestake Mine, w szczególności Sudbury Neutrino Observatory w Kanadzie, a także nowe teorie neutrin rozwiązały problem, a przewidywane liczby neutrin zostały znacznie lepiej uzgodnione z liczbami obserwowanymi. „pole grawitacyjne”.

### **Teleskopy w kosmosie**

W kwietniu 1990 roku wahadłowiec kosmiczny Columbia wystartował ze swojej platformy startowej na Przylądku Kennedy'ego na słupie dymu i płomieni. W jego ładowni znajdował się Kosmiczny Teleskop Hubble'a, teleskop zwierciadlany z głównym lustrem o średnicy 2,4 metra, będący wspólnym dziełem NASA i Europejskiej Agencji Kosmicznej. Zbudowany za ponad 2 miliardy dolarów, jest najdroższym teleskopem, jaki kiedykolwiek zbudowano. Miał mniej więcej wielkość szkolnego autobusu i został zaprojektowany jako wysoce precyzyjny instrument. Jednak wkrótce po tym, jak został umieszczony na orbicie przez wahadłowiec kosmiczny NASA, astronomowie i inżynierowie odkryli, że jego główne lustro zostało wyprodukowane w dokładnym, ale nieprawidłowym kształcie, a krawędzie lustra były odrobinę zbyt płaskie. W rezultacie ostrość Hubble'a nie była tak dobra, jak planowano, a w przypadku bardzo słabych obiektów, takich jak odległe gromady galaktyk, stanowiło to paralizujący problem. Pod koniec 1993 r. wystartowała misja naprawcza teleskopu, w ramach której astronauta wahadłowca wymienili niektóre instrumenty, a także zainstalowali urządzenie korygujące niewłaściwy kształt głównego lustra. Ta misja o dużej wadze okazała się wielkim sukcesem i uczyniła Hubble'a tak sprawnym, jak pierwotnie planowano, chociaż oznaczała utratę jednego z instrumentów naukowych. Rzeczywiście, z czasem stał się on potężniejszym teleskopem, ponieważ podczas późniejszych misji wahadłowców kosmicznych starsze, mniej wydajne instrumenty naukowe

zastąpiono bardziej naukowymi i technicznymi. Do 2013 roku wydano ponad 20 miliardów dolarów na budowę Hubble'a i utrzymanie go na orbicie, a także na analizę i archiwizację danych, które powrócił na Ziemię w celu rozwiązania wielu problemów astronomicznych. Według wszelkich standardów Hubble jest nauką na największą skalę. Obserwacje za pomocą Hubble'a były również bardzo ważne w potwierdzaniu obserwacji, które doprowadziły do szybkiej akceptacji idei przyspieszającego wszechświata, dziwacznej, jakkolwiek początkowo ta koncepcja wydawała się dziwna, ponieważ oznaczała, że prędkość oddalających się galaktyk przyspieszy z czasem, a nie zwolni, jak wszyscy się spodziewali. Saul Perlmutter, Adam G. Riess, Brian P. Schmidt i ich grupy badawcze zaobserwowali w 1998 r., że bardzo odległe supernowe — ponieważ supernowe są niezwykle jasne, można je wykryć z ekstremalnych odległości — są systematycznie słabsze niż oczekiwano w porównaniu z bardziej pobliskimi supernowymi, a zatem w większych odległościach niż przewidywano. Wszechświat nie tylko przyspiesza na tym obrazie, ale będzie się rozszerzał wiecznie w coraz szybszym tempie napędzanym przez to, co zostało nazwane „ciemną energią”. To niezwykle odkrycie przyniosło Perlmutterowi, Reissowi i Schmidtowi Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 2011 r.

## **Wnioski**

W drugiej dekadzie XXI wieku astronomią zajmowało się więcej astronomów z bardziej wyrafinowanym sprzętem niż kiedykolwiek wcześniej. Rządy państwowe i fundacje prywatne nigdy nie udzieliły tak dużego wsparcia nauce. W 1800 r. bardzo niewielu astronomów chciało pójść w ślady Williama Herschela w badaniu terenów daleko poza Układem Słonecznym. Na początku XXI wieku astronomowie mówili pewnie o historii i samym powstaniu wszechświata, i korzystali nie tylko z informacji z długości fal optycznych, aby testować i interpretować swoje teorie, ale także z danych z innych obszarów widma elektromagnetycznego, w tym promieni gamma, rentgenowskich, ultrafioletowych, podczerwonych i radiowych, a także z informacji uzyskanych ze statków kosmicznych z różnych miejsc poza Ziemią. Astronomia została przebudowana pod względem naukowym, technicznym i społecznym.

## **Wizje teoretyczne**

Słowo „teoria” pochodzi od greckiego terminu *theoria* (θεωρία), którego używano do opisanja bycia świadkiem spektaklu w egzotycznej krainie. W tym sensie teoria oznaczała widzenie nowych widoków, poznawanie rzeczy wykraczających poza codzienne życie. Tak samo jest w fizyce. Fizycy tworzą systemy pojęć i równań, aby zapewnić nowe poczucie spójności, znaczenia i jedności w innym przypadku zagmatwanemu światu. Newton pokazał, jak połączenie grawitacji i garści prostych praw może wyjaśnić ruchy wszystkich ciał, od kul armatnich po komety — przynajmniej w teorii. Teorie takie jak jego ujawniły uniwersalne zasady ukryte za chaosem obserwacji. Teoria, jako sposób organizowania rzeczywistości, opowiada się za niewidzialnym światem rządzonego przez dziwaczne zasady. Mówi, że musimy wyjść poza nasze bezpośrednie doświadczenie w sferę pojęć i idei. Oczywiście pojęcia i idee są często błędne. Historia ujawnia centralne napięcie w fizyce teoretycznej: w jaki sposób możemy czerpać korzyści z eksploracji poprzez teorię, jednocześnie upewniając się, że teoria jest wiarygodna? Sceptycyzm co do wartości teorii często wywodzi się z ostrzeżenia Francisca Bacona o „antycypacji natury”. Twierdził, że ludzki rozum jest słaby i głęboko ukształtowany przez indywidualne uprzedzenia, ograniczenia języka i dogmaty filozofii. Te idole, jak je nazywał, mogą uniemożliwić używanie hipotez do prawidłowego zrozumienia świata przyrody. Ostrzegał, że wielu filozofów tworzyło swoje teorie wyłącznie z wyobraźni, jak pająk, który „tka sieci ze swojej własnej substancji”. Zwykłą lekcją przedmiotową dla tego ostrzeżenia był Kartezjusz, który wypełnił kosmos wirami bez żadnych dowodów na ich istnienie. Osiągnięcia Newtona w XVII wieku przekonująco pokazały, że teoria była w pewnym stopniu przydatna w dążeniu fizyki do znalezienia uniwersalnych praw. Ale jak można odkryć



te prawa natury, nie stając się ofiarą idoli Bacona? Jak sprawić, by teoria była użyteczna, a nie niebezpieczna?

### Ograniczanie spekulacji

Te obawy były nadal bardzo realne, gdy fizyka w nowoczesnym znaczeniu pojawiła się na początku XIX wieku. To właśnie w tym czasie metody laboratoryjne stały się powszechne. Gdy fizyka zaczęła badać nowy świat elektryczności i magnetyzmu, pojawiły się problemy. Siły, którymi manipulowali eksperymenci, były tajemnicze i niewidoczne. Istniały głębokie obawy, że nowe zjawiska, takie jak elektromagnetyzm, pozwolą na niekontrolowane spekulacje. Gdy badacze próbowali zrozumieć ten dziwny nowy świat, co powstrzymywało ich przed po prostu wymyśleniem absurdalnych wyjaśnień i projektowaniem swoich fantazji na naturę? W Wielkiej Brytanii obawy te często prowadziły do podejrzliwości wobec teorii. Rozważmy Michaela Faradaya, samouka-pioniera badań elektrycznych i magnetycznych. Był szczególnie ostrożny w kwestii bliźniaczych niebezpieczeństw abstrakcji bez fizycznego wglądu i nieuzasadnionego wymyślenia nowych hipotetycznych bytów, kiedy tylko było to wygodne. Jednocześnie zdał sobie sprawę, że jego praca laboratoryjna wymagała nowych sposobów mówienia o elektryczności i magnetyzmie — codzienna intuicja fizyczna wyraźnie osiągnęła swoje granice. Opracował swoje słynne „linie sił” jako sposób na rozwiązanie tej zagadki. Linie te służyły do pokazywania, gdzie efekty elektromagnetyczne są najintensywniejsze i jak są skierowane. Linie te umożliwiały myślenie o niewidzialnych siłach bez żadnych konkretnych hipotez dotyczących ich natury. Pozwalały mu również stosować znane kategorie fizyczne (takie jak napięcie i gęstość) do nowych sytuacji. Jego rysunki były sposobem na pokorne podejście do fizyki, bez zakładania, że rozumie specyfikę tego, co się dzieje. Pomagały one w prowadzeniu badań do przodu, jednocześnie powstrzymując ludzką skłonność do spekulacji i wynalazczości. Inną strategią zapobiegania spekulacjom było wykorzystanie matematyki. Matematyka ze swoimi sztywnymi zasadami i wymaganiami spójności mogła być ważnym sprawdzianem wyobraźni. Zwolennicy tego podejścia wskazywali na niesamowite osiągnięcia francuskiego matematyka Pierre'a Simona de Laplace'a. Jego *Traité de mécanique céleste* został opublikowany w kilku tomach w pierwszych trzech dekadach XIX wieku. Rozwiązał zagadkę, która zaskoczyła Newtona — w jaki sposób Układ Słoneczny mógł pozostać stabilny przez długie okresy czasu? Nieuporządkowane oddziaływania grawitacyjne między planetami wydawały się tworzyć niemożliwą sytuację. Laplace podszedł do problemu z oszałamiającą matematyczną przenikliwością i nowymi narzędziami analitycznymi. Udało mu się wykazać, że nie musimy się martwić, że przyciąganie Jowisza wyrzuci Ziemię z jej uporządkowanej orbity. Jego podejście było eleganckie. Weź prawa ruchu i grawitacji Newtona (które wszyscy uznawali za prawdziwe) i zastosuj je z niekończącą się dedukcyjną rygorystycznością. Nie było potrzeby proponowania nowych sił ani subtelnych płynów. Ostatecznie, jak zasugerował Laplace, wszystkie zjawiska świata można było ująć w opis matematyczny. Sukces francuskiej teorii matematycznej był inspirujący w całej Europie. Uniwersytet Cambridge, czcigodna siedziba Newtona, sprzeciwiła się tym nowym metodom. Ostatecznie grupa młodych mężczyzn zainteresowanych fizyką zainportowała te kontynentalne podejścia. Nazwali siebie *Analytical Society* i około 1812 roku zaczęli promować znaczenie współczesnej matematyki w nauce. Wśród nich byli przyszli luminarze, tacy jak astronom John Herschel, matematyk i lider Cambridge William Whewell, pionier informatyki Charles Babbage i astronom Royal George Airy. Byli pasjonatami nowej matematyki ze względu na jej wydajność i potencjał wprowadzania innowacji do coraz bardziej przestarzałej filozofii przyrody. Ostatecznie mieli oni ogromny wpływ na wiarygodność teorii w fizyce. Herschel pomógł ukształtować debatę na temat właściwej roli teorii w swoim szeroko czytany *Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*. Uważał, że podąża śladami Bacona. Właściwa indukcja była empiryczna i odrzucała nieuzasadnione spekulacje. Napisał, że filozofowie przyrody powinni powoływać się tylko na „przyczyny uznane za mające rzeczywiste istnienie w naturze, a nie będące jedynie hipotezami lub

wymysłami umysłu”. Nowe zjawiska należy wyjaśniać w kategoriach już zrozumianych zasad, tak jak robił to Laplace. Jednak ta grupa uznała również konieczność wyjścia poza samą obserwację. Whewell pisał o potrzebie formułowania praw, które łączyłyby poszczególne fakty. Prawa natury były prawidłowościami zachowań i aktywności, takimi jak prawa ruchu Newtona. Nie można ich było zobaczyć bezpośrednio i można je było rozpoznać tylko poprzez rozumowanie umysłowe. Twierdził, że oznacza to, że odkrycia w nauce nie były przypadkowe. Raczej zdarzały się, gdy ktoś był odpowiednio przygotowany do badania natury. To przygotowanie zwykle przybierało formę intensywnego studiowania praw natury. Rozpoznanie tych praw pozwoliło dostrzec wzorce i prawdy, które w przeciwnym razie byłyby ukryte. Jego ulubionym przykładem były prawa Keplera. Drobiazgowo obserwacje Tycho Brahe były bezużyteczne, dopóki Kepler nie wprowadził do gry nowej koncepcji elipsy, po czym ujawniono prawdziwe ruchy planet. Wcześniej istniejące idee (takie jak elipsa) mogły pomóc w rozwoju nauki. Wielu współczesnych Whewella było niezadowolonych z tego twierdzenia. Było to niebezpiecznie bliskie ostrzeżeniom Bacona o przewidywaniu natury. Co jeśli koncepcja użyta w teorii była myląca lub po prostu błędna? Wtedy wyniki również byłyby niepoprawne. Główna obrona wiarygodności teorii Whewella miała charakter teologiczny. Pisał, że Bóg stworzył zarówno świat przyrody, jak i koncepcje dostępne dla ludzkiego umysłu. A ponieważ Bóg chciał, aby ludzie uczyli się o Jego stworzeniu, mogliśmy być pewni, że istnieje gwarantowana zgodność między naszymi koncepcjami a światem. Oznaczało to, że na przykład matematyka była wrodzona ludzkiemu umysłowi (stanowisko nie zawsze popularne wśród jego współczesnych). Pomimo kontrowersji wokół jego idei, stanowisko Whewella na temat wartości teorii stało się niezwykle powszechne. Było to w dużej mierze spowodowane jego ważną pozycją jako Master of Trinity College w Cambridge. Był kluczową częścią odrodzenia filozofii przyrody w tym miejscu, a jego poglądy stały się standardem w ciągu pokolenia. Podstawą kształcenia w zakresie nauk ścisłych w Cambridge był Mathematics Tripos, egzamin, który wykształcił pokolenia fizyków teoretycznych. Tripos był zarówno rygorystyczny pod względem umysłowym, jak i fizycznym i dał początek odrębnej kulturze matematycznej w Cambridge. Oprócz określonych technik analitycznych i podejść do rozwiązywania problemów, studenci byli tam wpajani z głębokim szacunkiem dla mocy matematyki w eksploracji świata przyrody. Skutki tej kultury Cambridge były kluczowe dla rozwoju fizyki teoretycznej w ciągu następnego stulecia. Na przykład oczekiwano, że prawdy natury będą miały formę matematyczną. Kontemplacja praw natury i schematów teoretycznych mogła być przydatna do odkryć. A być może najważniejsze było przekonanie, że ludzki umysł rzeczywiście jest w stanie racjonalnie zrozumieć świat.

### **Teoria przemysłu**

Ta pewność co do naszej zdolności do zrozumienia i kontrolowania świata była integralną częścią szybkich skoków industrializacji w XIX wieku. Uważamy epokę przemysłową za erę ogromnych statków żelaznych, dzikich maszyn parowych i ryczących kolei. Ale dała też początek wielu teoriom na temat tego, co nieuchwytnie, drobne i ulotne. Rosnąca wszechobecność pary i jej skutki nie tylko dostarczyły fizykom nowych zjawisk do zbadania, ale także nowych sposobów konceptualizacji samej natury. Nawet gdy te maszyny napędzały fabryki do coraz większych zysków, podnosiły coraz trudniejsze pytania filozoficzne. Wydawało się, że niszczą węgiel, stają się gorące i tworzą efekty mechaniczne. Ale dokąd poszło ciepło? Skąd wziął się efekt mechaniczny? Czy istniejąca wiedza mogłaby to wyjaśnić, czy też potrzebne było jakieś nowe podejście? Niewielu ludzi uważało, że te pytania można rozwiązać poprzez czysto umysłowe rozważania. Fizycy, którzy opracowali teorię, aby zbadać te tajemnice, prawie zawsze byli również biegli w eksperymentach. Rzadko oczekiwano, że teoria obroni się sama. Sadi Carnot, francuski inżynier, pomógł rozpocząć ten proces. Chciał zrozumieć działanie wszystkich silników poprzez jakąś ogólną zasadę, zamiast badać każdy mechanizm osobno. Wyobraził sobie subtelny substancję zwaną kaloryką, która wytwarzała pracę silników. Kaloryka nie była zużywana jak paliwo, ale raczej tylko przemieszczała się z wyższych temperatur do niższych. Ten ruch wytwarzał

efekty mechaniczne, podobnie jak spadająca woda mogła napędzać koło wodne. Jego praca była w dużej mierze ignorowana, dopóki nie została ponownie odkryta przez młodego szkockiego fizyka Williama Thomsona (który później został Lordem Kelvinem). Thomson dorastał w Glasgow w sercu przemysłowej Wielkiej Brytanii. Dorastał otoczony silnikami, statkami i fabrykami. Nieprzypadkowo podstawowy pomiar efektu silników — „praca” — jest w istocie kategorią ekonomiczną. Dla ludzi takich jak Thomson głębsze zrozumienie fizyki ciepła było nierozzerwalnie związane z zastosowaniem tej fizyki dla rzeczywistych korzyści ekonomicznych i społecznych. Ostatecznie maszyna parowa stała się modelem Thomsona dla całego wszechświata. Podobnie jak Faraday, Thomson był sceptyczny wobec prób wyjaśnienia zjawisk poprzez spekulacje na temat nowych niewidzianych substancji (takich jak kaloryczność Carnota). Wykształcił się w szkockiej szkole filozofii „Common Sense”. Szkoła ta ostrzegała, że teorie muszą być oparte na naszym codziennym doświadczeniu świata. Kierując się tą filozofią, Thomson zaproponował, aby przekształcanie ciepła w ruch było wyjaśniane poprzez dynamiczną teorię ciepła. W tej teorii ciepło było po prostu naszą prymitywną obserwacją ruchu mikroskopijnych ciał. Ruch ten można było czasami manipulować, aby wykonać pracę kierunkową (jak w silniku), ale czasami można go było utracić (jak w przypadku ciepła odpadowego z tego silnika). Thomson rozwijał swoją teorię przez kilka lat, osiągając wielki sukces. Była bardzo przydatna do zrozumienia ogólnych zachowań ciepła, takich jak przewodzenie. Zapewniała również znaczący wgląd w konkretne kwestie inżynierskie, takie jak wydajność. Browarnik z Manchesteru, James Joule, również przyczynił się do tych pomysłów. Joule zauważył, że partie piwa zwiększają temperaturę podczas mieszania. Przeprowadził dalsze eksperymenty o zadziwiającej dokładności, aby określić precyzyjny związek liczbowy między pewną ilością ruchu a pewną ilością ciepła. Choć dalekie od potwierdzenia, możliwość stwierdzenia, że dana ilość ciepła równa się dokładnej ilości ruchu, była wielkim wsparciem dla tej teorii. Thomson był jednak zaniepokojony podstawami swoich idei. Co dokładnie się poruszało w skali mikroskopowej? Od dawna spekulowano, że cała materia składała się z maleńkich cząsteczek, różnie nazywanych w tym czasie atomami lub cząsteczkami. Jednakże było to dokładnie takie rozumowanie, co do którego Thomson był podejrzliwy. Nikt nie widział ani nie mógł zobaczyć atomu. Były zatem niebezpiecznie niewiarygodne jako wyjaśnienie. Mogły łatwo być wytworem ludzkiej wyobraźni. A jednak były niezaprzeczalnie przydatne jako hipoteza. Inni fizycy, tacy jak Niemiec Rudolph Clausius, byli mniej ostrożni niż Thomson. W 1857 roku Clausius potraktował tę hipotezę poważniej i opracował niektóre z jej matematycznych konsekwencji. Jego celem było sprawdzenie, czy łączne właściwości hipotetycznych ruchomych cząsteczek można skorelować z jakąkolwiek obserwowaną właściwością gazów. Wysiłki Clausiusa zostały rozszerzone w 1860 roku przez Jamesa Clerka Maxwella. Maxwell był, podobnie jak Thomson, szkockim absolwentem systemu Cambridge Tripos. Był zarówno uzdolniony matematycznie, jak i znał przemysłowe i eksperymentalne korzenie tych pytań. Wprowadził do problemu nowe techniki matematyczne. Zainspirowany narzędziami statystycznymi opracowywanymi w celu zrozumienia społeczeństwa ludzkiego, dodał losowość do modeli ruchu atomów.

Do podstawowej niewiedzy na temat tego, czym są te atomy, dołączyła teraz kolejna niepewność — statystyka oznaczała, że teoretycy musieli zrezygnować z poznania dokładnego ruchu pojedynczego atomu. Mogli znać tylko ich ruchy średnio. Dla Maxwella była to akceptowalna cena. Nowe techniki statystyczne umożliwiły teorie wyjaśniające wiele właściwości gazów, w tym dyfuzję i dobrze znane zależności między temperaturą, ciśnieniem i objętością. Ta teoria kinetyczna odniosła ogromny sukces, o ile było się skłonny zapłacić cenę koncepcyjną: czy atomy naprawdę istnieją? Niektórzy badacze pozostawali sceptyczni. Austriacki fizyk i filozof Ernst Mach słynnie skonfrontował wyznawców atomów z druzgocącym pytaniem: czy kiedykolwiek je widzieliście? Maxwell z kolei zasugerował, że sukces teorii opartej na hipotezie atomów był sam w sobie silnym dowodem na ich istnienie, pomimo ich niewidzialności. Kinetyczna teoria ciepła była wielkim zwycięstwem w zrozumieniu powiązań między

cieplem a ruchem wywołanym przez maszynę parową. Coraz częściej jednak postrzegano to jako tylko jeden przypadek szerszej serii transformacji. Baterie galwaniczne pokazały, że substancje chemiczne można przekształcić w elektryczność. Nowe silniki pokazały, że elektryczność może stać się ruchem. Nawet skromna świeca wykazała pewne podstawowe powiązania między ciepłem, światłem i chemią. Filozofowie przyrody w całej Europie zmagali się jednocześnie z tymi pytaniami. Wielu doszło do wersji idei, że we wszystkich tych procesach jest coś zachowanego. Pomimo oczywistych różnic, być może istniał niezmienny byt leżący u podstaw tego wszystkiego. Mechaniczny odpowiednik ciepła Joule'a sugerował, że może istnieć podobny związek dla wszystkich tych różnych zjawisk. Berliński lekarz, który interesował się fizyką, Hermann von Helmholtz powiedział, że to, co wszystkie one miały ze sobą wspólnego, to zdolność do wykonywania pracy. A ilość pracy, którą można było wykonać, nie zmieniała się w zależności od formy, tylko sposób, w jaki się pojawiała. Zdolność do pracy w danej ilości węgla została przekształcona w równoważną ilość efektu mechanicznego. Siły tej nie można było ani stworzyć, ani zniszczyć, można ją było jedynie przekształcić. Helmholtz zaproponował nawet radykalny pomysł, że zasada ta powinna mieć zastosowanie również do istot żywych. Ludzie i zwierzęta byli wyraźnie zdolni do pracy, co oznaczało, że oni również byli odpowiednikami maszyny parowej — po prostu tak się zdarzyło, że byli zasilani jedzeniem, a nie węglem. Życie stało się więc szczególnym przypadkiem fizyki. Brytyjscy filozofowie przyrody zaczęli opisywać tę zasadę w jej bardziej współczesnej formie zachowania energii. Thomson i jego współpracownicy rozważali możliwość, że energia jest najbardziej podstawową zasadą we wszechświecie. Jeśli tak, to wszystkie zjawiska naturalne należy badać przez pryzmat tej teorii. W przypadku każdego procesu pojawiały się teraz zasadnicze pytania: skąd pochodzi energia? Gdzie ona idzie? Jak zachodzi transformacja? Zachowanie energii sugerowało również głębokie prawdy o wszechświecie. Wydawało się teraz, że musi istnieć ustalona ilość energii, której nigdy nie można zwiększyć ani zmniejszyć. Cała ludzka moc musiałaby pochodzić z transformacji tego magazynu z jednej formy w drugą. Nawet Słońce, jak rozumiano, musi ostatecznie przepalić swoje (nadal tajemnicze) źródło paliwa i ostygnąć do ciemności. Wielu fizyków interpretowało to w kategoriach religijnych: tylko Bóg mógł tworzyć lub niszczyć energię, a to nowe prawo natury stanowiło wyraźną granicę między działaniem człowieka i Boga. Inni fizycy rozumieli tę zasadę w kategoriach filozofii romantycznej: głęboka, ukryta jedność świata, która pokazywała wzajemne powiązania wszystkich rzeczy. Pomimo wielu sposobów interpretowania zasady zachowania energii, szybko stała się ona jednym z najpotężniejszych narzędzi do teoretyzowania na temat świata przyrody w XIX wieku. Thomson i jego przyjaciel Peter Guthrie Tait podjęli się nawet projektu przetłumaczenia praw Newtona na terminy energetyczne. Chcieli, aby wielkie osiągnięcia Newtona były postrzegane jako, po raz kolejny, po prostu kolejny przykład wielkiej zasady unifikującej.

Podczas gdy fizycy powszechnie uznawali zasadę zachowania energii za prawdziwą, dla wielu było jasne, że sama w sobie nie może być kompletną teorią wszechświata. Każdy, kto pocił się przy pracującym silniku parowym, wiedział, że podczas gdy ciepło zamieniało się w ruch, część tego ciepła była tracona do otoczenia. Oznacza to, że proces ten nie był idealnie wydajny. Część ciepła zawsze była marnowana podczas procesu konwersji. Ponadto proces ten nie zawsze mógł być odwrócony z idealną równowagą. Gdyby zamienić ruch wyjściowy silnika parowego na ciepło, końcowym rezultatem byłoby mniej ciepła, niż zostało pierwotnie wprowadzone do silnika. Może się to wydawać prostym problemem wydajności inżynierskiej. Jednak Thomson uogólnił to do uniwersalnego prawa: każdy proces konwersji energii marnuje część energii. Energia nie była tracona — naruszałoby to zasadę zachowania energii. Zamiast tego rozpraszała się w mniej użytecznej formie (takiej jak ciepło odpadowe). Jeśli rzeczywiście była to uniwersalna zasada, oznaczała ona stałe wyczerpywanie się użytecznej energii we wszechświecie. Co więcej, sugerowało to zarówno koniec świata, jaki znamy (kiedy cała użyteczna energia została rozproszona), jak i początek (punkt w przeszłości, w którym żadna energia nie została jeszcze rozproszona). Był to zupełnie nieoczekiwany wynik dla głęboko religijnych

postaci, takich jak Maxwell i Thomson, ponieważ wydawał się on harmonizować z biblijną narracją od Księgi Rodzaju do Objawienia, którą już uznawali za prawdziwą. Thomson ujął te spostrzeżenia jako prawa termodynamiki: pierwsze prawo postulowało zachowanie energii; drugie prawo, ciągłą dyssypację użytecznej energii. Drugie prawo wywołało kilka interesujących pytań dla dynamicznej teorii ciepła. Jaki był mikroskopowy korelat tej dyssypacji? Clausius zaproponował koncepcję entropii. Była to miara nieuporządkowania ruchów atomów, które obserwowano jako ciepło. Drugie prawo można by następnie sformułować jako przewidujące stały wzrost entropii (lub nieuporządkowania) układu w czasie. Jednakże Maxwell i Ludwig Boltzmann przypominali swoim współczesnym, że ich teoretyczna wiedza o ruchach atomów była jedynie statystyczna. W każdej teorii statystycznej zawsze będą występować losowe fluktuacje i nieodłączne niepewności. Dlatego też, jeśli drugie prawo byłoby rozumiane w kategoriach ruchów atomów, to również byłoby ono prawdziwe tylko statystycznie. Było to głębokie odejście od wcześniejszego rozumienia praw natury, które były rozumiane jako zawsze prawdziwe. Fizycy musieli teraz zmierzyć się z ideą prawa, które było prawdziwe tylko ogólnie. Było ono z pewnością wystarczająco dokładne do ogólnego użytku, ale podnosiło głęboko niepokojące kwestie tego, co oznacza stwierdzenie, że teoria jest w ogóle prawdziwa. Maxwell wymyślił nawet eksperyment myślowy mikroskopijnego „demon”, który mógłby obejść drugie prawo bez użycia energii. Demon Maxwella stał się od tego czasu stałym celem dla teoretyków, którzy chcieli uniknąć niepokojących implikacji naturalnego świata, który opiera się na statystyce. Nie wszystkie teorie w tamtym czasie były tak niepokojące. Fizycy mogliby szukać schronienia w teorii opartej na bardziej znanych zasadach: eteru. Była to proponowana ciągła, wszechobecna substancja, która zapewniała medium, przez które przemieszczało się światło. Teoria, że światło jest falą, była dobrze poparta dowodami eksperymentalnymi, ale wydawała się wymagać podłoża, przez które fala mogłaby być przewożona. Tak więc musiał istnieć jakiś rodzaj eteru. Musiał mieć niezwykle właściwości. Musiał być niezwykle sztywny ze względu na niesamowitą prędkość światła, musiał być wystarczająco subtelny, aby bez problemu przechodzić przez przezroczystą materię, a także wypełniać przestrzenie między gwiazdami bez opóźniania planet. Faraday na przykład był sceptyczny, czy ludzie mogliby dokładnie pojąć tak dziwny byt. Większość fizyków w XIX wieku akceptowała jednak, że coś takiego jak eter musi istnieć, nawet jeśli nie było dobrze rozumiane. Thomson przekonał się, że musi istnieć również eter elektryczny. Maxwell rozwinął tę ideę i był w stanie opracować formułę matematyczną, która obejmowała linie sił Faradaya w hipotezie rzeczywistej substancji, która rozprzestrzeniała efekty elektryczne. Nowe narzędzia matematyczne Maxwella pozwoliły mu wyrazić wiele właściwości tego eteru. Zaproponował nawet model mechaniczny, w którym efekty elektryczne zostały wyjaśnione jako odkształcenia, naprężenia i obroty mikroskopijnych kół i sprężystych kul. Nie jest jasne, czy Maxwell uważał ten model za fizycznie rzeczywisty. Inną możliwością było to, że był on jedynie heurystyczny: teoria była być może tylko sposobem na konceptualizację zjawisk i kierowanie nowymi badaniami, bez proponowania jakichkolwiek rzeczywistych nowych bytów lub struktur. Teorię można często odczytywać na wiele sposobów, od całkowicie realistycznego do całkowicie wymyślanego.

W miarę jak Maxwell rozwijał swój model, coraz bardziej odrzucał jego „fizyczne” elementy. Zamiast tego polegał niemal całkowicie na matematycznych związkach sugerowanych przez jego oryginalny model i ograniczonych przez fizykę energii. Doszedł do wniosku, że rzeczywiste wewnętrzne działanie eteru jest niedostępne dla fizyki. Jego teoria mogła zajmować się jedynie systematycznymi związkami między obserwowalnymi zjawiskami. Zaproponował metaforę, aby wyjaśnić sytuację. Wyobraź sobie, powiedział, dzwonnika, który ciągnie za liny, aby wykonać swoje zadania. Nawet jeśli zabroniono mu wspinać się na dzwonnice i zobaczyć, jak liny łączą się z dzwonami i ze sobą, nadal mógł, dzięki pilnym studiom, dostrzec wzorce ruchów lin i dźwięków dzwonów. Taki był, powiedział, stan naszej wiedzy o niewidzialnym świecie eteru. Z pewnością istniał, chociaż być może nigdy go w pełni nie zrozumiemy. Thomson całkowicie odrzucił tę strategię, nazywając ją nihilistyczną. Twierdził, że teorie muszą

pozostawać blisko wyraźnie wizualizowalnych procesów mechanicznych. To, jak powiedział, był jedyny sposób, aby zapobiec niepewnym spekulacjom. Gotowość Maxwella do zaufania matematyce i coraz bardziej abstrakcyjnym zasadom wydawała się niebezpieczną drogą. Jednak teoria Maxwella szybko odniosła przekonujące zwycięstwa. Nie tylko precyzyjnie sformułowała dobrze znane relacje między elektrycznością a magnetyzmem, ale także przewidziała zupełnie nowe zjawisko: falę elektromagnetyczną. Maxwell odkrył, że ta hipotetyczna fala będzie się poruszać dokładnie z prędkością światła i od razu doszedł do dramatycznego wniosku, że światło jest falą elektromagnetyczną. Jego teoria elektromagnetyczna była niezwykle trudna do zrozumienia i wykorzystania, ale jej sukces w ujednoczeniu tak wielu różnych zjawisk był niezwykle atrakcyjny. Niestety, jego przedwczesna śmierć sprawiła, że nigdy nie zobaczył przewidywanej przez siebie fali elektromagnetycznej stworzonej i zmierzonej przez Heinricha Hertza w 1888 roku. Jego idee były również szeroko wykorzystywane przez takie postaci jak Oliver Heaviside w szybkim rozwoju technologii telegraficznej w ostatnich dekadach stulecia. Ich użyteczność w celach praktycznych sprawiła, że eter wydawał się coraz bardziej realny: czyż zwycięstwa teorii nie wskazywały na prawdziwość jej podstawowej hipotezy? Brytyjska ostrożność wobec przekroczenia granic teorii została znacząco złagodzona przez sukcesy hipotezy atomowej, wyrafinowanie fizyki eteru oraz zadziwiający zasięg i prostotę teorii energii. Rygor matematyki i energiczne eksperymentalne kontrole nowych przewidywań dały nową pewność co do niezawodności teorii.

### **Siła myśli**

Nie wszyscy fizycy podzielali sceptycyzm, który ukształtował brytyjskie podejście do teorii w fizyce. Na przykład niemieccy naukowcy mieli inne wyobrażenie o tym, co można poznać wyłącznie za pomocą środków teoretycznych. Ich warunki intelektualne i instytucjonalne sprawiły, że teoria stała się bardziej atrakcyjnym sposobem badania świata przyrody. Teoria zyskała więcej własnego życia. Niemiecki system uniwersytecki był dobrze finansowany i zorganizowany, a w latach 70. XIX wieku podkreślano znaczenie oryginalnych badań. Fizyków mocno zachęcano do tworzenia nowych prac naukowych i publikacji. Przez większą część XIX wieku oznaczało to badania eksperymentalne. Jednak szybko rosnące zapotrzebowanie na instruktorów fizyki szybko przewyższyło podaż aparatury eksperymentalnej. Doprowadziło to do nowatorskiego rozwoju profesur fizyki teoretycznej: profesorowie musieli prowadzić zajęcia i oczekiwano od nich prowadzenia badań, ale nie zapewniono im żadnych zasobów do opracowania laboratorium eksperymentalnego. W ten sposób teoria stała się drogą do rozwoju zawodowego. Początkowo były to stanowiska niższego szczebla, mające na celu zapewnienie ulgi starszym eksperymentatorom, ale sukces tych teoretyków szybko podniósł ich pozycję w życiu intelektualnym. W latach 90. XIX wieku fizycy teoretyczni mogli kierować całymi niemieckimi instytutami naukowymi. To wsparcie instytucjonalne, w połączeniu z dziedzictwem wybitnych teoretyków, takich jak Helmholtz i Carl Friedrich Gauss, oznaczało, że pod koniec stulecia teoria była rozpoznawalną i autonomiczną częścią fizyki. Helmholtz słynnie oświadczył, że chce uzyskać „intelektualne panowanie nad naturą”. Oznaczało to zrozumienie praw natury — teorii. Materialne panowanie nad naturą musiało poczekać na właściwy obraz teoretyczny. Fizyka była nauczana jako nieodłączna część ogólnego niemieckiego ideału edukacyjnego Bildung, podstawowej wiedzy humanistycznej, która miała zapewniać właściwy rozwój intelektu. Oznaczało to, że uczniowie zainteresowani fizyką zapoznawali się zarówno z filozofią, jak i matematyką. Rozważmy na przykład młodego Alberta Einsteina. Kiedy wciąż walczył o karierę w naukach ścisłych, znalazł czas na czytanie Ernsta Macha, Johna Stuarta Milla i Davida Hume'a. W rozwiązywaniu problemów teoretycznych odkrył, że epistemologia jest równie użytecznym narzędziem jak matematyka. To podejście można wyraźnie dostrzec w słynnych pracach Einsteina z 1905 r. na temat teorii względności, fizyki kwantowej i teorii atomu. Napisane, gdy pracował jako urzędnik patentowy w Szwajcarii, pokazują zarówno jego osobliwość, jak i mocne korzenie filozoficzne niemieckiej teorii. Jedną z prac, „O elektrodynamice ciał

w ruchu”, poruszała problem, z którym fizycy zmagali się od jakiegoś czasu. Jakie były dokładne oddziaływania między materią, światłem i eterem w przypadku ciał w ruchu? Większość teoretyków traktowała to jako problem obliczeń i sprytu, polegający na nieznacznej modyfikacji i dopracowaniu istniejących teorii. Jednak Einstein nie rozpoczął swojej pracy od przeglądu odpowiednich eksperymentów ani od nowej techniki analitycznej. Zamiast tego zaproponował prosty eksperyment myślowy. Wyobraź sobie, powiedział, cewkę indukcyjną i magnes poruszające się obok siebie. Jeśli pomyślimy o cewce w stanie spoczynku, a magnesie w ruchu, teoria elektromagnetyczna dostarczy jednego wyjaśnienia dla powstałego prądu. Jeśli zamiast tego pomyślimy o magnesie w stanie spoczynku, dostarczymy innego wyjaśnienia. Wyjaśnienia były różne, nawet gdy zaobserwowane zjawiska były identyczne. Einstein powiedział, że ta „asymetria” wskazuje na głęboki problem ze stanem teorii elektromagnetycznej. Potrzebne są nowe podstawy. Einstein zaproponował dwa podstawowe postulaty jako podstawę tego, co miało stać się jego teorią względności. Po pierwsze: prawa fizyki były takie same we wszystkich inercjalnych układach odniesienia (tj. dla obserwatorów, którzy nie przyspieszają). Po drugie: prędkość światła była taka sama we wszystkich inercjalnych układach odniesienia. Pierwszy postulat wydawał się nieproblematyczny: był formalnym stwierdzeniem symetrii, której brakowało mu w jego początkowym eksperymencie myślowym. Einstein po prostu nalegał, że wszyscy obserwatorzy, bez względu na to, gdzie się znajdowali i jak się poruszali, musieli zgodzić się co do praw fizyki. Nie było uprzywilejowanych obserwatorów. Samo w sobie nie powodowało to żadnych problemów. Ale potem Einstein zadał konkretne pytania epistemologiczne. Biorąc wskazówkę z rygorystycznego pozytywizmu Macha, twierdził, że nasze podstawowe filozoficzne kategorie przestrzeni i czasu nie mają znaczenia poza sposobem, w jaki mierzymy te kategorie. Einstein przeprowadził dalsze eksperymenty myślowe z ruchomymi zegarami, uderzeniami piorunów i pociągami poruszającymi się z prędkością bliską prędkości światła, które dały dość zaskakujące rezultaty. Aby wszyscy obserwatorzy mogli się zgodzić co do praw fizyki, czasami nie zgadzali się co do swoich pomiarów. Długość prętów pomiarowych i czas upływający między dwoma zdarzeniami można było ustalić tylko w kategoriach względnych. Uniwersalność praw wydawała się wymagać plastyczności pomiarów. Pomysły Einsteina były trudne do przetestowania w tamtym czasie. Pomogły one rozwiązać niektóre tajemnicze wyniki eksperymentów, takie jak niepowodzenie interferometru Michelsona-Morleya w wykryciu ruchu Ziemi przez eter. Jednak relatywność wyłoniła się z rygorystycznego epistemologicznego podejścia Einsteina do podstaw fizyki, a nie z chęci rozwiązania drobnych rozbieżności eksperymentalnych. Polegał w dużej mierze na eksperymentach myślowych, a nie na pracy laboratoryjnej. Takie podejście miało sens tylko dla kogoś, kto miał duże zaufanie do zdolności ludzkiego umysłu do rygorystycznego i prawidłowego samodzielnego kwestionowania natury. Eksperyment myślowy zakłada, że teoretyk ma niezawodny dostęp do zasad, na których opiera się świat. Podobnie, atrakcyjność teorii względności tkwiła w prostocie i elegancji jej założeń, a nie w jej przywiązaniu do eksperymentu. Jej obietnica tkwiła w jej potencjale do przeformułowania samej natury fizyki. Einstein odrzucił eter, centralną konstrukcję teoretyczną poprzednich dekad, jako „zbędną”. W relatywistycznym świecie absolutny układ odniesienia, taki jak eter, nie był już potrzebny.

Szczególna teoria względności pokazała, że Einstein nalegał, aby teorie opierały się na szerokich, uniwersalnych zasadach (podobnie jak prawa termodynamiki). Kiedy próbował rozszerzyć swoją teorię o grawitację, opracował dwie nowe zasady: że prawa fizyki muszą być takie same dla wszystkich obserwatorów (rozszerzona wersja jego poprzedniego postulatu) oraz zasadę równoważności (że obserwatorzy nie są w stanie odróżnić lokalnych efektów przyspieszenia od grawitacji). Kiedy w końcu udało mu się zdobyć stabilną pracę na uniwersytecie, Einstein próbował kontynuować podejście Macha, które sprawdziło się w szczególnej teorii względności. Oznaczało to patrzenie tylko na obserwowalne wielkości i odmowę mówienia o tym, jaka „przestrzeń” i „czas” wykraczają poza ich

pomiar. Jednak w tym samym czasie niemiecki matematyk Hermann Minkowski zaproponował alternatywny sposób myślenia o ideach Einsteina. Minkowski odrzucił ograniczenia Macha i powiedział, że w rzeczywistości teoria względności uczy nas wiele o prawdziwej naturze rzeczywistości. Twierdził, że Einstein ujawnił, że przestrzeń i czas są jedynie „cieniami” głębszego czterowymiarowego świata „czasoprzestrzeni”. Einstein początkowo opierał się zaakceptowaniu tak radykalnego pomysłu. Jednak wkrótce musiał przyznać, że przeróbki równań Minkowskiego były niezwykle pomocne w rozwiązywaniu coraz bardziej skomplikowanych zagadek, z którymi się spotykał. W miarę jak używał koncepcji czasoprzestrzeni, coraz bardziej przyzwyczajał się do myślenia o niej jako o czymś rzeczywistym. Uzbrojony w ideę kontinuum czasoprzestrzeni, Einstein odkrył, że może rozwiązać wiele problemów swojej nowej „ogólnej teorii względności”, myśląc o tym kontinuum wyginanym i deformowanym przez masywne ciała. Matematyka tego okazała się niezwykle skomplikowana i wkrótce pożałował, że jako student opuścił tak wiele zajęć. Z pomocą przyjaciół ostatecznie opanował nieeuklidesową geometrię, która opisywała jego nowy czterowymiarowy świat. W 1915 roku w końcu przedstawił pełne równania pola ogólnej teorii względności. Cel Einsteina, jakim była całkowicie jednolita fizyka, doprowadził nas do wszechświata, w którym trójkąty mogły mieć 270 stopni, zegary chodziły wolno w pobliżu planet, a bliźnięta szybko się od siebie oddalały. Matematyczna i konceptualna dziwność teorii była poważną przeszkodą w jej akceptacji. Na szczęście Einstein znalazł kilka wyraźnie sprawdzalnych obserwowalnych konsekwencji, które mogłyby poprzeć jego dziwaczne twierdzenia. Jedno z nich wykazało, że długotrwała anomalia na orbicie Merkurego była w rzeczywistości wynikiem efektów relatywistycznych. Inne, przesunięcie ku czerwieni grawitacyjne, było zbyt trudne dla ówczesnej technologii. Trzecie, odchylenie światła gwiazd podczas przechodzenia przez Słońce, stało się jedyną realną okazją do decydującego potwierdzenia. Niestety, można je było zobaczyć tylko podczas całkowitego zaćmienia Słońca. Einstein przedstawił swoje równania w szczytowym momencie I wojny światowej, kiedy ekspedycje naukowe obejmujące cały glob były dość trudne. Przewidywanie zostało ostatecznie potwierdzone w 1919 roku, wkrótce po zawieszeniu broni przez brytyjskiego astrofizyka A. S. Eddingtona. Eddington, kwakier sprzeciwiający się wojnie, dostrzegł bratnią duszę w pacyfście Einsteinie. Wykorzystał dramatyczny moment zakończenia wojny i międzynarodowy charakter wyprawy, aby użyć teorii względności jako narzędzia do przywrócenia naukowego internacjonalizmu zerwanego przez wojnę. Uniwersalna fizyka Einsteina stała się pomostem do globalnej nauki.

### **Rewolucyjna teoria**

Pochodzenie względności w świecie ogarniętym wojną wpisuje się w nasze ogólne poczucie jej jako teorii, która przyniosła wielką przemoc elementarnym kategoriom naszego doświadczenia. Relatywność jest prawie zawsze opisywana jako teoria rewolucyjna — taka, która wyrzuciła wszystko, co było wcześniej, i zmieniła wszystko, co będzie dalej. Ale Einstein nie miał zamiaru zerwać z tradycjami fizyki. Uważał, że nacisk teorii na uniwersalne, obiektywne prawa zachowuje to, co najlepsze w nauce. Relatywność, pomimo swojej dziwności, zachowała świat jednolitych, ciągłych zjawisk, które podlegały jasnym prawom przyczynowości. Nie wszystkie teoretyczne innowacje tamtych czasów były tak łaskawe dla podstawowych założeń fizyki. Teoria kwantowa miała zakwestionować niemal wszystko, co fizycy uważali, że rozumieją w naturze. Ten podział został ostatecznie wyartykułowany jako fizyka klasyczna (mechanika Newtona, elektromagnetyzm Maxwella) kontra fizyka współczesna (relatywność i mechanika kwantowa). W przeciwieństwie do genezy teorii względności w głębokich zasadach, fizyka kwantowa wyłoniła się z serii chaotycznych, praktycznych prób dopasowania równań do obserwacji empirycznych. Jednym z wielkich odkryć eksperymentalnych XIX wieku było odkrycie, że gazy emitują i pochłaniają światło o zadziwiająco precyzyjnych długościach fal (tj. określonych kolorach) zwanych liniami widmowymi. Szybko wykorzystano to do rozróżnienia składu chemicznego zarówno materiałów w laboratorium, jak i ciał niebieskich, takich jak Słońce.



Jednak pomimo ciągłych wysiłków nikt nie był w stanie opracować zadowalającej teorii, w jaki sposób powstały te linie widmowe. Na przełomie XX wieku fizycy powszechnie zakładali, że odpowiedź leży w strukturze samego atomu. Nowe zjawiska radioaktywności i promieni katodowych sugerowały skomplikowaną budowę atomu i dawały narzędzia do badania tego układu. Początkowe modele mieszały ze sobą elektrony i protony (tzw. atom „puddingu śliwkowego”). Eksperymenty Ernesta Rutherforda jasno pokazały, że protony były skupione w centrum, a elektrony w jakiś sposób rozproszone po obwodzie. Było to bardzo frustrujące dla teoretyków. Teoria elektromagnetyczna przewidywała, że elektrony w takim układzie powinny szybko wypromieniować swoją energię i zderzyć się z jądrem. Ich zrozumienie atomu nie pozwalało nawet na stabilność, a tym bardziej na wyjaśnienie linii widmowych. Zator został przełamany przez ikonoklastycznego młodego Duńczyka pracującego w Anglii, Nielsa Bohra. Począwszy od 1911 roku przyjął radykalnie nowe podejście do struktury atomu. Zignorował teoretyczne problemy i zaproponował nowe, pozornie arbitralne reguły dla modeli atomowych. Elektrony krążyły wokół jądra w ustalonych odległościach znanych jako „stany stacjonarne”. Ponadto elektrony przemieszczały się tylko między tymi stanami. Kiedy się przesunęły, promieniowanie było pochłaniane lub emitowane w dyskretnych ilościach („kwantach”) równych różnicy energii między stanami. Model Bohra opierał się na wcześniejszych pracach Maxa Plancka i Einsteina, które sugerowały, że światło można postrzegać jako istniejące w cząsteczkowych bryłach energii (choć początkowo żaden z nich nie uważał tego pomysłu za fizycznie realny). Model wydawał się absurdalny, z wyjątkiem jednej ogromnej korzyści. Przejścia między tymi hipotetycznymi stanami stacjonarnymi były dokładnie równe liniom widmowym emitowanym przez wodór. Było to uderzające osiągnięcie. Dopasowanie modelu Bohra do obserwacji było niezwykle. Nikt inny nie zbliżył się do wyjaśnienia, dlaczego widma wyglądały tak, jak wyglądały. Stało się to kosztem powstania wielu nowych pytań: dlaczego stany stacjonarne były tam, gdzie były? Co powodowało, że elektron przeskakiwał z jednego do drugiego? Czy światło nie było falą, a nie cząstką? Niemniej jednak ta ewidentnie niekompletna teoria była nowym, ważnym krokiem w atomie. Dlatego warto było ją kontynuować. Bohr był w stanie całkiem dobrze modelować atom wodoru, ale hel okazał się nierozwiązywalny. Pracując nad dalszym rozwojem swojego modelu, zaproponował to, co nazwano zasadą korespondencji. Był to sposób pogodzenia dziwnego zachowania atomów i elektronów ze zwykłym doświadczeniem. Zasada głosiła, że każde równanie stosowane w skalach atomowych powinno zbliżać się do bardziej znanych praw fizycznych, gdy jest ekstrapolowane na dużą liczbę cząstek.

Dało to pewne wskazówki. Więcej postępów osiągnięto, rozwijając czysto matematyczne, zorientowane na problemy modyfikacje teorii. Einstein i Arnold Sommerfeld w Monachium wnieśli poważny wkład tego rodzaju, dostarczając metody obliczeń bez żadnego zrozumienia procesów fizycznych. Na początku lat dwudziestych stało się możliwe modelowanie struktury i widm całkiem dużych atomów. Teoria działała, ale była daleka od zadowalającej. Bohr był niezwykle chętny do zmagania się z dziwnymi zagadnieniami filozoficznymi podniesionymi przez tę pracę. Jego instytut w Kopenhadze stał się miejscem ożywionej, nieograniczonej dyskusji na temat podstawowych zasad rządzących światem mikroskopowym. Przez instytut przewinęła się duża liczba młodych, utalentowanych fizyków teoretycznych, aby szkolić się w teorii kwantowej. Tam dyskutowali z Bohrem i ze sobą nawzajem, rozwijając nowe techniki i często odrzucając dobrze ugruntowane ideały. Max Born zasugerował, że problemy świata kwantowego oznaczają, że wszystkie koncepcje fizyki mogą wymagać rekonstrukcji od podstaw. Werner Heisenberg, młody student Bohra, bezczelnie odrzucił wszelkie próby zrozumienia tego, co fizycznie dzieje się w atomach. Chciał opracować teorię kwantową, która używałaby wyłącznie obserwowalnych wielkości — to znaczy rzeczy, które można bezpośrednio zmierzyć w laboratorium (przynajmniej w teorii). Częstotliwość światła emitowanego przez atom była akceptowalna; orbitalna ścieżka elektronu nie. Teoria porzuciła wizualizację,

przyczynowość lub jakąkolwiek możliwość opisanego tego, co „naprawdę się dzieje”. Jego techniki matematyczne były wysoce skuteczne, ale jego upór w całkowitym porzuceniu intuicji fizycznej był niepokojący dla wielu. Hiperpozytywistyczna teoria Heisenberga osiągnęła punkt kulminacyjny w zasadzie nieoznaczoności w 1927 roku. Pierwotnie sformułował tę zasadę operacyjnie: ze względu na sposób, w jaki każdy pomiar zmieniał mierzony układ, niemożliwe byłoby kiedykolwiek poznanie pewnych wielkości dokładnie w tym samym czasie (np. położenie i prędkość elektronu). Bohr był niezadowolony z tej prezentacji i zasugerował, że zasada nieoznaczoności w rzeczywistości ujawnia o wiele bardziej fundamentalną zasadę dotyczącą rzeczywistości. Niepewność pomiaru nie była wynikiem ludzkiego błędu lub ograniczenia, była rzeczywistą fizyczną granicą tego, co można było poznać. Istota zjawisk miała być na zawsze niedostępna dla nauki. Jeden z kolegów Bohra, Erwin Schrödinger, odmówił zaakceptowania wysoce abstrakcyjnego podejścia Heisenberga. Zamiast tego próbował opracować mechanikę kwantową, która zachowywałaby pewien poziom fizycznego znaczenia. Szczególnie interesowało go odzyskanie wizualizowalności, narzędzia, które uważał za niezbędne dla każdej teorii. Pod koniec 1925 roku przyjął pomysł zaproponowany wcześniej przez francuskiego arystokratę Louisa de Broglie. Odwracając analogię, że światło zachowuje się jak cząstka, de Broglie zasugerował, że materia może zachowywać się jak fala. Wyjaśniało to, dlaczego stany stacjonarne istniały w określonych miejscach — były po prostu tam, gdzie fala elektronu „owinęła się” równomiernie wokół atomu. Schrödinger był w stanie wykorzystać tę falową ideę do wykonania tych samych obliczeń, co Heisenberg (pokazał, że ich dwa systemy były równoważne obliczeniowo). Miało ono wielką zaletę w postaci używania równań falowych, które były już znane pokoleniom fizyków, w przeciwieństwie do dziwnej matematyki macierzowej Heisenberga. Niepokojące, natychmiastowe skoki z orbity na orbitę zostały teraz zastąpione łagodnym zanikaniem lub pojawianiem się fali. Fale były łatwe do wizualizacji i manipulowania nimi w celu rozwiązywania problemów. Wydawało się, że być może można wprowadzić pewien poziom sensu do świata kwantowego. Niestety równanie falowe wprowadziło nowe tajemnice. Co dokładnie przedstawiała fala? Pierwotny sens „rozmazonego” elektronu wkrótce okazał się niezadowolający. Born zasugerował, że fale były reprezentacją prawdopodobieństwa znalezienia elektronu w danej pozycji lub stanie. Chociaż ta interpretacja działała bardzo dobrze w obliczeniach, nie wszyscy byli zadowoleni z teorii opartej całkowicie na rozumowaniu probabilistycznym (jak wkrótce zobaczymy).

Teoretycy kwantowi znaleźli się w dziwnej sytuacji. Mieli teraz dwie konceptualnie niekompatybilne teorie — Heisenberga i Schrödingera — z których każda była równie skuteczna. W tamtym czasie często pojawiały się wariacje na temat tego dualistycznego tematu. Na przykład światło czasami zachowywało się jak cząstka, a czasami jak fala. Elektrony robiły to samo. Opcje wydawały się nie do pogodzenia. Heisenberg i Schrödinger zbudowali swoje teorie na zupełnie różnych wizjach tego, co teoria może wyjaśnić i co ludzie mogą wiedzieć. Bohr próbował rozwiązać te napięcia za pomocą swojej zasady komplementarności. Ta zasada, którą Bohr starał się jasno sformułować, sugerowała, że nie ma logicznej niespójności w stosowaniu niekompatybilnych modeli, o ile odnoszą się one tylko do różnych sytuacji. Ponieważ światło wykazywało zachowanie falowe i cząsteczkowe tylko w zupełnie różnych konfiguracjach eksperymentalnych, modele były komplementarne, a nie sprzeczne. Głęboko dysonansowe teorie można było przyjąć, a nie pogodzić. Komplementarność wyrosła z prac Bohra w fizyce, ale szybko stała się ogólną zasadą filozoficzną, którą zastosował w psychologii i kulturze. Kiedy w 1947 roku został pasowany na rycerza, umieścił tę zasadę na swoim herbie, reprezentowaną przez chińską zasadę dynamicznych przeciwieństw (yin i yang). Mocną konsekwencją tych idei było założenie, że akt pomiaru może wpłynąć na sam świat fizyczny. Ustawianie określonych układów detektorów faktycznie zmieniało stan mierzonego obiektu. Jeśli Bohr miał rację, elektron nie miał dokładnej lokalizacji, dopóki ktoś go nie zmierzył. Ta pozorna „zależność pomiaru” mikroskopijnego świata podważała podstawowe założenia dotyczące obiektywności i stabilności świata fizycznego. A wyniki

wszelkich takich pomiarów były z natury probabilistyczne. Można je było przewidzieć bardzo precyzyjnie en masse, ale każde pojedyncze zdarzenie było nieprzewidywalne nawet w zasadzie. Nie mogło być ścisłej przyczynowości w procesach subatomowych. Podstawowe zdarzenia, z których składał się nasz świat, były zupełnie inne niż nasze zwykłe doświadczenie. Te ogólne ramy stały się znane jako interpretacja kopenhaska, od miejsca instytutu Bohra, w którym wypracowano tak wiele z tych idei. Einstein odmówił zaakceptowania tej wizji rzeczywistości. Był głęboko oddany ideałowi obiektywnego świata fizycznego niezależnego od działalności człowieka i przestrzegającego ścisłej przyczynowości. Regularnie konfrontował Bohra i innych zwolenników kopenhaskich z absurdalnymi implikacjami ich idei. Czy Księżyc naprawdę nie było, jeśli nikt na niego nie patrzył? Czy Bóg rzucał kośćmi, projektując wszechświat? Schrödinger zgodził się z Einsteinem, że z teorią kwantową było coś wyraźnie nie tak. Wyobraź sobie, powiedział, zapieczętowane pudełko z kawałkiem uranu, kotem i fiolką z trucizną wyzwalaną promieniowaniem. Radioaktywność była procesem kwantowym, a zatem z natury prawdopodobnym. Tak więc uwolnienie trucizny i życie lub śmierć kota były reprezentowane przez kwantową funkcję falową. Równania mechaniki kwantowej sugerowały, że dopóki pudełko nie zostanie otwarte (tj. istnienie kota nie zostanie „zmierzone”), kot jest zarówno żywy, jak i martwy. Schrödinger przedstawił ten eksperyment myślowy jako jasną demonstrację absurdów obecnego stanu teorii kwantowej. Debaty między Einsteinem a Bohrem na temat właściwych podstaw fizyki teoretycznej stały się legendarne. Einstein zaproponował pozornie żelazny eksperyment myślowy, aby obejść lub zaprzeczyć komplementarności lub niepewności; Bohr wrócił następnego dnia z zwycięską odpowiedzią. Einstein nadal nalegał, że pomimo sukcesu mechaniki kwantowej, rzeczywistość fizyczna nie może być z natury probabilistyczna i subiektywna. Twierdził, że te teorie muszą być „niekompletne”. Wezwał fizyków do kontynuowania poszukiwań teorii, które dawałyby deterministyczny, obiektywny świat, istniejący niezależnie od obserwatorów. Artykuł z 1935 roku znany jako „EPR” od inicjałów autorów (Einstein, Podolsky i Rosen) przedstawiał argument, że mechanika kwantowa jest niekompletna. Być może jakaś głębsza struktura lub ukryte zmienne ostatecznie określiły pozorny chaos zjawisk kwantowych. Ironicznie, artykuł ten ostatecznie doprowadził do dalszych teoretycznych zmian (twierdzenie Bella) i pomiaru wskazującego, że nie ma ukrytych zmiennych, które można by znaleźć. Teoria kwantowa, pomimo swojej dziwności, była dokładnym opisem rzeczywistości. Takie zmaganie się z filozoficznymi konsekwencjami teorii fizycznych było typową cechą teorii kwantowej praktykowanej i nauczanej w Europie między wojnami światowymi. Filozofia szła ręką w rękę z kalkulacją. Zrozumienie znaczenia teorii było niezbędne. Pokoleniu, które dorastało w tym czasie, wydawało się, że fizyka rozwijała się dzięki wielkim skokom wglądu i śmiałym nowym teoriom. Problemy miały być rozwiązywane przez całkowicie nowe podejścia, a nie przyrostowe zmiany. Przez pewien czas Bohr uważał, że najlepszym sposobem na zrozumienie tajemniczego zjawiska rozpadu beta było odrzucenie zasady zachowania energii, najbardziej ukochanej z zasad fizycznych. Każdy krok naprzód przynosił nowe kryzysy. Dodanie przez Paula Diraca teorii względności do teorii kwantowej przyniosło zdumiewające przewidywanie antymaterii, ale również wydawało się uniemożliwiać pełną kwantową elektrodynamiczną teorię elektronu. Jego książka kończyła się apelem o kolejną rewolucję w fizyce, aby naprawić rzeczy. Pokolenie Heisenberga było pokoleniem rewolucjonistów. Było to również pokolenie teoretyków. Wielkie dzieło fizyki można było wykonać poprzez gorące rozmowy w domkach narciarskich lub podczas górskich wędrówek. Eksperymenty mogły dostarczyć nowych zagadek do rozwiązania lub ograniczyć spekulacje, ale teoria była czymś, co mogło działać niezależnie. Można to konkretnie zobaczyć w ogromnej współczesnej ekspansji publikacji teoretycznych — odsetek prac z fizyki skupiających się na teorii — podwoił się w latach 20. XX wieku. W przeciwieństwie do ery Maxwella, kariera oparta całkowicie na teorii była teraz możliwa i szanowana. Einstein był mitycznym modelem dla tego, kończąc swoją karierę pracując samotnie w swoim gabinecie w Princeton. Rozmyślał, że latarnik byłby idealnym zajęciem dla fizyka: samotność z własnymi myślami i prawami natury to wszystko, czego potrzeba.

## Teoria idzie na wojnę

Wizja Einsteina jako obojętnego teoretyka, odizolowanego od rozproszeń zwykłego świata, została poważnie zachwiana w połowie XX wieku. Lata poprzedzające II wojnę światową i sama wojna dramatycznie zmieniły naturę fizyki teoretycznej. Metody, cele i geografia teorii uległy zaskakującym zmianom. Niektóre z tych zmian zostały ukształtowane przez politykę. Rozwój faszyzmu wygnał Einsteina i wielu innych fizyków teoretycznych pochodzenia żydowskiego z ich domów. Naziści celowali w szczególności w fizykę teoretyczną, uważając ją za niezgodną z ich teoriami rasowymi. Abstrakcję i spekulację postrzegano jako z natury żydowską, a zatem niearyjską. Exodus europejskich teoretyków rozproszył się po całym świecie, z których wielu wylądowało w Stanach Zjednoczonych. Einstein osiedlił się w Instytucie Studiów Zaawansowanych w Princeton, Hans Bethe w Cornell, Enrico Fermi na Uniwersytecie w Chicago. Musieli dostosować się do zupełnie innej kultury teorii w Ameryce. Amerykańska teoria była pragmatyczna i skupiała się na obliczeniach, które można było sprawdzić eksperymentalnie. Filozoficzne rozważania nad znaczeniem teorii były stanowczo odradzane. Wielu liderów fizyki teoretycznej w kraju kształciło się w Europie, w tym J. Robert Oppenheimer. Znali więc filozoficzne debaty nad fizyką współczesną, ale były one wyraźnie drugorzędne w stosunku do stosowania teorii. Na przykład równania związane z zasadą nieoznaczoności były szeroko stosowane, chociaż bardzo mało wysiłku poświęcono debacie nad ich głębszym znaczeniem. Fizyka teoretyczna była tam silnie ukształtowana przez amerykańską tradycję filozofii pragmatycznej (taką jak prace Percy'ego Bridgmana). Postawy te uległy drastycznemu przyspieszeniu, gdy Stany Zjednoczone przystąpiły do II wojny światowej, a teoretycy zostali zrekrutowani do wysiłku wojennego. Wielu fizyków uchodźców było namiętnie zainteresowanych pokonaniem państw Osi i całym sercem angażowało się w projekty wojskowe. Jeden projekt był szczególnie ściśle związany z teorią: bomba atomowa. Rozszczepienie jądra atomowego zostało odkryte w 1939 r., ale praktyczne wykorzystanie energii jądrowej pozostało spekulatywne. Zmieniło się to, gdy Leo Szilard, teoretyk uchodźców z Węgier, zdał sobie sprawę z możliwości, że reakcja łańcuchowa może uwolnić ogromne ilości energii subatomowej. Takiej reakcji łańcuchowej nigdy nie zaobserwowano — była to czysto teoretyczna reakcja. Niemniej jednak sama możliwość stworzenia bomby przy użyciu tego procesu skłoniła Szilarda, Einsteina i innych do naciskania na rząd Stanów Zjednoczonych, aby opracował ją przed nazistami. Niemcy zachowali wiele talentów w dziedzinie fizyki, w tym Heisenberga, a zagrożenie wydawało się bardzo realne. To był początek Projektu Manhattan. Eugene Wigner argumentował, że w tym momencie bomba atomowa istniała tylko w umysłach naukowców. Dlatego teoria musi przewodzić. Oppenheimer, teoretyk, został postawiony na czele projektu bomby. Los Alamos wypełniło się europejskimi teoretykami, którzy chcieli pokonać swoje poprzednie rządy. Ci uchodźcy musieli szybko nauczyć się amerykańskiego stylu teorii i przyzwycząić się do ścisłej współpracy z eksperymentatorami i inżynierami. Presja wojny nie pozostawiała czasu na filozofowanie. Teoretycy musieli wymyślić, jak zbudować bombę tak szybko, jak to możliwe. Nie martw się, co tak naprawdę przedstawia przekrój jądrowy — po prostu wykonaj obliczenia, aby móc rozpocząć budowę. Bomba oczywiście zadziałała. Nagła kapitulacja Japonii w sierpniu 1945 r. doprowadziła do stworzenia nowej narracji w fizyce: teoria wygrała wojnę. I z pewnością było w tym ziarno prawdy. Grupa teoretyczna Bethego w Los Alamos była kluczowym ośrodkiem, z którym wszyscy inni wchodzili w interakcje. Nie sposób było wyobrazić sobie bomby w stylu implozji bez teorii. Nawet masywne budynki przemysłowe Oak Ridge i Hanford, które faktycznie produkowały materiał rozszczepialny, zostały zbudowane i zorganizowane pod przewodnictwem teoretyków. Podstawowa infrastruktura przemysłowa Projektu Manhattan została w dużej mierze ukryta, a bomba została przedstawiona jako produkt teorii. Oppenheimer stał się modelem tego, co teoretyk może wnieść — wojnę wygrał umysł fizyka. Ta narracja miała nieoczekiwany efekt uboczny w sferze tajemnicy nuklearnej zimnej wojny. Chodziło o pomysł „tajnej

formuły”, krótkiego równania lub diagramu, który po nabazgraniu na kartce papieru umożliwił wrogowi zbudowanie własnej broni atomowej.

Teoretyczne sekrety wydawały się przenośne w sposób, w jaki nie były przenośne sekrety inżynierii. Fizycy teoretyczni stali się zatem zarówno niezbędni, jak i podejrzliwi (w końcu wielu z nich miało obce akcenty). To poczucie, że fizyka wygrała wojnę, zmieniło wszystko w tej dyscyplinie. Nagła wartość fizyki dla bezpieczeństwa narodowego doprowadziła do masowego zwiększenia finansowania ze strony rządu federalnego. Co więcej, fizycy stali się teraz atutem wojskowym. Rząd zainteresował się zatem znacznym zwiększeniem ich liczby. Potrzeba większej liczby oznaczała potrzebę szybszego szkolenia. Fizycy, którzy uczyli się swojej dyscypliny na małych seminariach lub przy piwie w biurze Bohra, musieli teraz prowadzić ogromne klasy wykładowe. Nauczanie teorii coraz bardziej odchodziło od głębokich dyskusji lub filozoficznych dociekań nad naturą pomiaru. Takie rzeczy były niemożliwe przy nowym napływie studentów. Zamiast tego, proste obliczenia i zestawy problemów stały się porządkiem dnia. Była to wyraźnie amerykańska zmiana w nauczaniu teorii. W Niemczech Zachodnich i Francji teoria kwantowa była nadal nauczana w ramach pytań filozoficznych. Ale w świecie powojennym środek ciężkości fizyki teoretycznej przesunął się do Stanów Zjednoczonych. Europejscy fizycy, którzy tam uciekli, postanowili zostać. Co więcej, ogromny wzrost finansowania i personelu w Ameryce dał fizykom tam ogromną przewagę nad ich rodakami za granicą. Amerykańska teoria coraz częściej była postrzegana jako norma. Zmiana w praktyce teorii powojennej jest wyraźnie widoczna w historii elektrodynamiki kwantowej (QED). QED miała na celu pełne teoretyczne zrozumienie oddziaływań kwantowych między światłem a elektronami. Próby tego były podejmowane od lat 30. XX wieku, ale zawsze były przerywane przez pewne terminy matematyczne zmierzające do nieskończoności i niszczące teorię. Dalsze wysiłki miały na celu ponowne wynalezienie teorii od podstaw, mając nadzieję na nową rewolucję kwantową. Zmieniło się to, gdy nowe pokolenie fizyków podjęło się tego problemu. Ta młoda grupa dorastała w czasie wojny, a ich podejście do teorii było takie samo jak w przypadku Projektu Manhattan i równie ogromnego projektu radarowego: nie martw się o zupełnie nową teorię, po prostu rozwiąż problem i zacznij liczyć. Richard Feynman i Julian Schwinger byli przykładami tych nowych technik. Do 1948 roku obaj (wraz z Sin-Itiro Tomonagą w Japonii) byli w stanie „zrenormalizować” elektrodynamikę kwantową i umożliwić skończone obliczenia. Freeman Dyson połączył te różne wersje. Ta zrenormalizowana elektrodynamika kwantowa była bardzo konserwatywna. Nie była to nowa teoria sama w sobie — nie miała nowych zasad ani wielkich wizji — była po prostu starą teorią w ulepszonej formie. Pokolenie wojenne było zainteresowane jedynie dostosowaniem teorii do punktu użyteczności. Filozoficzne rekonceptualizacje były niepotrzebne. Nowe motto: „zamknij się i licz”. Ten nacisk na szybkość i wydajność obliczeń był związany z rozwojem nowych technik teoretycznych. Rozważ wszechobecne teraz diagramy Feynmana. Te proste rysunki liniowe były pierwotnie prezentowane jako pomoce mnemotechniczne, które miały pomóc w coraz bardziej skomplikowanych obliczeniach teorii pola kwantowego. Pomogły usprawnić fantastycznie trudną matematykę. Jednak toczyła się debata na temat tego, czym one dokładnie były. Czy były to faktycznie obrazy procesów fizycznych? Czy miały znaczenie same w sobie, czy też były jedynie formalizmami? Czy były po prostu wygodne, bez żadnej prawdy za nimi stojącej? Te problemy nie były unikalne dla diagramów Feynmana. Powojenne poszukiwania bardziej wydajnych obliczeń zaowocowały innymi technikami wizualnymi, takimi jak diagramy Penrose'a w ogólnej teorii względności. Komputery elektroniczne również stały się znacznie bardziej powszechne. Często zachęcało to teoretyków do dostosowywania swoich badań do rozwiązań numerycznych, a nie analitycznych. To znaczy rozwiązań konkretnych problemów, a nie ogólnych praw. Niektórzy teoretycy zastanawiali się, czy te wyniki mogą zapewnić wgląd lub zrozumienie w sposób, w jaki robiły to teorie klasyczne. Czy też tak bardzo skupili się na rozwiązywaniu problemów, że utracili znaczenie? Symulacja komputerowa jeszcze bardziej pogłębiła te problemy. Czy wzorce widoczne w symulacji były

rzeczywiście prawami natury? A może teoria ograniczyła się tylko do organizowania wyników numerycznych lub sugerowania kolejnej rundy prób eksperymentalnych? Wymagania powojennej „Wielkiej Nauki” wzmocniły ten rodzaj teorii. W gigantycznych laboratoriach fizyki cząstek teoretycy byli niezbędni. Żadnego zderzacza cząstek nie można było zbudować bez teoretycznego przewodnictwa. Ale jednocześnie teoretycy musieli ściśle współpracować z eksperymentatorami i inżynierami. Techniki i organizacje, które tak dobrze działały podczas II wojny światowej, zostały zachowane do zimnej wojny. Teoria była tylko jedną wyspecjalizowaną częścią niezwykle skomplikowanych fabryk fizycznych, takich jak CERN. Specjalizacja oznaczała, że coraz rzadziej zdarzało się, aby pojedynczy fizyk mógł być ekspertem zarówno w teorii, jak i w eksperymencie. Umiejętności Fermiego w obu dziedzinach stały się materiałem legendarnej przeszłości. Jednocześnie specjalizacja oznaczała, że teoria miała coraz mniej własnego życia. Splątane powiązania z eksperymentem utrudniały teoretykom rozważanie implikacji filozoficznych na ich własnych warunkach. Model Einsteina samotnego teoretyka siedzącego przy biurku i rozważającego prawdy wszechświata wydawał się coraz mniej dostępny.

### **Zunifikowana teoria**

Wielka nauka wzmocniła pragmatyczne, instytucjonalne podejście do teorii, ale pomogła również pobudzić odrodzenie jednego z wielkich klasycznych celów teorii: unifikacji. Wielu teoretyków w pierwszej połowie XX wieku uważało, że podążają śladami Maxwella w unifikacji praw fizyki. Zunifikowanie elektromagnetyzmu i grawitacji było wielkim celem. Problem polegał na tym, że pierwsza była rządzona przez mechanikę kwantową, druga przez ogólną teorię względności: dwie głęboko niekompatybilne teorie o zupełnie innych podstawach i formalizmach. Einstein, Eddington i Schrödinger poświęcili ostatnie lata swojego życia temu projektowi. Ten cel został odrzucony wraz z ogólnym upadkiem fizyki zorientowanej filozoficznie. Unifikacja została ponownie ustanowiona jako ważny cel pod koniec XX wieku. Osiągnięcia w kierunku unifikacji wzmocniły jej rolę jako podstawowej koncepcji fizyki i pomogły ponownie ustanowić niezależność teorii. Impuls do unifikacji pojawił się w nowych, finansowanych przez rząd laboratoriach fizyki cząstek w latach 50. Akceleratory zaczęły tam produkować coraz dziwniejsze cząstki subatomowe. To „zoo cząstek” było chaotyczne i mylące dla teoretyków. Instynkt teoretyków polegał na próbie uporządkowania chaosu poprzez klasyfikację — czy istniały rodziny lub inne naturalne grupy cząstek? I czy istniał jakiś sposób, aby porozmawiać o tym, dlaczego cząstki miały takie właściwości, jakie miały? W 1961 roku Murray Gell-Mann z Caltech i Yuval Ne’eman z Izraela zaproponowali system symetrii, aby narzucić porządek w zoo. Cząstki były grupowane według właściwości w określone zbiory. Zbiory te miały różne możliwe symetrie, które były używane do ich identyfikacji (Gell-Mann nazwał swoją symetrię SU(3) „Ośmioraką Drogą” na cześć buddyjskiego kodeksu moralnego). Czasami te grupy symetrii miały luki — to znaczy, że żadna cząstka nie zajmowała oczekiwanego miejsca w zbiorze. Jednak tych luk nie postrzegano jako porażek teorii. Raczej postrzegano je jako przewidywania: teoria jako całość była tak skuteczna, że fizycy uważali, że musi być cząstka zajmująca to miejsce. A te cząstki często znajdowano, gdy eksperymentatorzy byli wysyłani, aby je specjalnie sprawdzić (jak np. omega minus hiperon w 1964 r.). SU(3) ewidentnie działał. Głębsze pytanie brzmiało, dlaczego to działało? Czy istniała podstawowa zasada wyjaśniająca tę symetrię? Gell-Mann zinterpretował ten wzór jako wynikający ze złożonej struktury silnie oddziałujących cząstek — to znaczy hadrony (cząstki takie jak protony i neutrony) składały się z mniejszych jednostek. Nazywając te mniejsze cząstki, Gell-Mann celowo unikał czegokolwiek fizycznie opisowego. Nazwał je „kwarkami”, bezsensownym słowem zapożyczonym z Finnegans Wake. George Zweig zasugerował nazwanie ich „asami”. Te wybory miały przypomnieć fizykom, że nikt nie rozumiał natury tych cząstek. Różne „smaki” kwarków wzmocniały tę celową ignorancję: góra, dół i dziwne (później dołączyły góra, dół i urok). Nazwy wybrano tak, aby były fantazyjne, aby zapobiec pokusie stosowania do nich codziennej intuicji fizycznej. Gell-Mann chciał uniknąć wszelkich filozoficznych

dyskusji na temat kwarków. Szczególnie unikał pytania, czy kwarki są rzeczywiste, czy też są jedynie formalizmem. Działy na potrzeby obliczeń, a to było konieczne. To napięcie zostało pogłębione przez niezdolność eksperymentatorów do wykrycia pojedynczych kwarków. Teoretycy ostatecznie zaakceptowali tę dziwną sytuację. Oświadczyli, że niemożliwe jest, aby kwarki istniały poza cząstkami, które tworzą. Czymkolwiek były kwarki, z definicji były teraz nieobserwowalne i niezrozumiałe. Powojenne podejście polegające na unikaniu filozoficznych dyskusji zostało podniesione do rangi zasady fizycznej. Symetria stawała się coraz ważniejsza jako wytyczna dla fizyki teoretycznej. Często interpretowano ją w kategoriach niezmienności. Opisywała ona właściwość fizyczną lub wielkość, która nie zmieniała się w pewnych określonych sytuacjach. Na przykład w teorii względności prawa fizyki były niezmiennie nawet dla obserwatorów w dowolnych stanach ruchu. Był to cel teorii, który sięgał co najmniej zasady zachowania energii (a być może filozofów przedsokratejskich): jakie właściwości wszechświata są stałe? Niektóre niezmienniki zostały zaproponowane, aby pomóc wyjaśnić różne zjawiska kwantowe, w tym ładunki, parzystość i odwrócenie czasu. T. D. Lee i C. N. Yang w 1956 r. zakwestionowali uniwersalną stosowalność tych zjawisk, a ich praca doprowadziła do eksperymentów wykazujących, że parzystość nie była niezmienna w słabych oddziaływaniach jądrowych. Jednak poszukiwania niezmienników trwały nadal. Współcześni teoretycy mają nadzieję, że kombinacja ładunku, parzystości i czasu (CPT) jest niezmienna. Niezmienniki były cenne dla teoretyków, ponieważ zapewniały podstawowe ramy do zrozumienia i uproszczenia w inny sposób skomplikowanych sytuacji. Wielu teoretyków w latach 60. i 70., w tym Sheldon Glashow w Ameryce i Pakistańczyk Abdus Salam, napędzało ważne osiągnięcia oparte na niezmienniczości cechowania. Steven Weinberg dołączył do Salama, pokazując, że rozważania symetrii mogą pozwolić na wyjaśnienie zarówno elektromagnetycznych, jak i słabych sił jądrowych za pomocą jednego zestawu cząstek. Ta „elektro-słaba” teoria zaproponowała istnienie egzotycznych cząstek, które zostały wykryte w CERN i Fermilab w latach 1973–1974. Teoretycy byli podekscytowani tą demonstracją mocy teorii pola kwantowego opartych na symetrii. Przedstawiły one przekonującą nową wizję fundamentalnej jedności wszechświata. Salam i Weinberg wykazali, że przy wysokich energiach dwie pozornie oddzielne siły były w rzeczywistości jedną. Być może zatem przy jeszcze wyższych energiach wszystkie fundamentalne siły (elektromagnetyczne, słabe jądrowe, silne jądrowe i grawitacyjne) mogłyby zostać zunifikowane. Te ramy wyznaczyły plan teoretykom: znalezienie nowych rodzajów symetrii, które połączyłyby wszystkie siły w „wielkiej zunifikowanej teorii” (GUT). Pomogły również wyznaczyć plan dla fizyki eksperymentalnej. Coraz potężniejsze akceleratory byłyby potrzebne do testowania coraz bardziej ezoterycznych przewidywań empirycznych tych wstępnych GUT. Trudności w przeprowadzaniu tych eksperymentów skłoniły niektórych fizyków cząstek (np. Alana Gutha) do kosmologii, gdzie mogli rozważyć ostateczny zderzacz cząstek — Wielki Wybuch. W ten sposób hierarchia ontologiczna fizyki cząstek (wzrastające energie ujawniały głębszą jedność) stała się również hierarchią czasową (bliżej początku wszechświata, być może wszystkie siły były zunifikowane). Próby zrozumienia najmniejszych składników materii zatoczyły pełne koło, aby wyjaśnić wszechświat jako całość. Jedną z gałęzi poszukiwań zunifikowanej teorii zyskała coraz większą niezależność w latach 80. „Teorie strun” próbowały wyprowadzić właściwości wszystkich znanych cząstek z hipotetycznych jednowymiarowych „strun”. Mijamy nadzieję, że różne tryby drgań tych strun wyjaśnią pełne spektrum cząstek elementarnych. Niektóre modele odniosły sukces w tym zakresie — o ile dopuszczono kilka dodatkowych splecionych wymiarów. Jedną z atrakcyjnych cech teorii strun było to, że można ją było rozwijać niemal wyłącznie poprzez rozważania na temat matematycznej elegancji i jasności pojęciowej. Nawiązywało to nie tylko do podejścia Einsteina do fizyki, ale także do jego wizji niezależnego teoretyka. Zdolność teorii strun do podawania matematycznych wyjaśnień tego, co już było znane, była imponująca. Ale zostało to zepsute przez niezdolność tej dziedziny do przewidywania wcześniej nieznanymi zjawisk, które można było przetestować. Zniszczyło to ścisłą współpracę między teorią a eksperymentem, która stała się standardem po wojnie. Zakwestionowało również niektóre głęboko

zakorzenione założenia dotyczące natury fizyki i podniosło możliwość, że teoria strun nie ma związku z rzeczywistością. Sheldon Glashow przemawiał w imieniu wielu krytyków, gdy stwierdził, że teoretycy strun, którzy nigdy nie opuszczają swoich biur, „po prostu nie zajmują się fizyką”. Niemniej jednak, gdy XX wiek dobiegł końca, to teoretycy byli publiczną twarzą fizyki. Stephen Hawking, poruszający się na wózku inwalidzkim ekspert w zakresie ogólnej teorii względności, stał się ponadprzeciętnym przedstawicielem mocy ludzkiego intelektu do zrozumienia wszechświata. Fizyk z Columbia University Brian Greene oczarował publiczność pięknem teorii strun. Michio Kaku powiedział, że celem fizyków powinna być „teoria wszystkiego”, która zmieściłaby się na koszulce. Wielu teoretyków tego pokolenia uważało, że są o włos od całkowitego zrozumienia podstawowych sił wszechświata. Hawking zastanawiał się już w 1980 r.: „Czy koniec fizyki teoretycznej jest widoczny?” Czy może istnieć punkt, w którym nie będzie już nic do zrozumienia? Czy teoretycy mogą sprawić, że staną się przestarzali? Z pewnością nie — nawet gdyby istniała teoria, która w pełni obejmowałaby cztery podstawowe siły, nadal byłoby mnóstwo zagadek w fizyce materii skondensowanej i tuzinie innych poddziedzin. Ale trop końca fizyki jest przekonujący i długotrwały. Feynman ubolewał nad tym. William Thomson ogłosił to w latach 90. XIX wieku. Nawet współcześni Newtonowi wyrażali rozczarowanie, że nie ma już nic do odkrycia. Te stwierdzenia są czasami odczytywane jako aroganckie. Tak naprawdę wyrażają pewność, że nauka jest na dobrej drodze, że obecne tajemnice są rozwiązywalne, a natura jest zrozumiała. Każde pokolenie myśli, że ostatnie elementy układanki są tuż za rogiem.

### **Natura teorii**

Zwolennicy teorii wszystkiego uważają ten cel za klucz do tego, co w ogóle oznacza uprawianie fizyki. Jednak nie wszyscy zgadzają się, że teoria jest zasadniczym rdzeniem fizyki. Kwestia właściwego znaczenia teorii była centralnym pytaniem w sposobie, w jaki filozofowie próbowali opisywać naukę. Logiczni pozytywiści robili, co mogli, aby sformułować podejście wolne od teorii. Uważali, że teoria, jeśli nieunikniona, powinna przynajmniej podążać śladami eksperymentu. Karl Popper założył, że rolą teorii jest dostarczanie twierdzeń, które można przetestować. Według niego teoria nigdy nie mogła zostać udowodniona, a jedynie obalona. Thomas Kuhn argumentował niemal odwrotnie — że teoria tak ograniczała i kształtowała doświadczenie świata przez naukowca, że niemal niemożliwe było jej obalenie. Jego pojęcie paradygmatu sugerowało, że teoria zawsze była pierwsza. Bez niej nie można było uprawiać żadnej nauki. Filozofowie nigdy nie zgodzą się co do prawidłowego stosowania teorii. Widzimy, że historycznie teoria pełniła zadziwiająco wiele ról — naśladowcy, interpretator, przewodnika, aspiracji. Podejrzliwość Bacona co do pająków pozostaje z nami w krytykach teorii strun. Jednak niewielu fizyków dzisiaj zaakceptowałoby podobną krytykę hipotezy atomowej. A co powinniśmy sądzić o eterze? Była to teoria absolutnie niezbędna do rozwoju elektromagnetyzmu, choć teraz całkowicie odrzucona. Prawdopodobnie najważniejsza lekcja jest taka: teorie są narzędziami zaprojektowanymi do rozwiązywania problemów. Nigdy nie istnieją same z siebie. Nie są odkrywane w błysku wglądu. Jak każde narzędzie, są wynikiem trudnych zmagania trwających przez długi czas. Zawsze są niekompletne i ciągle się zmieniają. I są absolutnie niezbędne. Bez nich nigdy nie moglibyśmy wyjść poza nasze własne doświadczenie. Niewidzialne pola elektryczne, subtelne fale kwantowe, a nawet uniwersalne procesy energii byłyby na zawsze zakazane dla tych, którzy odrzucają teorię. Jak ostrzegali Grecy, teoria jest częścią podróży do sfer zarówno przerażających, jak i owocnych, gdzie świat nie jest taki, jaki myśleliśmy.

### **Komunikowanie nauki**

Lew atakuje bawoła. Czerwona krew plami mu pysk; jego potężne pazury rozdierają skórę bawoła. Wygląda to tak, jakby dobór naturalny zadał straszliwy cios kosztem bawoła. Ale przejdź się wokół tej walczącej pary, a zobaczysz dosłownie inną stronę historii, ponieważ ostry róg bawoła przebija również ramię lwa. Każde uderzenie, każdy ruch, wykonany przez króla zwierząt grozi rozdarciem jego własnego



ciała o ten straszny punkt. Może zostać śmiertelnie ugodzony rogiem w każdej chwili. Zwierzęta są w gotowości do najstraszniejszego z dramatów. Ta chwilowa scena została zamrożona w czasie przez ponad sto lat w Powell Cotton Museum, w nadmorskim kurorcie Birchington w East Kent. Wygląda jak eksponat historii naturalnej na wystawie — i oczywiście nią jest — ale co dokładnie przekazuje widzowi? Na najprostszym poziomie pokazuje, jakie zwierzęta mogą walczyć ze sobą w pewnej części Afryki. Może to być rzeczywista rekonstrukcja walki między tymi dwoma konkretnymi bestiami lub reprezentatywny pokaz typowych postaw i technik walki ich gatunku. Na bardziej teoretycznym poziomie wydaje się ilustrować naturę „czerwoną w zębach i pazurach” — „walkę o byt” Darwina. Istnieje jednak jeszcze druga strona historii, dla której musimy się oddalić od gabloty i obejrzeć podarty i wyblakły Iniany garnitur w innej galerii. Lew, o którym mowa, starannie wypchany i osadzony przez taksydermistę z Piccadilly, Rowlanda Warda, prawie zabił Percy'ego Powella Cottona, jego kolekcjonera i założyciela muzeum w 1896 roku. Powell Cotton, emerytowany major armii, pomyślał, że stworzenie zostało zastrzelone i podeszło zbyt blisko — po czym podniosło się do kontrataku. Lew zamachnął się na ramię Powella Cottona — w tym momencie przygotowany lew otrzymuje teraz ranę od bawołu. Garnitur Powella Cottona, z wyraźnie widocznym rozdarciem, jest wystawiony przy wejściu do muzeum. W przyjemnym zwrocie na stary motyw Biblii w kieszeni na piersi, która chroni żołnierza przed strzałem, Powell Cotton został — jak głosi historia — uratowany przez zwinięty egzemplarz Punch, który niósł schowany w kurtce. Ostatnią ciekawostką jest to, że afrykański bawół, *Bos brachyceros cottoni*, jest jednym z wielu gatunków, które otrzymały nazwę Powella Cottona na cześć jego odkrycia przez tego lubiącego naciskać spust przyrodnika. Teraz historia zyskała dodatkowe wymiary, w których możemy czytać bawoła jako samego Powella Cottona. Staje się opowieścią o przygodzie i odwadze; być może także, gdy Punch podejmuje się roli lwa, opowieścią o autoprezentacji Powella Cottona jako niekonwencjonalnego przyrodnika, bardziej zainteresowanego dobrym chichotem niż poważną nauką brytyjskiej elity naukowej. Odwiedzający wystawę — turyści i wczasowicze z Londynu — zostaliby wciągnięci w tę dramatyczną prezentację natury, a co za tym idzie, być może również w jej przeformułowanie nauki jako przygody entuzjastycznej. Bawół i lew pokazują, że gdy nauka jest prezentowana publiczności, nie przekazuje ona w czysty sposób czegoś o naturze. Widzowie tej wystawy nie tylko zostali czegoś nauczeni o naturze; nie otrzymali nawet tylko subiektywnego poglądu na naturę; opowiedziano im również historię o tym, jaka jest natura nauki. Zostali wciągnięci w relację zarówno z naturą, jaką widzieli twórcy serialu, jak i z naturą produkcji wiedzy, czy nauki, praktykowanej przez tych twórców. Jeśli chodzi o lwa i bawoła, to samo dotyczy wszystkiego innego w tym rozdziale: wersja samej „nauki” jest produkowana poprzez każdą ponowną prezentację natury. Jak mówi historyk James Secord, „nauka [jest] formą komunikacji”.

### **Wczesnonowożytne korzenie**

Rewolucja naukowa obejmowała wiele sposobów komunikowania natury, zazwyczaj pomiędzy równymi sobie — komunikatorzy i widzowie byli współuczestnikami historii naturalnej i filozofii przyrody. Wytwornicy mężczyźni, kulturalni i bogaci, podziwiali nawzajem swoje zbiory osobliwości natury. Kiedy patrzyli, rozmawiali; ich naukowe dyskusje dawały wiedzę o naturze. Ponieważ publiczność składała się z współkolekcjonerów, nie było rozróżnienia między tworzeniem a przekazywaniem wiedzy. W XVII wieku narodziła się nauka eksperymentalna. Ponownie, jej publiczność była wyselekcjonowana. Kontrolowane grupy świadków — składające się z uczonych i ich patronów — poświadczały wartość demonstracji, które oglądali, a ich wnioski były rozpowszechniane za pośrednictwem mediów drukowanych, które były tak dobrze chronione, jak tylko ich producenci mogli sobie pozwolić, przed plagiatem, piractwem i irytującą reinterpretacją. XVIII wiek był świadkiem znacznej ekspansji klas handlowych i konsumujących. Nauka była prezentowana przed większymi i mniej wybranymi grupami: tymi samymi ludźmi, którzy uczestniczyli w innych wydarzeniach w sezonie londyńskim lub uczestniczyli w jarmarkach ulicznych i rozrywkach niższych klas. Rozprzestrzeniła się

również poza stolicę, zwłaszcza w powstających obszarach przemysłowych Wielkiej Brytanii. Pod pewnymi względami (jak argumentował Larry Stewart) XVIII wiek można postrzegać jako okres rozkwitu publicznej nauki: erę, w której użyteczność odkryć była uważana za oczywistość, a publiczne próby eksperymentów (rozpoczęte w poprzednim wieku) przypieczętowały akceptowane metody nauki. W tym okresie chemia — w tym elektryczność — była preferowaną nauką do eksploracji poprzez prezentację. Nadal odbywały się pokazy dla niezwykle wybranej publiczności bogatych i wpływowych, takich jak w Royal Society. Ale byli też przemysłowi spekulanci oglądający pokazy nauki Newtona w nadziei na dokonanie sprytnych inwestycji. Inni po prostu pojawiali się, aby się trochę pośmiać. Zelektryzowani mnisi, damy i dzieci stworzyli dobry pokaz. Nowo odkryte „aury” mogły wywołać polityczne lub erotyczne emocje wśród osób poddanych eksperymentowi, a także, w krótkim kroku (niebezpiecznie krótkim dla ich krytyków), wśród ich odbiorców.

### **Oswojenie natury: Royal Institution**

Pod koniec XVIII wieku nauka stawała się masowym towarem samym w sobie; rozrywką, której publiczność nie oczekiwała ani natychmiastowych inwestycji finansowych, ani czerpania prestiżu kulturowego z tego, co widziała. Jej publiczność nie uczestniczyła; ona oglądała. Pieczęć na tej nowej tożsamości nauki została prawdopodobnie ustanowiona przez założenie Royal Institution (RI) w 1799 r., chociaż można by tego nie wnioskować z jej spisanych celów uczestnictwa i doskonalenia: . . . dla rozpowszechniania wiedzy i ułatwiania ogólnego wprowadzenia użytecznych wynalazków mechanicznych i ulepszeń; i dla nauczania, poprzez kursy wykładów filozoficznych i eksperymentów, zastosowania nauki do wspólnych celów życia. Zbiorowe motywy zwolenników Royal Institution obejmowały krajową konkurencyjność gospodarczą i poprawę sytuacji biednych, a także osobiste interesy i inwestycje. Istniało również, być może, pragnienie oswojenia lub przynajmniej zapewnienia alternatywy dla zapalających prezentacji chemii, które były aż nazbyt powszechne. Ten ostatni cel został uosobiony w zatrudnieniu Humphry'ego Davy'ego jako wykładowcy, a wkrótce profesora. Davy, przekonująca obecność sceniczna, do tej pory był zaangażowany w niezdrowe „sztuczne powietrze” (podtlenek azotu lub gaz rozweselający), ale teraz zmodyfikował swoje występy, aby dopasować się do publiczności, którą Thomas Carlyle opisał w 1836 r. jako „wszelkiego rodzaju modnych ludzi... rodzaj wzniosłego Instytutu Mechaniki [wyższych klas]”. Zamiar kształcenia brytyjskich robotników technicznych upadł. W Royal Institution nastąpił również nowy rozwój, który pierwotnie nie był planowany, a mianowicie utworzenie poważnego laboratorium badawczego w piwnicy. Tutaj można było przygotować demonstracje gotowe do zaprezentowania publiczności na górze. W ruchu przypominającym oryginalne demonstracje Royal Society zainstalowano siedzenia dla świadków ekspertów: nie tylko pokazy, ale wiedza była wytwarzana za kulisami. Na górze i na dole Davy opanował zarówno retorykę, jak i instrumenty, aby pokazać, że panuje nad naturą, jest autorytetem w dziedzinie chemii. Ostatecznym mistrzem laboratorium Royal Institution był Michael Faraday. Droga Faradaya do krajowej sławy od skromnych początków była kwintesencją wiktoriańskiego mitu samodoskonalenia. Niestrudzenie pracował nad swoją autoprezentacją, a także nad opanowaniem aparatury naukowej, której używał do demonstrowania zjawisk natury. Nawet bardziej niż Davy starał się przekonać publiczność, że nie przyszli oglądać jego zręczności, ale raczej natury mówiącej przez niego. W ten sposób Faraday zaczął być celebrowany zupełnie inaczej niż Davy pod względem stylu i treści. W swoich najlepszych czasach Davy był szalenie popularną postacią — seksowny to nie byłoby zbyt mocne słowo — którego romantyczna nauka (zajmował się również poezją) była w modzie. Gdy Faraday był w modzie, Davy wydawał się, patrząc wstecz, raczej osiemnastowieczny: zbyt wyniosły, zbyt napuszony, z raczej żenującym opisem nauki, który skłaniał się ku zyskowi i rozrywce. Trzeźwy Faraday był czczony za swoją jasność, skupienie.

### **Różnorodność ekspozycji: nauka w rękach pracowników**

Pierwotna zamierzona publiczność Royal Institution, uznając ją za zamkniętą dla siebie w praktyce, znalazła inne miejsca, w których mogła uczestniczyć. Kiedy George Birkbeck przedstawił swoją wizję edukacji dorosłych w Crown and Anchor Tavern na Strand w grudniu 1823 r., wzięło w niej udział aż dwa tysiące osób. London Mechanics' Institution Birkbecka, jak się stało, było jedną z wielu takich organizacji rozsianych po całym kraju. Często mieściły się w budynkach specjalnie zamówionych przez ich przemysłowych sponsorów, obejmowały biblioteki i wykłady, na których robotnicy mogli uczyć się najnowszych osiągnięć naukowych. Oczywiście biblioteki te wymagały treści, a na początku XIX wieku nastąpił wybuch liczby tytułów przeznaczonych dla klasy robotniczej, co ułatwiła tania i szybka produkcja prasy drukarskiej napędzanej parą. Ta nowa technologia była nie tylko genialnym nowym medium, jeśli chodzi o jej głównie wigowskich producentów; była również modelem nowych nauk i ich miejsca w kraju. Przedsiębiorczość, edukacja i sukces narodowy szły ręką w rękę; nowe maszyny mogły zarówno edukować masy, jak i zapewniać im dochodową pracę. Towarzystwo Rozpowszechniania Przydatnej Wiedzy było jedną z takich organizacji wigowskich, założoną przez prawnika i polityka, Henry'ego Broughama, oraz uznanego wydawcę, Charlesa Knighta. Celem Towarzystwa było „przekazywanie przydatnych informacji wszystkim klasom społeczności” i w tym celu publikowało tanie magazyny i cyklopedie, które zawierały wszystko, od faktów na temat elektryczności po wskazówki dotyczące gospodarstwa domowego, od domowych środków zaradczych po wskazówki religijne. Niektórzy komentatorzy obawiali się skutków całej tej edukacji dla mas, podczas gdy dla innych nie była ona wystarczająca. Obawiali się, i to z pewnym uzasadnieniem, że ta metoda rozwoju wykwalifikowanej siły roboczej miała na celu w istocie kształtowanie potulności. W międzyczasie podejmowano również próby przekazywania jawnie konserwatywnej nauki masom. Najbardziej znanym z nich był być może wynik zapisu ósmego hrabiego Bridgewater, który w 1829 r. zapisał 8000 funtów na zakup tysiąca egzemplarzy książki O mocy, mądrości i dobroci Boga, objawionej w stworzeniu. Royal Society wyznaczyło ośmiu autorów, z których każdy napisał jeden z ośmiu „Traktatów Bridgewater”, jak stały się znane. Różniły się one pod względem naukowej treści i pobożności, a także dostępności dla osób niebędących specjalistami. Poza egzemplarzami przekazanymi Instytutom Mechaniki, raczej niewiele trafiło w ręce uboższych klas, ponieważ były drogie — tańsze wydania pojawiły się w końcu w latach 50. XIX wieku. Różne grupy czytelników wywnioskowały z lektur bardzo różne rzeczy. Niektórzy uznali, że ich teologia została potwierdzona, a ich wiedza skonsolidowana. Inni czytali z punktu widzenia niewielkiej wiedzy lub na poziomie rówieśników. Niektórzy nawet przeczesywali strony książek w nadziei na znalezienie ukrytego lub nieumyślnego usprawiedliwienia radykalnej, ateistycznej polityki. Członkowie tej ostatniej grupy byli również skłonni do konsumowania drukowanych materiałów o frenologii, dziewiętnastowiecznej nauce, która obiecywała wiedzę dla wszystkich opartą jedynie na dotyku czubkiem palca, oraz bezklasowym systemie edukacji i awansu opartym na indywidualnych możliwościach. Najbardziej sensacyjny ze wszystkich był jednak opis natury zawarty w anonimowo opublikowanej książce z 1844 r., *The Vestiges of the Natural History of Creation*. Ta ambitna książka syntezowała dotychczasową naukę, aby pokazać, w jaki sposób prawa natury mogą odpowiadać za rozwój wszystkich aspektów natury, od gwiazd po gatunki. Radykałowie ją uwielbiali, a uznani dżentelmeni nauki rzucili się, aby ją krytykować. Istniała zatem szeroka gama motywów komunikowania natury wśród odbiorców i pisarzy ery prasy parowej, a to, co zamierzał autor lub wydawca, niekoniecznie było tym, co wywnioskował czytelnik. Znaczenia natury i natura nauki były negocjowane w złożonej sieci polityki, ekonomii, awansu społecznego, filozofii i teologii.

Gdy z prasy parowej wylewały się czasopisma i broszury, Towarzystwo Zachęty Sztuk, Wytwórczości i Handlu znajdowało inne inicjatywy do sponsorowania, podobne do tych pierwotnie przeznaczonych dla Royal Institution. W 1828 roku otwarto Galerię Narodowego Repozytorium, w miejscu obecnej National Gallery. Repozytorium obejmowało modele maszyn przemysłowych i statków oraz działający

telegraf nadający się do komunikacji między pokojami domu. Zwiedzający nie zachowywali się dobrze, „badając eksponaty i skacząc po modelach”. Wystawa przeniosła się na Leicester Square w 1833 roku, ale nawet w tej bardziej popularnej dzielnicy nie zapewniła wystarczająco atrakcyjnej rozrywki, aby przetrwać długo. Bardziej udane były Adelaide Gallery i Royal Polytechnic Institution, których cele również przypominały pierwotną, techniczną wizję RI. Udało im się przyciągnąć dużą liczbę mechaników i rzemieślników, częściowo dzięki naciskowi na wykłady i pokazy, a nie proste wystawy. National Gallery of Practical Science, jak początkowo nazywano Adelaide, została założona w 1832 roku przez amerykańskiego przedsiębiorcę Jacoba Perkinsa. Przyciągnęła około pół miliona odwiedzających przez cały okres swojego istnienia, dzięki atrakcjom, które obejmowały 21-metrowy zbiornik na wodę zawierający modele statków, magnes zdolny utrzymać 238 kg, działo parowe, które wystrzeliwuje tysiąc pocisków w ciągu minuty, oraz elektrycznego węgorza „w pełni życia i wigoru”. Adelaide Gallery rywalizowała o odwiedzających z Royal Polytechnic Institution (zał. 1838), znajdującym się na Regent Street. Royal Polytechnic Institution handlowała własnym cudem morskim, dzwonem nurkowym w swojej Wielkiej Sali, który był wystarczająco duży, aby pomieścić kilka osób (płacąc dodatkowo szylinga ponad cenę wstępu za ten przywilej) i który zanurzał się w zbiorniku z wodą. Inne godne uwagi cechy to prototyp wirówki i steki wołowe gotowane za pomocą optycznie skupionych promieni. Royal Polytechnic Institution miała również sale wykładowe, laboratorium i mnóstwo sprzętu i maszyn. Ale pomimo tych pozorów oryginalnej nauki, Royal Polytechnic Institution była często deprecjonowana jako miejsce rozrywki dla dzieci przez krytyków, takich jak *Mechanic's Magazine*. Przewodnik Mogga po Londynie z 1844 r. bronił swojej wyższej wartości, stwierdzając jednak, że odwiedzający zostaną „wprowadzeni w wiedzę na temat każdego matematycznego, mechanicznego i muzycznego wynalazku i ulepszenia”. Styl wykładów i pokazów w Adelaide i Royal Polytechnic Institution był sprzeczny ze stylem Faradaya w Royal Institution, mimo że temat elektromagnetyzmu był wspólny dla wszystkich trzech instytucji. William Sturgeon z Adelaide podkreślał jego „rozważne uporządkowanie zjawisk”, co oznaczało, że był dumny ze swoich skomplikowanych urządzeń eksperymentalnych i chciał, aby jego publiczność była równie pod wrażeniem ich konstrukcji, jak i jego mistrzostwa w ich obsłudze. Z kolei Faraday słynął z tego, że skupiał się na „faktach” — nie na tym, co stworzył, ale na tym, co należało do samej natury. Było to bardziej społecznie akceptowalne w epoce politycznych turbulencji, jak ilustruje elektryczne doświadczenie księcia Wellingtona w Galerii Adelaide. Współcześni donieśli, że:

włożył ręce do koryta (zawierającego wodę) używanego do celów elektromagnetycznych, został tam przytwierdzony tak całkowicie, jakby jego ręce były zamknięte w imadle, i . . . zdobywca Europy, był bezradny jak niemowlę . . .

Gdyby taki paraliż wytłumaczyć mocami natury – zasadniczo mocami Boga – wówczas żadne hierarchie społeczne nie byłyby zagrożone. Ale jeśli takie upokorzenie byłoby przedstawiane jako demonstracja mocy eksperymentatora – a Sturgeon dzielił podobne skromne początki z Faradayem – wówczas był to niebezpiecznie radykalny manewr w politycznie niestabilnych latach 30. XIX wieku. Sugerowanie przez Sturgeona, choćby ostrożnie, że jego spryt przypominał spryt Stwórcy, było twierdzeniem zbyt daleko idącym. Demonstranci popełniali straszny błąd, jeśli myśleli, że mogą połączyć jawnie imponujące umiejętności z autorytatywnym pokazem natury; Sturgeon była po cichu wykluczana z szanowanej nauki, a zatem – do niedawna – z podręczników historii. Dziś historycy twierdzą, że takie miejsca jak Adelaide i Royal Polytechnic Institution były tworzone przez mechaników i wytwórców instrumentów w poważnej próbie zaprezentowania się publicznie jako ludzie – jeśli nie dżentelmeni – nauki. Ten brak kulturowego pozwolenia na łączenie oryginalnych badań z publiczną prezentacją może pomóc wyjaśnić ruch w kierunku jawnej rozrywki w drugiej połowie XIX wieku. Instytucje publiczne musiały szukać innej tożsamości, jak w tym opisie Adelaide z 1849 roku:

Następnie nadszedł etap przejściowy... początkowo wywołany potajemnie. Światło tlenowo-wodorowe zostało potajemnie [sic] zastosowane do komicznej latarni magicznej; a zamiast kwasu węglowego stworzono gaz rozweselający. Stopniowo wkradła się muzyka; potem czarodzieje; a na końcu utalentowani wokalni cudzoziemcy z Etiopii i Pirenejów. Nauka została doprowadzona do kresu rozumu [sic] w celu uzyskania środków do życia, ale nadal starała się wydawać szanowaną. Nazwy nowych atrakcji były potajemnie umieszczane na rachunkach, przemykając się pod oryginalnymi silnikami i maszynami mniejszą czcionką. Była przykładem starej historii o zgniłej damie, która, zmuszona krzyczeć „Muffins” dla swojego istnienia, zawsze miała nadzieję, że nikt jej nie usłyszy.

Podobną zmianę polityki w Royal Polytechnic Institution można datować na rok 1854, kiedy to jej kierownictwo przejął John Henry Pepper. Pod jego kierownictwem odbywały się rozrywki muzyczne, pokazy latarni magicznych, iluzje i cuda elektryczne. Przede wszystkim Royal Polytechnic Institution słynęło z pokazów optycznych, a z nich najbardziej znany był „duch Peppera”, niezwykła iluzja, dla której szybko zamówiono szereg scenariuszy dramatycznych w formie nośnika. Oprócz przyjemnego strachu i zdziwienia, prowokacje ducha obejmowały debatę na temat tego, czy Pepper nie posunął się za daleko w prezentowaniu rozrywki kosztem udoskonalenia naukowego. Dla przynajmniej niektórych gości dużą częścią zabawy było odkrywanie, jak wykonywane są sztuczki, co nie było prostym zadaniem i prawdopodobnie dobrym treningiem myślenia naukowego. Rzeczywiście, wielu naukowców przyznało, że podręcznik naukowy chłopca Peppera był znaczącym czynnikiem w ich rozwoju naukowym. Jednak nawet wśród tych coraz bardziej skupionych na efektach pokazów nauki historycy odkryli aktywne badania, które miały zarówno teoretyczne, jak i praktyczne konsekwencje. Fizyka światła i dźwięku — a w szczególności wizualna rejestracja zjawisk niewizualnych — zostały opracowane do publicznego wyświetlania. Stały się one podstawą technologii kinematograficznych, ale w tamtym czasie stanowiły autentyczną, nową wiedzę samą w sobie.

Szklana hala o długości prawie trzech czwartych mili i wysokości dwustu stóp! Pomnik mógłby stać w jednym z jego wnęk. Szklany dach pokryłby dwadzieścia pięć akrów ziemi. Z jego zawartości — dzieł sztuki, wystaw naturalnych i wytworzonych produktów wszystkich krajów, ogrodów i muzeów osobliwości i nauki — duży tom byłby zaledwie najkrótszym katalogiem. Wystawa uczyniła Wielką Brytanię globalnym centrum, w którym wszystkie kolonie, a w zasadzie wszystkie inne narody, oferowały swoje skarby. W niektórych przypadkach było to metaforyczne, w innych dosłowne; zaledwie siedem lat później Wielka Brytania przejęła bezpośrednio rządy nad Indiami. William Whewell, unikając aluzji do imperialnych implikacji Wystawy, znalazł filozoficzną zaletę w fakcie, że zwiedzający mogli porównywać stan sztuki na całym świecie w tym samym czasie — coś, co byłoby niemożliwe, gdyby podróżowało się naprawdę, ponieważ w czasie podróży sytuacje uległyby zmianie. Zachwyt Whewella nad panoramicznym potencjałem Wystawy był bardziej wzniosłą wersją powszechnie dzielonej przyjemności publicznej. Na potrzeby wystawy stworzono wielki globus o średnicy 60 stóp — panoramę w panoramie — na którego wnętrzu rzutowano całą Ziemię. Niestety, organizatorzy wystawy uznali projekt za zbyt nachalny chwyt marketingowy dla działalności jego twórcy w zakresie tworzenia map. Zamiast tego pomyślnie zorganizowano osobną wystawę w ogrodach Leicester Square. Nauka i sztuki użytkowe były integralną częścią Wielkiej Wystawy; jedenastu z jej pierwotnych dwudziestu czterech nadzorców, Królewskich Komisarzy, było członkami Królewskiego Towarzystwa. Kiedy w 1854 r. w Sydenham ponownie wzniesiono Kryształowy Pałac, twierdzono, że:

W nauce — geologia, etnologia, zoologia i botanika otrzymują odpowiednie ilustracje; zasadą tego było połączenie naukowej dokładności z efektem popularnym, a w ostatecznym rozwoju dyrektorzy są na tyle odważni, by oczekiwać, że Kryształowy Pałac z 1854 r. stanie się ilustrowaną encyklopedią tego

wielkiego i różnorodnego wszechświata, w którym każda sztuka i każda nauka znajdzie swoje miejsce. Dla innych nauka na Wystawie była pomnikiem postępu w użytecznych sztukach. Northern Tribune zbagatelizowała doniesienia innych gazet o obecności rodziny królewskiej i zamiast tego namawiała swoich czytelników, aby cieszyli się z prawdziwych gwiazd wystawy:

Dobra robota, pracowici i odważni kapitaliści! Pod każdym względem dobra robota! Czyż nie pokazuje nam to również, co można by zrobić, gdyby cały naród był kapitalistyczny i pomysłowy...?

A jednak wystawa wypadła raczej słabo pod względem identyfikowania udanych technologii lub nauk dla przyszłego rozwoju, pomimo nagród, które oferowała. Dla niektórych Wigów i Liberałów — tych zwolenników przedsięwzięć wydawniczych w popularnej nauce — wynalazczość i produkcja nie były celem. Dla nich Wystawa była po prostu obroną wolnego handlu na całym świecie. W zależności od tego, czy ktoś skłania się ku tantiomom, czy handlowi, nauka mogła ilustrować zupełnie inne rzeczy, a jej sukces mógł być różnie oceniany.

Cokolwiek to było, co wystawiła, sama zdumiewająca wspaniałość Wielkiej Wystawy oznaczała, że miała ona długą tradycję w publicznej produkcji i konsumpcji nauki. Sama architektura Wielkiej Wystawy była częścią historii wyraźnie błyskotliwej wiktoriańskiej inżynierii lądowej, tradycji mostów, kolei i tuneli, która została połączona w literaturze Samuela Smilesa i innych z narracją o samodoskonaleniu i sukcesie narodowym. Jednym z jej konkretnych głównych efektów było przyspieszenie powstania zróżnicowanej grupy instytucji w South Kensington — muzeów, Royal School of Mines, Albert Hall itd. Łącznie zaproponowano dziewięćdziesiąt sześć różnych instytucji dla tego miejsca i chociaż jest ono obecnie najbardziej znane ze swoich muzeów, pierwotnie planowano je jako wysoce praktyczny kompleks badawczy, szkoleniowy i handlowy, przy czym muzea służyły swoim celom w ramach tego szerszego zakresu. Wystawa naukowa była połączona z edukacją, a edukacja nie była postrzegana przede wszystkim jako biznes dla uniwersytetów. Wielka Wystawa zainspirowała również bezpośrednią emulację w pokazach naukowych na całym świecie, aż do XX wieku. W latach 70. XIX wieku cztery pokazy wybranych eksponatów w Londynie przyciągnęły setki tysięcy zwiedzających. Istotny wątek naukowy miał miejsce na London Festival of Empire w 1911 r. i na London British Empire Exhibition w latach 1924–1925. Ta ostatnia koncentrowała się w szczególności na chemii, tekstyliach i inżynierii i osiągnęła liczbę frekwencji ponad trzykrotnie przewyższającą pozornie niepokonaną Wielką Wystawę. Ceremonie otwarcia Igrzysk Olimpijskich i Paraolimpijskich w Londynie w 2012 r. przedstawiły naukę w rozpoznawalnie podobnej mieszance patriotyzmu, nacjonalizmu i handlu, z dodatkowymi składnikami samokrytyki i postindustrialnego zażenowania. W programie olimpijskim, dość krótko, wystąpił Tim Berners-Lee, twórca Internetu, podczas gdy paraolimpiada rozkwitła nauką: Stephen Hawking, bozony Higgsa, Isaac Newton i parasole. W odniesieniu do tego ostatniego, notatki programowe wyjaśniały: Parasol, lub brolly, jest kwintesencją brytyjskiego przedmiotu, który chroni nas przed deszczem. Wersja ze stalową ramą została wynaleziona w 1852 roku przez brytyjskiego przemysłowca Samuela Foxa. To triumf designu i transformacji... i pełen komicznego potencjału.

### **Nauka dla narodu (II): historia naturalna**

Kolekcje roślin i zwierząt egzotycznych o charakterze przyrodniczo-historycznym, z ich implikacjami podróży, handlu i podbojów, były demonstracją władzy monarchicznej lub państwowej na długo przed wymyśleniem Wielkiej Wystawy. Jardin du Roi, który został otwarty dla publiczności w 1640 r., był dowodem międzynarodowego zasięgu Ludwika XIII, a zwłaszcza Ludwika XIV. Towarzystwo Zoologiczne Londynu i jego menażeria (1828 r.) były nie mniej symbolami kolonialnego handlu i dominacji, choć z innej epoki. Kolekcja była w dużej mierze osiągnięciem Sir Stanforda Rafflesa, niestrudzonego promotora Imperium Brytyjskiego w Indiach Wschodnich. Była to szanowana

alternatywa dla tętniącej życiem kultury menażerii — handlu i wystaw egzotycznych gatunków i osobliwości — która trwała od XVIII wieku. Nawet wiele zwierząt było królewskich — niechciane prezenty podarowane przez księcia Alberta. Linnaean Society współpracowało z Rafflesem przy zakładaniu zoo, a pierwotnym zadaniem ogrodów było ułatwianie specjalistom badania zwierząt (żywych lub martwych). Jednak prawdziwymi zarządcami zoo byli członkowie szlachty, kolonialisci i awansujący przemysłowcy, a jego zarządzanie podążało za ogólnym dziewiętnastowiecznym wzorcem uwłaszczenia klasy średniej. Przez pierwsze dwie dekady wstęp do ogrodów mieli tylko członkowie ZSL i ich goście. W 1846 r. trudności finansowe zmusiły Society do otwarcia ogrodów dla płacącej publiczności. Na każde żywe zwierzę schwymane na całym świecie przypadły dzie siatki zastrzelonych. Po wypychaniu zwierzęta te stanowiły trzon kolekcji w całej Wielkiej Brytanii. Ustawa o muzeach brytyjskich z 1845 r. umożliwiła zakładanie muzeów miejskich w całym kraju, co oznaczało, że nie tylko londyńczycy mogli korzystać z uporządkowanych wystaw przyrody i imperium. Coraz częściej właściciele okazałych domów otwierali swoje prywatne wystawy dla członków płacącej publiczności, do których, w miarę upływu stulecia, docierała rozwijająca się sieć kolejowa. Jednym z nich było Muzeum Powella Cottona; znacznie bardziej znane jest Muzeum Historii Naturalnej w Tring, pierwotnie prywatne muzeum drugiego barona Rothschilda, zbudowane w 1889 roku i otwarte dla publiczności w 1892 roku. Pod koniec stulecia powstały również wielkie amerykańskie muzea historii naturalnej z ich dramatycznymi dioramami.

Chociaż prace teologiczne o charakterze przyrodniczym trwały przez cały XIX wiek (szczególnie dla dzieci), nie odnosi się wrażenia, że w tym samym okresie wystawy przyrody przekazywały jakiegokolwiek silne przesłanie teologiczne. Nie było do końca jasne, w jaki sposób widok orchidei lub kangura miałby podnosić na duchu lub poprawiać samego siebie. Jeden z komentatorów zaproponował potrójną korzyść: „przyjemną i niewinną rekreację” zapewnianą przez widok piękna; „różne zalety” lub praktyczne korzyści, które można uzyskać od zwierząt; oraz zachętę do podziwiania boskiej mądrości i mocy. Później dodał, że ogrody zoologiczne są „ozdobą” miasta, która powinna wzbudzać podziw dla kraju. Jednak nie wszyscy odwiedzający byli posłuszni tak wzniosłym celom. Podczas rozmyślań nad mechanizmem ewolucji Karol Darwin słynnie spotkał w ogrodach orangutana pijącego ze spodka. „Niech człowiek odwiedzi Ouranoutanga w fazie udomowienia, usłyszy jego ekspresyjne skomlenie, zobaczy jego inteligencję, gdy się do niego mówi; jakby rozumiał każde wypowiedziane słowo”, rozmyślał, „a potem niech się chełpi swoją dumną wyższością”. Królowa Wiktorja ograniczyła swoją reakcję do stwierdzenia, że uważa ten gatunek za „nieprzyjemnie ludzki”.

Można z całą pewnością stwierdzić, że dyscyplina społeczna narzucona odwiedzającym przestrzenie obywatelskie i eleganckie — czy to metropolitalne, prowincjonalne czy wiejskie — narzucała milczące, ale potężne ramy, które zawierały ich okazy: ramy tego, co oznaczało społecznie i kulturowo uczestnictwo w nauce. Generalnie takie przestrzenie zakładano w bogatszych obszarach metropolitalnych (lub przyciągały do nich bogactwo); były to zdrowe i cywilizowane miejsca z dala od naglącego wzrostu urbanizacji, przyciągające tych, którzy deklarowali lub aspirowali do elegancji. Termin „ogrody zoologiczne” podkreśla ciągłość tego, co obecnie uważamy za wystawy zwierząt, z parkowymi promenadami Kew i gdzie indziej; pierwotnie nacisk doświadczalny był co najmniej w takim samym stopniu położony na przestrzeń zewnętrzną. Dobrą ilustracją tego jest Zoological Keepsake z 1830 r., który opisuje wizyty rodziny z wyższych sfer w Ogrodach (przyznane dzięki osobistym kontaktom z jednym z Zoological Fellows). Po tym, jak matka rozwodzi się nad tym, jak zamierza przebudować teren, aby zmniejszyć przestępczość i brzydotę, jej córka zauważa z niezamierzoną złośliwością: „Kiedy Primrose Hill zostanie ogrodzone [zgodnie z jej planami], wszystko... będzie nazywane nie Regent's Park, ale kochaną Mamma!” Podobnie, wizyta w Królewskich Ogrodach Botanicznych w Kew była bardziej zdrową formą rozrywki niż spacer po Vauxhall Pleasure Gardens. Gdzie indziej w Europie tworzenie racjonalnych przestrzeni ogrodowych było często częścią celowego

i zaplanowanego programu odnowy miejskiej. Dziewiętnastowieczni goście Kew cieszyli się z wrażenia oglądania świata w miniaturze (podobne doświadczenie do tego, jakie można było uzyskać w panoramach i na Wielkiej Wystawie), chociaż nie jest jasne, czy wszyscy czuliby się udziałowcami w dominium upamiętnianym przez wystawy. Dla wielu gości racjonalne przyjemności podróży do Kew zarówno karmiły, jak i były karmione przez botanikę w domu. Już na początku stulecia klasy rzemieślnicze były zapalonymi kolekcjonerami i wymiennicami informacji na temat roślin; w połowie stulecia klasy średnie — bardziej prawdopodobne, że stać je na opłatę wstępu do Kew — zostały wciągnięte w szaleństwo kolekcjonowania paproci. Wystawy zoologiczne były również równoległe do szaleństwa domowej imitacji w połowie stulecia, w formie akwariów morskich. Tak więc szlachetność nauki wykonywanej w domu i w przestrzeni publicznej wzajemnie się wzmacniała. Wielkim wyjątkiem od społecznie konserwatywnego przesłania natury biologicznej była oczywiście ewolucja. Podobnie jak niebezpieczne posługiwanie się sprzętem elektrycznym przez osoby niebędące dżentelmenami, tak i sekcja ciała (ludzkiego lub zwierzęcego) mogła być wykorzystana do wyciągnięcia destabilizujących wniosków, jeśli została wykonana przez niewłaściwy rodzaj osoby lub w niewłaściwy sposób. W latach 30. XIX wieku anatomowie porównawczy w Edynburgu i Londynie — wielu z nich to młodzi studenci — chętnie chwyтали się radykalnych implikacji francuskich ewolucjonistów, gdy rozważali struktury wspólne zwierzętom i ludziom. Jednak ich prace nie były publicznie prezentowane.

Historia oddzielenia Natural History Museum od jego macierzystego British Museum jest częściowo opowieścią o napięciu między konkurującymi modelami publicznej historii naturalnej w epoce, gdy transmutacja gatunków miała mniejszy ładunek polityczny. Rdzeniem kolekcji historii naturalnej British Museum był materiał zebrany przez Sir Hansa Sloane'a w XVIII wieku, z którego część jest nadal eksponowana w Galerii Oświecenia. Chociaż pozyskano nowe przedmioty, do połowy XIX wieku wiele z nich zostało sprzedanych, utraconych, uszkodzonych i zniszczonych; kolekcja historii naturalnej nie była uważana za ważną cechę Muzeum w porównaniu z jego archeologicznymi skarbami. Przybycie Richarda Owena jako kuratora historii naturalnej w 1856 roku zmieniło wszystko. Owen był porównawczym anatomem, który w swojej pracy nad skamieniałościami ukuł słowo „dinozaur”. Rozpoczął poważne lobbowanie na rzecz nowego budynku, do którego dołączyły inne głosy i szczęśliwie zbiegło się to z rozwojem zatwierdzonego przez Alberta projektu na terenie South Kensington. Rada T. H. Huxleya dla Komisarzy Manchester Natural History Society, udzielona w 1868 r., przedstawiała wizję muzeum składającego się z dwóch przestrzeni, jednej przeznaczonej dla zwiedzających, a drugiej dla badaczy. Pierwsza miała „ilustrować wszystkie najważniejsze prawdy historii naturalnej”, nie będąc jednocześnie „tak rozległą, aby znużyć i dezorientować zwykłych zwiedzających”. Tymczasem zwiedzający nie mieli wchodzić pod nogi kuratora i studentów nauk ścisłych. Była to zdecydowanie dydaktyczna wizja muzeum i chociaż nie była (na pierwszy rzut oka) przeznaczona dla budynku South Kensington, jest dobrym opisem „góry lodowej” natury muzeum, które ostatecznie zostało zbudowane, z ogromnymi kolekcjami, które nie były eksponowane, ale dostępne dla badaczy. Plany zostały sporządzone w 1864 r., ale, co nie powinno dziwić, biorąc pod uwagę masowość budynku, nie został on otwarty aż do 1881 r. Czego zwiedzający dowiedzieli się o naturze, oglądając British Museum (Natural History)? Pod rządami Owena nie dowiedzieli się o przemianie gatunków, ponieważ Owen uporządkował swoje okazy według czterokrotnej typologii podstawowych form, a nie po to, by opowiedzieć historię stopniowej zmiany. Nawet płaskorzeźby zdobiące budynek zostały uporządkowane przestrzennie według gatunków żyjących i wymarłych. Ale zwiedzający dowiedzieli się, że biologia była przedsięwzięciem tak godnym, tak wzniosłym, że wymagała architektury katedry, by ją pomieścić. Przynajmniej w tym Owen i jego wróg Huxley byli zgodni. Huxley mocno lobbował, by muzeum oderwało się od British Museum i stanęło kulturowo na swoim własnym gruncie. Kiedy Huxley zorganizował pochówek Darwina w Opactwie Westminsterskim - wyjątkowy zaszczyt dla człowieka nauki - wersja biologii ewolucyjnej Huxleya została ostatecznie



uhonorowana w równoważnej przestrzeni architektonicznej i kulturowej. Dyrektorzy Muzeum Historii Naturalnej (oddzielonego od Muzeum Brytyjskiego w 1963 r.) ostatecznie ukończyli misję Huxleya w 2009 r. Usunęli posąg Owena z holu wejściowego muzeum i zastąpili go posągiem Darwina, najpierw jako tymczasowe rozwiązanie na dwusetną rocznicę urodzin Darwina, a następnie jako stały element. W chwili pisania tego tekstu portret Huxleya pozostaje, co dość zaskakujące, w centrum tryptyku bohaterów ewolucyjnych w National Portrait Gallery (pozostali dwaj to Lyell i Darwin). Jednak czaszki małpy i człekokształtne, które pierwotnie leżały na stole obok niego — rzucając zupełnie inne światło na tradycyjną ludzką czaszkę memento mori, którą trzyma w dłoni — zostały tajemniczo przemalowane, dyskretny akt zasłaniania się, który być może wskazuje, że jego dominacja kulturowa nie była tak całkowita, jak by sobie tego życzył.

### **Nauka na rynku długiego XIX wieku**

Skuteczne orędownictwo Huxleya na rzecz nauki (i dla siebie samego) miało swoje korzenie częściowo w sali wykładowej. Był utalentowanym i przekonującym wykładowcą, ale tylko jedną częścią dużego cyklu wykładów, który odbywał się w różnych przestrzeniach obywatelskich w całym kraju, zaspokajając nienasycone zapotrzebowanie opinii publicznej. Uczestniczyło w nim uprzejme społeczeństwo, robotnicy, kobiety, dzieci — wszyscy. Tematyka była bardzo zróżnicowana, od elektryczności po mięczaki. Nauka była również różnorodna i mogła być powiązana z konserwatywnymi poglądami na świat Boga lub z najbardziej oburzającą odmianą anarchizmu. Wykłady tworzyły karzący harmonogram dla tych, którzy zarabiali na życie dzięki nim. Wykładowcy mogli wygłosić do 120 wykładów w sezonie i wydaje się, że byli niezwykle pilni w przygotowywaniu nowego materiału dla różnych odbiorców. Możliwe były wyjazdy za granicę, ale były ryzykowne, ponieważ wykładowcy praktycznie i finansowo pozostawali w rękach naprawiaczy, których nie spotkali. Wśród publiczności panował również trend stawiania mówcom większych wymagań wizualnych. Na przykład przyrodnik J. G. Wood intensywnie ćwiczył, aby tworzyć na żywo na scenie ogromne rysunki, tworzone szybko i płynnie w nieprzerwanych liniach. Spotkały się z wielkim aplauzem i uznaniem. (Godnym uwagi reliktem formatu wykładów wiktoriańskich był sfilmowany wykład Ala Gore'a na temat antropogenicznej zmiany klimatu, *An Inconvenient Truth*, który powstał w wyniku tournée wykładów i sam był wyświetlany w małych i lokalnych miejscach, a także pojawiał się w głównych wydaniach i na DVD). Wykładowcy, oczywiście, bardzo często byli również pisarzami, a rynek pisanej nauki nadal się rozwijał w drugiej połowie XIX wieku. Było wiele książek dla dzieci i wiele bogato ilustrowanych tekstów. Historia naturalna i owady w szczególności były ulubionymi tematami, zarówno w Wielkiej Brytanii, jak i na całym świecie. Na przykład intymne obserwacje prowansalskich modliszek i gąsienic Jeana-Henri Fabre'a przyniosły mu czytelników od Francji po Australię, poprzez Wielką Brytanię i Indie. Lightman zebrał dane na temat najlepiej sprzedających się książek stulecia i odkrył, że *Brewer's Guide to the Scientific Knowledge of Things Familiar* (1847) miał łączny nakład 195 000 egzemplarzy do 1892 roku. *Common Objects of the Country* (1858) Wooda osiągnął 86 000 egzemplarzy do 1892 roku. Książki te były często „przewodnikami po”, „opowieściami o” lub nawet „przypowieściami” o naturze. Jeśli chodzi o entomologię, owady często występowały jako „wrózkowi” pośrednicy, którzy wprowadzali dzieci w świat natury, ale także subtelnie apelowali o bardziej swobodne i pomysłowe podejście do tematu niż postrzegany sztywny empiryzm naukowych naturalistów. Tymczasem Arabella Buckland przedstawiła całą naukę jako „kraj czarów”. Niektóre z tych książek były jawnie teistyczne, podczas gdy inne pielęgnowały mglisty podziw dla Stwórcy, który mógł być wyrażany dla dobra konwencji. Inni autorzy radykalnie przepisali ewolucję jako proces feministyczny, socjalistyczny lub anarchistyczny. Od lat 70. XIX wieku rozkwitła również fikcja biologiczna, której najstydniejszymi twórcami byli H. G. Wells i Grant Allen. Czasopisma dla wykształconych czytelników prosperowały w tym okresie, mieszając elitarną naukę, filozofię i fikcję. Ale chociaż istniał znaczny rynek dla pism naukowych, istniały w nim podziały, a ludzie tacy jak Huxley próbowali zdefiniować wyższy szczebel

wiedzy, który był ograniczony do mężczyzn, a często także do innych kategorii, takich jak świecka klasa średnia. Rozumienie nauki końca XIX wieku jako historii profesjonalizacji to podejście, które zyskiwało i traciło na popularności wśród historyków, ale nie ma wątpliwości, że w grę wchodziły pewne rozróżnienia legitymacji i że Huxley był główną siłą w ich ustanawianiu. Rozwój natury na filmie w dużej mierze wynikał z wiktoriańskich tradycji wykładów i prezentacji optycznych. Pierwszy film naukowy, Cheese Mites (1903), szybko został uwikłany w istniejące wcześniej rynki historii naturalnej; zestawy mikroskopowe zostały przepakowane, aby zawierać próbkę nowo sławnych stworzeń, tak aby kupujący mogli odtworzyć swoje wrażenia z oglądania filmów w domu. Natura, w sensie żywych istot, była zdecydowanie ulubionym wczesnym tematem filmów faktograficznych. Amerykański przedsiębiorca filmowy Charles Urban przedstawił wartość tego medium dla nauki w manifeście z 1907 roku:

Nadszedł czas, w którym wyposażenie każdego szpitala, laboratorium naukowego, instytutu technicznego, college'u oraz szkoły publicznej i prywatnej bez aparatury filmowej będzie równie niekompletne, jak byłoby bez instrumentów klinicznych, probówek, tokarek, globusów i map.

Urban wydaje się traktować to poważnie (a jego argumenty czytają się przekonująco), ale broszura pełniła głównie funkcję retorycznego balastu dla sprzedaży opartej na rozrywce. (Być może kontekst amerykański wyjaśnia, dlaczego nauka wydawała się Urbanowi nowym zastosowaniem; w swoich wspomnieniach wspominał swoje pierwsze spotkania z kinetoskopem Edisona jako okazje do oglądania takich przedmiotów, jak „Loie Fuller's Skirt Dance” i „The Kiss”.) Prawie natychmiast — jak można się spodziewać po ugruntowanych tradycjach demonstracji optycznej magii — opracowano imponujące specjalne techniki do filmowego wyświetlania natury, takie jak soczewki mikroskopowe, praca poklatkowa i kolor. Lista tematów, które Urban sfilmował już w 1907 r., obejmuje krążenie protoplazmy w amebie, życie pszczoł, narodziny kryształu i beri-beri na Borneo. Po przeprowadzce do Wielkiej Brytanii Urban zatrudnił utalentowanego operatora, Franka Percy'ego Smitha, który później rozpoczął własną działalność jako twórca filmów Secrets of Nature. W miarę upływu stulecia liczni przyrodnicy podróżowali po Wielkiej Brytanii ze swoimi filmami i towarzyszącymi im wykładami. Było to zjawisko podobne do tego z epoki wiktoriańskiej i konkurowało z ówczesnymi salami koncertowymi i podobnymi rozrywkami.

Według Lorraine Daston i Petera Galisona, w XIX wieku wzrosło zapotrzebowanie na „obiektywność” w nauce, przez co rozumiano mechaniczne rejestrowanie zjawisk, nieskażone ludzkim pośrednictwem. W tym sensie film mógł być postrzegany jako kolejny triumf. Był szczególnie przydatny dla etologów zwierząt, którzy mogli zwolnić i przejrzeć swoje obserwacje zachowań zwierząt — wczesnymi użytkownikami tej technologii byli Karl von Frisch i Konrad Lorenz. Jednak historia naturalna traciła już prestiż, ponieważ większość biologii trafiała do laboratoriów, a skojarzenia filmu z teatrem popularnym nie pomagały jej sprawie. Publiczność kinowa nie była, ogólnie rzecz biorąc, autorytatywnym świadkiem wiedzy, którą miała na celu wytworzyć. Filmowanie zwierząt, można by rzec, wzmacniało pragnienie publiczności, aby zobaczyć zwierzęta w „naturalnym” otoczeniu, chociaż ta „natura” sama w sobie była nieuchronnie konstrukcją mises en scène filmów. W latach 30. XX wieku londyńskie zoo zaczęło spotykać się z krytyką ze strony zwiedzających, którzy twierdzili, że kina pokazują zwierzęta w bardziej ekscytujący sposób. Częściowo w odpowiedzi na to, a częściowo w odpowiedzi na krytykę praktyk klatkowych, na początku XX wieku (wraz z innymi światowymi ogrodami zoologicznymi) rozwinęło system fos i tarasów. Połączyło również siły z organizacjami obrony zwierząt (które w innych okolicznościach były ich krytykami), aby lobbować na rzecz powstrzymania przemysłu filmowego przed ustawianiem brutalnych starć między zwierzętami.

## **Nadejście mediów masowych**

W trakcie rozwoju filmu radio również stało się głównym medium do przekazywania wiedzy o naturze. Podobnie jak film, miało wyraźne korzenie we wcześniejszych mediach, szczególnie wykładach i książkach — ale bez bogactwa wizualnego, którego publiczność zaczęła żądać. Jako takie, stanowiło dom dla dyskusji na temat fizyki, ewolucji i innych bardziej teoretycznych gatunków nauki, których twórcy filmowi nie byli skłonni eksplorować. Od czasu założenia w 1927 r. BBC w dużym stopniu polegało na prestiżu nauki, aby zapewnić sobie pozycję elitarnej instytucji publicznej. Ralph Desmarais oszacował, że odsetek wykładów poświęconych nauce wahał się od 5 do 15 procent w latach 30. i 40. XX wieku. Publiczni intelektualiści naukowcy, którzy powstałi dzięki radiu (w 1930 r. szacowano, że połowa wszystkich gospodarstw domowych miała odbiornik) mieli zasięg wykraczający poza wszystko, co było wcześniej możliwe. Zdecydowanie najbardziej płodny z nich, Gerald Heard, nie był zawodowym naukowcem - ale z pozostałych, prawie wszyscy byli naukowcami akademickimi, takimi jak Julian Huxley, James Jeans i J. B. S. Haldane. To pokolenie było w stanie propagować swoje modele nauki (oparte na uniwersytecie, społecznie zobowiązane) dla szerokiej publiczności, chociaż pod koniec lat 30. wpływ lewicowców w BBC znacznie zmalał. Oprócz wykładów, BBC włączało naukę również do programów takich jak Brains Trust; do 1930 roku, Children's Hour prezentował Zoo Man, „Wujka Lesliego [Mainland]”, dawniej z Daily Mail, który używał „bezczepionego wózka... jak trójmasztowego szkunera”, kołowego urządzenia ważącego trzy czwarte tony z ciągnącym się za nim drutem, do swoich transmisji na miejscu. Ci publiczni intelektualiści naukowcy działali również w mediach filmowych i pisanych. Lata 20. XX wieku przyniosły wysyp tytułów samokształceniowych pisanych przez lewicowych naukowców, trend ten trwał przez lata 40. XX wieku i został uzupełniony przez instytucję ekspercko pisanego wydawnictwa Pelican wydawnictwa Penguin (1937–1984). Nauka zyskała obecność w gazetach dzięki pierwszym brytyjskim dziennikarzom oddanym tej dziedzinie, Peterowi Ritchie Calderowi i J. G. Crowtherowi. Autorzy naukowcy i inni w ich kręgach również przyczynili się do zróżnicowania rodzajów nauki pokazywanej w filmach, wykraczając poza jej punkt wyjścia, jakim była historia naturalna. W latach 30. i 40. XX wieku nakręcono znaczną liczbę filmów dokumentalnych celebryjących technologię i zalety technologicznie zaplanowanej przyszłości — coś, co wydawało się aż nazbyt konieczne dla widzów złapanych między katem Wielkiego Kryzysu a zbliżającą się II wojną światową. Telefony, samoloty, nowe miasta, naukowa opieka zdrowotna: wszystkie te rzeczy były chwalone i obiecywane. Niektóre z tych filmów były sponsorowane przez firmy, takie jak Shell Petroleum Company; za inne płacił brytyjski rząd, początkowo za pośrednictwem Empire Marketing Board, a następnie (od 1933 r.) za pośrednictwem jednostki filmowej z siedzibą w General Post Office (GPO). Podczas wojny odpowiedzialność została przekazana Ministerstwu Informacji, które w 1946 r. stało się Centralnym Biurem Informacji. Przez pewien czas po II wojnie światowej wydawało się, że filmowa wizja technologicznej, zaplanowanej przyszłości była szeroko podzielana przez polityków, przemysłowców, a nawet konsumentów i pracowników. Jej szczytowym momentem był „buntowniczy modernizm” Festival of Britain (1951). Nauka była sercem tego festiwalu. Chociaż pod wieloma względami były to targi handlowe podobne do tych z XIX wieku i epoki kolonialnej (w rzeczywistości odbywały się w stulecie Wielkiej Wystawy), były również zaproszeniem dla ogółu społeczeństwa do udziału poprzez konsumpcję modernistycznej estetyki. Polimery (w tym plastik) były materiałem z wyboru, atomy i cząsteczki ulubionymi motywami dekoracji. Publiczność była przygotowywana, pod względem estetycznym i patriotycznym, na słynną fotografię upamiętniającą Cricka i Watsona jako odkrywców struktury molekularnej DNA w 1953 roku. Technologia na Festiwalu nie była czymś, co należało podziwiać jako coś, czym firmy mogłyby handlować (choć tym też było), ale jako coś, co mogliby kupić indywidualni konsumenci — jako odkurzacze, zabawki, tapety.

Podobnie jak Wielka Wystawa była katalizatorem powstania Muzeum Nauki, tak Festiwal Wielkiej Brytanii sprowokował ponowne przemyślenie i odświeżenie jego celów. Pod kierownictwem Franka Sherwooda Taylora (1950–1956) próbował „uczyć się z wystaw sklepowych, reklam, plakatów, filmów

i komiksów”. Przez kolejne trzy dekady liczba odwiedzających wzrosła z poniżej miliona do ponad pięciu milionów, podczas gdy muzeum nadal zmagало się (jak nadal) z kluczowymi pytaniami, czy jego działalność polegała na przedstawianiu historycznej czy współczesnej nauki oraz czy jego odbiorcami byli dorośli czy dzieci. Młodzi ludzie byli szczególnie zapalonymi konsumentami nauki. Science fiction w książkach i czasopiśmie celebrowało kulturę i estetykę wynalazków ery kosmicznej; w istocie, można słusznie powiedzieć, że wyobrażenia faktycznie pomogła je napędzać. Pokolenie, które zaczęło pisać i czytać w latach dwudziestych i trzydziestych XX wieku, przetrwało wojnę i pracowało w inżynierii i projektowaniu, tworząc infrastrukturę i towary, które uosabiały „nowoczesność”. Dla powojennego pokolenia młodzieży, a szczególnie w USA, nacjonalistyczny wymiar nauki i jej fikcji został ponownie ukierunkowany poprzez walkę ze znanymi straszakami zimnej wojny. Istniał nawet podgatunek komiksów atomowych, które przepisywały Projekt Manhattan jako przedmiotową lekcję „pracy zespołowej”, a naukę jądrową jako poszukiwanie źródeł energii.

Brytyjski udział w nauce narodowej poprzez konsumpcję został zapewniony przez ERNIE, stworzony przez wiecznie nowoczesny GPO jako pokaz „komputerów” w 1957 roku. Kanclerz Harold Macmillan, postawiony przed wyzwaniem znalezienia sposobu na kontrolowanie inwestycji, wpadł na pomysł obligacji rządowych, które zamiast płacić odsetki, byłyby losowo wybierane do nagród pieniężnych. GPO opracowało maszynę do przeprowadzania tych wyborów, zbudowaną z odzyskanych komponentów wojennej maszyny deszyfrującej Colossus — praktyczny wybór, który miał również przyjemne metaforyczne konotacje odmiany mieczy na lemieszce. ERNIE (Electronic Random Number Indicator Equipment) stał się uosobieniem ikony kultury masowej i odbiorcą „swojego” własnego listu fanowskiego. Jego obligacje były popularnym prezentem dla niemowląt: sposobem na kupno ich naukowej, nowoczesnej przyszłości. ERNIE nie był w rzeczywistości komputerem, działającym na właściwościach fizycznych, a nie elektronicznych, ale jego publiczna prezentacja jako tego pierwszego była istotną częścią jego roszczenia do bycia częścią prawdziwie nowoczesnego systemu obywatelstwa. Ale nie obyło się bez wyzwania; Emily Jane Roe wykazała, że istniały napięcia między prezentacją maszyny jako autonomicznie „inteligentnej” a jej odpowiedzialnością wobec ludzkich norm uczciwości oraz między urokiem jej prezentacji a jej postrzeganą naukowością. Konsumenci mogli również kupić telewizory. Podczas gdy całe ulice gromadziły się wokół pojedynczych zestawów, aby oglądać koronację Elżbiety II w 1953 r., w latach 60. wiele gospodarstw domowych posiadało jeden z nich. W związku z tym długie lata 60. były świadkami narodzin nauki w telewizji i, co za tym idzie, znacznego spadku liczby filmów naukowych non-fiction. Autor przewodnika po nauce na Festival of Britain, Jacob Bronowski, stał się ważną publiczną twarzą nauki w telewizji. Inne postaci naukowe — zarówno indywidualnie, jak i instytucjonalnie — nadal kwestionowały autonomię BBC w określaniu, jaki rodzaj nauki przedstawiać, tak jak czyniły to podczas wojny. Ale BBC pozostało nieugięte, aktywnie dyskutując o tym, jaki powinien być jej program i zasady, i trzymając się ich. „[A]by ufundować naszą politykę, stanowczo postanowiliśmy, że nadawanie nauki będzie w rękach nadawców”. BBC eksperymentowała z szeroką gamą tematów, wątków i podejść w latach 50. i 60. XX wieku, a dwa z jej najdłuższych trwających seriali (w dowolnym gatunku) powstały w ostatniej dekadzie. Technofilski aspekt Festival of Britain zyskał trwałe istnienie w postaci Tomorrow’s World (1965–2003), chociaż w latach 80. program rozwinął skomplikowany tryb autokrytyki, a widzowie rozkoszowali się urządzeniami, które były szczególnie niewiarygodne lub, co lepsze, niesprawne. Bardziej poważny pokaz natury (a nie technologii) zapewnił Horizon (1964–obecnie). Porzucił on zasadniczo oparty na wykładach format prezenterów na ekranie na rzecz niewidzialnego narratora i wyboru gadających głów, i wprowadził silną narrację skoncentrowaną na widzu, zabierając publiczność w podróż odkryć i ujawnień. Oprócz przekazywania wiedzy naukowej dorosłym, programy te były prawdopodobnie jeszcze ważniejsze w przekazywaniu wiedzy naukowej naukowcom w trakcie powstawania, włączając młodych ludzi do plemienia nauki. Telewizyjna historia naturalna współewoluowała z praktykami ogrodów

zoologicznych w drugiej połowie XX wieku, skupiając się (na różne sposoby) na ochronie przyrody. London Zoo, ograniczone swoim pierwotnym układem, pozostawało daleko w tyle za rywalami na całym świecie pod względem naukowej prezentacji swojej kolekcji, czy to pod względem klasyfikacji, czy biogeografii. Jednak dołączyło do nich w drugiej połowie XX wieku, czyniąc ochronę przyrody jej racją bytu i przesłaniem edukacyjnym. Standardowa tablica informacyjna na temat danego gatunku obecnie zazwyczaj podaje takie informacje, jak wielkość, lokalizacja, liczba potomstwa i kończy się na zagrożeniu ze strony człowieka. Programy adopcyjne, zapoczątkowane przez London Zoo podczas II wojny światowej, niosą teraz moralne uznanie za osobiste ratowanie gatunku. Najwcześniejsze programy telewizyjne Davida Attenborough nawiązywały do wcześniejszej ery ogrodów zoologicznych i były w rzeczywistości tworzone we współpracy z London Zoo, patronem dwóch pierwszych serii Zoo Quest (1955–1961) i częściowym sponsorem trzeciej. Programy te były niezwykle wiktoriańskie w swoich narracjach o odkrywaniu i łapaniu oraz w ich włączaniu ludzi żyjących w swoich strefach biogeograficznych. W 1956 r. London Zoo przeniósło swoją lojalność na komercyjną firmę telewizyjną Granada, produkującą program Zoo Time. Ten, podobnie jak poprzednik z USA Zoo Parade (1950–1957), ograniczał się do materiałów krajowych.

Później w tym stuleciu, gdy ochrona środowiska wysunęła się na pierwszy plan, stało się normalne pokazywanie przyrody w telewizji jako „nieskazitelnej”, bez ludzkich odcisków palców. (To słowo było nadal szeroko używane w materiałach promocyjnych wystawy fotograficznej Sebastião Salgado Genesis w Muzeum Historii Naturalnej w 2013 r.). Tak więc najbardziej pamiętny moment przełomowego serialu BBC z 1979 r. Życie na Ziemi — prawdopodobnie punkt kulminacyjny całego serialu — nastąpił, gdy Attenborough na chwilę przekroczył tę granicę, fizycznie dotykając goryla i spekulując na temat kondycji ludzkiej i naszego miejsca w królestwie zwierząt. Utrzymując rozróżnienie między ludźmi a naturą, serial BBC Frozen Planet z 2011 r. ograniczył dyskusję na temat zmian klimatycznych do ostatniego odcinka, który ponadto został uczyniony opcjonalnym dla zagranicznych nadawców po syndykacji. Wyjątkiem od tej nietkniętej ludzką ręką prezentacji jest włączenie funkcji „making-of” w większości telewizyjnych seriali przyrodniczych i towarzyszących im płyt DVD, sięgających aż do Życia na Ziemi. Te dodatki pełnią funkcję podkreślania umiejętności twórców programów i w tym sensie przynajmniej przypominają dumnie świadome siebie programy naukowe z połowy XIX wieku. Z drugiej strony, poprzez swoją niespójność i humor, ponownie podkreślają dystans między technologią a naturą. Mogłoby się wydawać, że impuls ochrony pokazów w ogrodach zoologicznych, oparty na zagrożeniach dla bioróżnorodności ze strony człowieka, jest sprzeczny z nieskazitelnym pokazem natury w telewizji. Można je jednak postrzegać jako dwie strony tej samej monety. W obu przypadkach „natura” jest z definicji nieskazitelna — części świata, które nie mają nic wspólnego z ludźmi. Ludzie są zewnątrz wobec natury, co oznacza, że mogą być z niej oddzieleni (jak w telewizji) lub stanowić dla niej raczej powierzchowne i rozpuszczalne zagrożenia (ogrody zoologiczne). Tak czy inaczej, nie jest to obiecujący model dla złożonych interakcji nieorganicznych i organicznych, natury i kultury, które tworzą nasz świat, ani dla problemów, z którymi się mierzy. Częściowo przez okres, gdy Attenborough był kontrolerem i dyrektorem kanałów BBC TV, telewizyjna nauka została zdominowana przez historię naturalną. Na całym świecie kanały National Geographic i Animal Planet, a w pewnym stopniu także Discovery, transmitują takie treści. Inne obszary telewizyjnej nauki są uzupełniające: głównie relacje z klęsk żywiołowych i technologii. Wysokiej jakości programy naukowe dla dorosłych są głównie domeną kanałów publicznych (telewizji i radia). Telewizja nie pozbyła się książek o nauce; w rzeczywistości błyszczące tomy były i są produkowane jako dodatek do spektakularnych serii naukowych, szczególnie tych dotyczących historii naturalnej. Książki jednak od dawna przestały być kanałem rozpowszechniania nowych badań lub teorii. Możliwym wyjątkiem od tej reguły byłaby biologia; Socjobiologia i — w mniejszym stopniu — Samolubny gen były uważane za ogólne zapowiedzi nowych perspektyw. Krótka historia czasu Stephena Hawkinga była sensacją

wydawniczą, chociaż notorycznie częściej pozostawiano ją w domach, aby goście mogli ją zauważyć, niż faktycznie czytano. Książki naukowe, podobnie jak programy telewizyjne o tematyce naukowej, znów stały się modne w XXI wieku, regularnie goszcząc na listach bestsellerów, a ich oferta jest szersza i bogatsza niż w ciągu ostatnich kilku dekad — a może nawet od XIX wieku.

## **Nauka 2.0**

Pomimo ciągłej obecności nauki w telewizji, masowym medium par excellence końca XX wieku, naukowcy poczuli się atakowani. Lata 50. i długie lata 60. były ogólnie postrzegane jako okres miesiąca miodowego dla nauki, wspierany przez rząd i opinię publiczną. Jednak pod koniec tego okresu, w latach 70. i 80. naukowcy zauważyli, że ich finansowanie zmniejszyło się, a ich status kulturowy zmniejszył się, a utalentowani naukowcy wyjechali za granicę. Nie mając pojęcia o mediach, skierowali swoje wysiłki propagandowe dość nieskutecznie w stronę rządu (jak badali na przykład Neil Calver i Ralph Desmarais). W 1985 r. zlecony przez Royal Society raport Bodmera stwierdził, że konieczne jest lepsze zrozumienie nauki przez opinię publiczną, z powodów od idealistycznych (nauka jako osiągnięcie kulturowe) po pragmatyczne (wykształcona siła robocza; wymagający wyborcy i konsumenci). Komitet ds. publicznego zrozumienia nauki (COPUS), utworzony w następnym roku jako wspólna inicjatywa RI, British Association for the Advancement of Science i Royal Society, zapewnił finansowanie i nagrody za inicjatywy komunikacyjne. Został on wzmocniony przez finansowanie rządowe od 1993 r., a od 1995 r. Rady ds. Badań Naukowych zostały obciążone zadaniem zwiększania publicznego zrozumienia nauki jako części swoich kompetencji. COPUS nie jest ogólnie postrzegany jako organizacja, która wykonała dobrą robotę, mając tendencję do postrzegania społeczeństwa jako ignoranta, zakładając, że problem stanowił brak wiedzy faktycznej (a nie zrozumienie, jak działa nauka) i że większa wiedza faktograficzna automatycznie i bezkrytycznie skutkowałaby większym szacunkiem dla nauki. Różnorodne konkursy dotyczące wiedzy przyrodniczej w latach 90., w które uwikłani byli naukowcy, władze i konsumenci, pomogły skupić się na kwestiach będących przedmiotem sporu. W północnej Europie pojawiły się pytania o długoterminowe skutki dla bezpieczeństwa wybuchu w Czarnobylu (1986); w całej Europie, ale szczególnie w Wielkiej Brytanii, toczyła się debata na temat ludzkiej zaraźliwości gąbczastej encefalopatii bydła; a na całym świecie szybko rosły możliwości manipulacji genetycznych. W USA wystawa Smithsonian Science in American Life (1994) spowodowała, że Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne, między innymi, skarżyło się na „głębokie przerażenie” z powodu „przedstawienia nauki, które trywializowało jej osiągnięcia i wyolbrzymiało wszelkie negatywne konsekwencje”. London Science Museum straciło dotację na bezpłatne wizyty; w ciągu trzech lat od 1987 r. roczna liczba zwiedzających spadła z regularnie ponad trzech milionów do nieco ponad miliona. Wraz z tym sceptycyzmem lat 90. rozwijała się nowa platforma technologii komunikacyjnej, która miała charakteryzować następane stulecie: Internet. Pierwszym medium internetowym była sieć, która weszła do powszechnego użytku około połowy lat dziewięćdziesiątych, dokładnie w tym samym czasie, co te debaty. Dla zwolenników pewnego rodzaju nauki wydawało się to idealną burzą. Homeopatia, feng shui i samoleczenie rządziły; rozkwitły fora i tablice dyskusyjne poświęcone teoriom spiskowym i fałszywym informacjom. Sieć, gdzie wszystkie opinie (w swoich początkach) miały równą platformę, wydawała się ucieleśniać kryzys kulturowy nauki.

Zawód lekarza szybko zaczął dostosowywać się do tych alternatywnych źródeł informacji, tworząc własne autorytatywne przewodniki medyczne (czy to od komercyjnych, czy państwowych dostawców opieki zdrowotnej) i zachęcając lub przynajmniej tolerując internetowe społeczności pacjentów, które wykonywały miękka część opieki medycznej (dzielenie się doświadczeniami i zachęta). Jednak możliwość udziału społeczeństwa w badaniach pierwszej linii lub nawet ich czytania pozostawała całkowicie wykluczona. Smutny przypadek Andrew Wakefielda z jego niepotwierdzonymi i epidemiologicznie niebezpiecznymi pomysłami na temat szczepień był bezwzględnie używany przez

następne piętnaście lat jako pałka, którą można było pokonać nieekspertów uczestniczących w nauce. Komercyjne organizacje naukowe, w szczególności firmy farmaceutyczne i petrochemiczne, pozostały poza radarem. Chociaż pojawiły się krytyki ich produktów i praktyk biznesowych, ich badania pozostają w dużej mierze niewidoczne. Brytyjski dziennikarz naukowy Ben Goldacre prowadził długotrwałą kampanię, aby dostosować je do idealistycznych norm nauki, w szczególności w celu zobowiązania Big Pharma do publikowania wyników neutralnych lub negatywnych badań leków, zamiast wybierania do publikacji tylko pozytywnych. Tymczasem duże, non-profitowe instytucje badawcze (uniwersytety, CERN, NASA itp.) zostały zmuszone do wzmocnienia swoich działów PR, aby zdominować media, które w przeciwnym razie mogłyby zostać zalane relacjami innych osób na temat ich pracy — lub, co gorsza, w ogóle o nich nie wspomnieć. Pomimo skarg na „błędne przedstawianie” w mediach, wiele artykułów prasowych na temat najnowszych odkryć jest niemal dosłownie zaczerpniętych z ich komunikatów prasowych. Nadal jesteśmy na wczesnym etapie rozwoju mediów internetowych i pozostaje otwarte pytanie, w jakim stopniu ich wykorzystanie zmieni miejsce nauki w szerszej kulturze i relacje ogółu społeczeństwa z nauką. Pierwsza dekada XXI wieku przyniosła pewne przyjęcie nauki przez pewien sektor młodych, modnych i wykształconych, chociaż jest za wcześnie, aby powiedzieć, czy będzie to trwały trend. W Wielkiej Brytanii popularni komicy, tacy jak Bill Bailey i Dara O’Briain, czynią naukę częścią swojego biznesu (ten drugi prowadzi swój Klub Naukowy w BBC2). Dla tych ogólnie liberalnych komików i ich widzów nauka funkcjonuje jako kulturowy bastion przeciwko neokonserwatywizmowi (zwłaszcza negowaniu zmian klimatycznych) i fundamentalizmom zarówno chrześcijańskim, jak i muzułmańskim. Brytyjskie i australijskie „Bright Clubs” przyciągają podobną publiczność („bright” zostało wymyślone jako fakultatywna alternatywa dla „ateisty”) na komediowe i naukowe dyskusje — przypominają one nieco oddolny (ale niekomiczny) ruch Café Scientifique, zapoczątkowany w Leeds w 1998 roku. Nauka jako osiągnięcie dekoracyjne była promowana dzięki swojej widoczności w sztukach pięknych od lat 90. XX wieku. Przedstawienia natury w ten sposób tworzone wahały się od przerażających do czułych, od konfrontacyjnych do eleganckich. Ogromne sponsorowanie przez Wellcome Trust przedsięwzięć związanych ze sztuką/nauką (a ostatnio przez Google za pośrednictwem Global Science Gallery Network) zapewniło przydatne wsparcie i widoczność dla sztuki/nauki, ale może być w niebezpieczeństwie podporządkowania jej celebryckiej agendzie komunikacji naukowej. Na lżejszym końcu spektrum nauki, grupa na Facebooku I fucking love science osiągnęła prawie dziesięć milionów „polubień” w 2013 roku, a naukowcy tworzą obsadę (2007–) amerykańskiego sitcomu Big Bang Theory — gatunku, w którym sympatia do głównych bohaterów i identyfikacja z nimi są uznawane za niezbędne komercyjnie. Ogólnie rzecz biorąc, termin „geek” został odzyskany jako oznaka honoru dla tego rodzaju odbiorców. Pierwotnie łączony ze wszystkim, co komputerowe, geekdom stał się modny w tandemie z konsumenckim uznaniem, przede wszystkim, urządzeń Apple. Nauka jechała po jego poślach, z wszelkiego rodzaju koszulkami i kubkami dostępnymi do kupienia w celu członkostwa w plemienu geeków i kwitnącą subkulturą tatuaży naukowych/technicznych. Jednym z szeroko omawianych zjawisk internetowych jest pojęcie „nauki obywatelskiej”, w ramach którego zwykli ludzie wnoszą swoje obserwacje do projektów badawczych na dużą skalę lub pracują nad analizą dużych zbiorów danych, takich jak projekt klasyfikacyjny Galaxy Zoo. Może to być niewątpliwie zabawne i może służyć jako wprowadzenie do nauki, ale dla historyka może się to wydawać niewiele więcej niż wymyślną nazwą czegoś, co trwa od stuleci. Można by powiedzieć, że Darwin pozyskiwał swoją naukę od społeczności korespondentów wysyłających mu okazy i obserwacje; to po prostu to samo, co ułatwiane jest za pomocą różnych mediów. Można również sceptycznie kwestionować stopień uczestnictwa w nauce obywatelskiej. Naukowcy obywatelscy wypełniają postawione im zadania, ale trudno sobie wyobrazić okoliczności, w których mogliby faktycznie być uprawnieni do krytykowania programu badawczego lub ustalania nowego. Przeważnie zapewniają tanią lub bezpłatną podstawową siłę roboczą. Pojawiające się schematy otwartego dostępu, udostępniające bezpłatnie opublikowane badania, mogą umożliwić ten poziom zaangażowania w teorii; pozostaje pytanie, czy stanie się to w

praktyce. Crowdfunding jest obecnie reklamowany jako ważny ruch, który może umożliwić publiczne kierowanie badaniami, w ramach którego naukowcy pozyskują środki na swoje badania ze źródeł publicznych. Badania mają miejsce tylko wtedy, gdy społeczeństwo głosuje portfelami. O tym mówi się znacznie więcej niż się to faktycznie praktykuje, a kwoty pieniędzy są niewielkie w porównaniu z pełnymi kosztami ekonomicznymi poważnych badań. Kilka historii sukcesu, które można wyróżnić, pokazuje, jak niezwykle jest to zjawisko, wymagające ogromnych umiejętności manipulowania nowymi mediami. O crowdfundingu często i zrozumiale mówi się w kręgach techentuzjastów, w tym niektórych wybitnych rzeczników, którzy lubią sobie wyobrażać, że osobiście uosabiają demokratyczną masę Internetu. W ich dyskursie crowdfunding umyka praktyce „inwestowania aniołów”, w ramach której bogata elita technologii internetowych ryzykuje swoimi osobistymi i firmowymi zasobami w firmach technologicznych typu start-up. Ci ludzie zajmują niezwykle silną pozycję, aby promować swoje definicje nauki i technologii oraz swoją tożsamość społeczną; jedną z instytucji, która ich uosabia, jest TED. TED to skrót od Technology, Entertainment, Design, a zaczęło się jako konferencja, na której twórcy z tych dziedzin mogli zaprezentować swoje pomysły innym praktykom i, co najważniejsze, inwestorom. Od czasu, gdy w 2001 r. kupił ją wydawca Chris Anderson, który sam się dorobił, TED rozrastał się i rozrastał, osiągając obrót w wysokości trzydziestu milionów dolarów w 2010 r. Pod kierownictwem Andersona tematy poruszane przez mówców TED znacznie się poszerzyły od ich pierwotnego zakresu, obejmując nauki ścisłe i sztukę. Być może największym triumfem TED jest sposób, w jaki udaje mu się połączyć niezwykle ekskluzywność z mitem otwartości. Udział w głównej konferencji w 2013 r. kosztował co najmniej 7 500 USD; zostanie patronem TED kosztowało 125 000 USD w ciągu pięciu lat. Jest to okazja do nawiązywania kontaktów o najwyższym stopniu ekskluzywności. Jednak w 2006 roku TED rozpoczął bezpłatne transmisje internetowe swoich wykładów, ogłaszając miliardowy wyświetlenie w listopadzie 2012 roku. Publiczna dostępność wykładów TED online wzmacnia ciepłe uczucie wśród jego patronów, którzy rozkoszują się wiedzą, że kilka milionów ludzi kliknęło, aby obejrzeć mądrego i dowcipnego mówcę, którego spotkali osobiście. Publiczność, oglądając online, może oznaczyć lub wybrać wykłady TED według jednej z wielu wcześniej ustalonych etykiet — „przekonujące, odważne, pomysłowe, fascynujące, inspirujące, piękne, zabawne, pouczające” — które koniecznie potwierdzają błyskotliwość mówców i gust ich słuchaczy. Jest to pod wieloma względami interesujące odzwierciedlenie takich wczesnych instytucji XIX wieku, jak RI: przemysłowców praktykujących osobliwą mieszankę zysku i filantropii, połączonych szczerą wiarą, że wszystkie łodzie mogą zostać podniesione przez nową naukę. Podobnie jak dostawcy książek i broszur z prasy napędzanej parą, wierzą, że ich media nie są tylko mediami, ale potężnymi silnikami zmian naukowych i społecznych. Podobnie, oba zestawy inwestorów traktują naukę jako osadzoną w technologii i przedsiębiorczą, a tam, gdzie nie jest to bezpośrednio możliwe, jako kulturalne, dekoracyjne nabytki. Gdy nowa elita technologiczna wkroczy na rynki i do kultur wschodzących krajów, zabierze ze sobą swoją wizję nauki. Co oznacza „nauka” w rozwijających się krajach Indii, Chin, Nigerii, Brazylii? Czy jest to późnowiktoriański ideał bezinteresownej wiedzy, utrwalony przez cały XX wiek, czy coś bliższego temu, co wyobrażało sobie Towarzystwo Zachęty Sztuk, Wytwórczości i Handlu? Komunikacja „natury”, w przeciwieństwie do hybryd natury i kultury w zakresie technologicznej sprawności, może okazać się dość krótkim i zlokalizowanym zjawiskiem historycznym, trwającym od końca XIX do końca XX wieku. XVIII-wieczna wersja komunikacji naukowej, rynek, który nie zawracał sobie głowy rozróżnianiem wiedzy o naturze od wiedzy artystycznej, może jeszcze powrócić. Z zainteresowaniem zauważamy, że nowy dodatek naukowy brytyjskiej gazety Observer ma nazywać się Observer Tech Monthly. Trudno byłoby sobie wyobrazić ten tytuł pięćdziesiąt lat temu, kiedy technologia pochodziła z nauki, a nie, jak tutaj, „tech” jako termin obejmujący wszystko, obejmujący wiedzę o naturze. Można sobie jednak wyobrazić, że George Birkbeck lub książę Albert mogliby to zaaprobować.





