

Wynalazek w starożytności

Tradycja podąża za Arystotelesem, identyfikując najwcześniejszych *physicus* jako dżentelmenów z Miletu i określając pół tuzina innych greckojęzycznych jako ich następców. W tym filo-helleńskim micie o stworzeniu żaden grecki *physicus* nie nauczył się niczego od barbarzyńcy w ciągu 250 lat między czasami najstarszego Milezyjczyka, Talesa, a Arystotelesa. Historia, że Pitagoras, jeśli istniał, zrobił to częściowo w Egipcie, sugeruje zewnętrzny wkład; a badania tekstów klinowych ujawniają naturalną wiedzę wśród Babilończyków, w niektórych aspektach bardziej zaawansowaną niż starożytni Grecy. Mimo to podstawowym kryterium, którego Arystoteles użył do zidentyfikowania swoich poprzedników, nie było to, że byli Grekami, ale to, że pokonali paraliżujący uprzedzenie. Pomimo solidnych dowodów przeciwnych wierzyli, że świat przyrody opiera się na zasadach podobnych do praw, które można odkryć za pomocą ludzkiego umysłu i które są odporne na zakłócenia lub anulowanie przez wtrącających się bogów i demony. To śmiałe odejście leży u podstaw i ogranicza wszelkie formy *physica*, filozofii przyrody i fizyki. Jego implikacje sięgają dalej niż zastąpienie kaprysu zachowaniem przypominającym prawo. Ponieważ bogowie zbyt wiernie odzwierciedlali zachowanie istot ludzkich, de-deifikacja oznaczała (mówiąc po grecku) de-antropomorfizację. Postęp fizyki nadal usuwał ludzkie dziwactwa i cechy rzutowane na naturę. W ten sposób natura, czyli świat obiektywny, utraciła nie tylko życzliwość, złośliwość i kolor, ale także takie pozornie niezbędne atrybuty, jak przestrzeń, czas i przyczynowość. Spośród czterech głównych szkół starożytnej filozofii, Arystoteles przywiązywał największą uwagę do *physica*. Mając szczególne zainteresowanie zoologią, wyprowadził swoje podstawowe zasady z myślą o klasyfikacji zwierząt. Ze względu na nacisk na *physica* i ponieważ jego filozofia dominowała w średniowieczu i później, wygoda radzi traktować ją jako normatywną. W starożytności musiała jednak konkurować z filozofiami platońskimi, epikurejskimi i stoickimi. Zazwyczaj pomieszczenia szkoły, biblioteka i inne aktywa przechodziły od założyciela do jego starszych uczniów, a być może w związku z tym szkoły nosiły nazwy sugerujące raczej nieruchomość niż naukę: Akademia (Gaj) dla platoników; Lyceum (świątynia) i Parapatos (miejsce spacerów) dla arystotelesów; Stoa (Ganek) dla stoików; i Ogród Epikura. W ciągu 800 lat od założenia Akademii w Atenach i jej ponownego założenia w Aleksandrii, cztery szkoły przeszły wiele zwrotów akcji. Kiedy działały normalnie, były forami wolnej dyskusji, takiej jak praktykowana w kręgach politycznych, ale skupiały się na studiach prowadzonych w celu samodoskonalenia, a nie w celu awansu obywatelskiego lub finansowego. Niektórzy uczniowie pozostawali w jednej szkole przez dziesięciolecia, inni próbowali każdej po kolei. Kiedy Rzymianie, tacy jak Cynceron, uczęszczali do szkół w Atenach, korzystali z tego *Lernfreiheit*. Pitagorejczycy nie założyli takiej szkoły, ponieważ nie tolerowali odstępstw od swoich doktryn i sposobu życia.

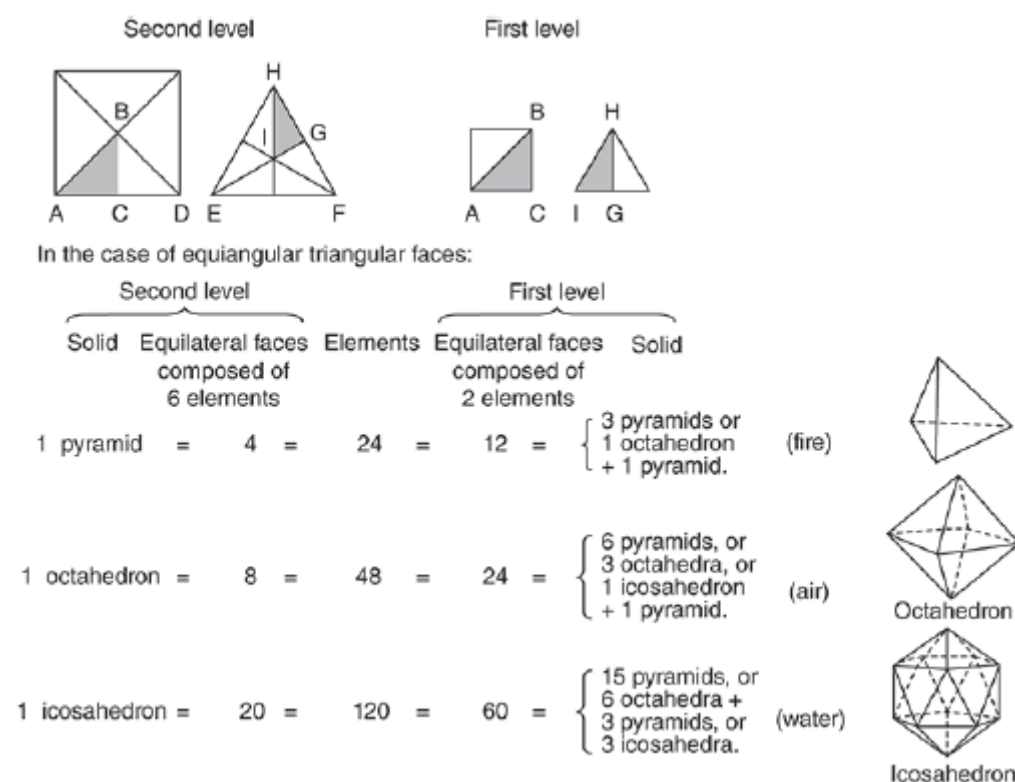
Physica

Chociaż *physica* obejmowała astronomię, zoologię i psychologię, ograniczenie zakresu do kosmologii i kosmogonii, nie jest niedopuszczalnie anachronistyczne, pod warunkiem, że uznamy, że te same zasady struktury i zmiany dotyczą wszystkich procesów naturalnych. Ta okrojona *physica* odpowiada książkom Arystotelesa traktującym o zasadach ogólnych (*Physica*), niebiosach (*De caelo*), regionie między Księżycem a Ziemią (*Meteorologica*) oraz tworzeniu i niszczeniu rzeczy na Ziemi lub w niej (*De generatione et corruptione*). Te księgi (i reszta korpusu od logiki do etyki) stały się dostępne w standardowym formacie zredagowanym około 60 r. p.n.e. z notatek z wykładów, które Arystoteles przekazał swoim następcom. Stanowią one główne części teorii wszystkiego lub, jak mówią nowocześni, TOE. Pierwsze TOE, na które wkroczył Arystoteles, należały do monistów milezyjskich. Następnie zajął się bardziej hojnymi materialistami: Leukippossem i Demokrytem, którzy dopuszczali dwie zasady - atomy i próżnię; Empedoklesem, który przyjął trzy elementy milezyjskie (wodę, powietrze, ogień) i dodał ziemię, aby dopełnić tetradę; i Anaksagorasem, który dopuszczał

nieskończoną liczbę różnych rodzajów materii. Byli też tacy, których materia w ogóle nie miała materii - szczególnie Pitagoras, dla którego liczba miała niezależne istnienie. Wywód pitagorejczyków, że musi istnieć przeciwna Ziemia krążąca naprzeciwko naszej wokół centralnego ognia (aby zwiększyć liczbę ciał niebieskich do świętej tetradys), udowodnił Arystotelesowi zarówno fałszywość ich physica, jak i nonsens, do którego mogą prowadzić liczby. Nauczyciel Arystotelesa, Platon, skłaniał się ku numerologii. Przyjął za swój materiał nie tylko matematyczne abstrakcje, ale także nadmysłowe idealizacje klas obiektów: na przykład Idee „Koń”, w której poszczególne konie „uczestniczą” mniej lub bardziej, ale zawsze niedoskonale. W konsekwencji, chociaż Platon był optymistycznie nastawiony do możliwości poznania idealnego świata i najwyższego Dobra, które uczyniło Idee i ich relacje zrozumiałymi, nie dopuszczał możliwości prawdziwej wiedzy o rzeczach tego świata. Ponieważ żadna materialna jednostka nie mogła wyrazić Idee w sposób doskonały, nasza physica nigdy nie może być inna niż rozmyta. Physica pochodzi od „physis” oznaczającego „naturę”, która według Arystotelesa „jest źródłem lub przyczyną bycia poruszonym lub bycia w spoczynku”. Co sprawia, że rzeczy się poruszają? Wcześni physici zarysowali cztery przyczyny zmiany, które Arystoteles później skodyfikował. Moniści i atomiści rozważali tylko przyczynę materialną. Empedokles i Anaksagoras zapewnili działanie, uznając niektóre zasady za aktywne, a inne za pasywne - niejasne przebiegi sprawczych przyczyn. Inni widzieli potrzebę wyjaśnienia porządku we wszechświecie zmian i zasugerowali przyczynę teleologiczną lub celową, taką jak ustalona przez kosmiczny Umysł. A Platon dostarczył czwartej przyczyny, formalnej, Idee, w której uczestniczy rzecz. Inwentarz kosmologicznych idei poprzedników dokonany przez Arystotelesa, w tym antycypacji czterech przyczyn zmian, nie był beczynną retrospekcją. Potwierdził, że nie przeoczył niczego fundamentalnego. „Ze wszystkich, którzy omawiali zasady i przyczyny, nikt nie mówił o żadnym rodzaju, poza tymi, które zostały wyróżnione w [moich] rozprawach o fizyce”. TOE Arystotelesa, w ten sposób ustanowiony jako kompletny, wykorzystuje pewne specjalne koncepcje. Substancją jest każda indywidualna rzecz. Zbiór jej właściwości stanowi jej formę, która, wbrew platońskiej idei, występuje tylko w zjednoczeniu z materią. Formę można podzielić, choć tylko mentalnie, na istotę, która sprawia, że substancja jest tym, czym jest, i przypadłości, które mogą się zmieniać bez powodowania, aby substancja zmieniła swoją istotę lub rodzaj. Esencje czterech żywiołów są łatwe do stwierdzenia: ogień jest suchy, gorący i absolutnie lekki; powietrze jest gorące, wilgotne i stosunkowo lekkie; woda jest zimna, wilgotna i stosunkowo ciężka; ziemia jest zimna, sucha i absolutnie ciężka. Żywioły mogą się przekształcać, tak jak ogień odparowuje wodę w powietrze. Sokrates może być ciepły lub zimny, ale zbyt mocno ogrzany lub schłodzony przestanie być Sokratesem. Teraz można zrozumieć stwierdzenie, że materia i esencja substancji są jej przyczynami materialnymi i formalnymi, a aktywne cechy gorąca i wilgoci są głównymi przyczynami zmian. Przyczyna ostateczna jest celem istnienia formy. Ciężkie ciała mają grawitację, aby spadać w kierunku środka świata, a lekkie ciała mają lekkość, aby wznosić się w kierunku nieba, przywracając w ten sposób porządek zakłócony przez aktywność istot ożywionych lub obroty sfer niebieskich. Sfery te oraz gwiazdy i planety, które niosą, nie mogą być wykonane z czterech elementów, których formy wymagają, aby poruszały się bez przeszkód w linii prostej w kierunku lub od środka świata. Piąty element, kwintesencja, posłuszny swoim przyczynom formalnym i ostatecznym, krąży wokół uniwersalnego centrum. Dzięki tym kilku zasadom i pewnym doraźnym korektom Arystoteles przeszedł od Umysłu Nieruchomego Poruszyciela, który, ponieważ może myśleć tylko o najbardziej wzniosłych rzeczach, może myśleć tylko o sobie, aż do umysłu człowieka, który, choć nie mniej egocentryczny niż Umysł Wszechświata, jest zmienny jak wszystko inne poniżej kwintesencji niebios. A tam, gdzie jest zmiana, nie może być pewności; najlepsze, co może zrobić physicus, to znaleźć „regułę [która] dotyczy tego, co jest zawsze prawdziwe lub prawdziwe w większości”. Kilka wniosków z przybliżonej physica Arystotelesa, które zostały poddane ciągłej analizie, da pewne wyobrażenie o jej ogólnym charakterze. Każdy ruch, czy to zmiana miejsca, koloru czy gatunku, wymaga zewnętrznego poruszyciela. W próżni dosłownie nie ma miejsca (żadnego materiału odniesienia), względem którego

ciało mogłoby się zorientować; stąd nie może być próżni. Lot strzały oznacza wir w powietrzu, który ustępuje miejsca czubkowi, a jednocześnie pcha ogon. Niejednoznaczna rola powietrza, oferującego zarówno opór, jak i napęd, stanowiła oczywistą trudność. Kolejna niezręczność wynikała z absolutnej dychotomii fizyki ziemskiej i niebieskiej. Ponieważ niebiosa nie mogą się zmieniać, przejściowe zjawiska, które wydają się tam mieć miejsce, takie jak komety i meteory, muszą mieć swoje miejsce wraz z piorunami i pogodą w regionach podksiężycowych. Nic jednak nie jest bardziej oczywiste niż to, że Słońce wpływa na pogodę. W jaki sposób? Czasami Arystoteles pisał tak, jakby myślał, że Słońce jest gorące, co naruszałoby jego zakaz dotyczący ziemskich cech na niebie. Częściej przypisywał sezonowe moce Słońca jego corocznej rewolucji, która wraz z toczeniem się kwintesencji sfer nieustannie miesza regiony podksiężycowe. Zaburzenia te powodują, że wilgotne i suche opary unoszą się z Ziemi. Opady powstają z wilgotnego wydechu, wiatry z suchego. „Ta sama substancja jest wiatrem na ziemi, a trzęsienia ziemi pod nią, a w chmurach grzmi”. Błyskawice i grzmoty to suche wyziewy, które wyrwywają się z chmur. Tęcza jest odbiciem chmur. Arystoteles nietypowo opisał ją geometrycznie: Słońce, oko obserwatora i środek łuku leżą na linii prostej, która nie może przekroczyć pewnego kąta z horyzontem. Ten faktoid miałby długą i wpływową historię. Pomimo ciągłego działania przyczyn celowych, świat nie jest w idealnym porządku. Tarcie obracającej się sfery księżycowej na nieruchomym obszarze ognia pod nią powoduje takie anomalie, jak ogniste meteory w powietrzu, góry nad poziomem morza i woda pod ziemią. Jednak w szerszej perspektywie wszechświat przypomina cebulę. Obrona od zewnątrz do wewnątrz odśladania gwiazdy stałe, planety i ciała niebieskie w konwencjonalnej kolejności Saturn, Jowisz, Mars, Słońce, Wenus, Merkury i Księżyc, a w niewielkim nieładzie żywioły ogień, powietrze, woda i ziemia. Co jest na zewnątrz skórki? Tutaj analogia do cebuli zawodzi. Nie ma tam dosłownie niczego. I tak jak nie ma żadnej przestrzeni, która nie obejmowałaby widzialnego wszechświata, tak też nie ma czasu, w którym ona nie istniała. Obraz świata Arystotelesa nie miał zatem stwórcy. Podobnie było z teorią atomową Demokryta, który mimo wszystko przedstawił historię stworzenia widzialnego wszechświata. Zaczęło się, gdy niektóre atomy odbijające się w nieskończonej pustce przypadkowo utworzyły wielki wir. Największy spadł do środka, tworząc Ziemię. Z tego, co pozostało, wirowanie wytworzyło powietrze, światła, planety i gwiazdy. Chociaż ta sama nudna substancja tworzy wszystko, nasze systemy sensoryczne mogą budować bogate obrazy z jej niewielu właściwości — rozmiaru, kształtu i ruchu jej składowych atomów. Epikur dodał spontaniczny „odchylenie”, aby wyjaśnić, w jaki sposób atomy, spadające równolegle przez pustkę, czasami zderzają się i łączą świat. Według niego dusza może wykorzystać odchylenie, aby wybrać dobre życie w inaczej bezsensownym wszechświecie. Ponieważ epikurejczyk nie musiał bać się bogów w tym życiu ani niczego w następnym, mógł uznać umiarkowane korzystanie z ciała i swobodne zatrudnienie umysłu za największe dobra. Nieuchronna erozja wszelkiej zdrowej doktryny przekształciła trzeźwe szczęście Epikura w egoistyczny hedonizm. Podczas gdy atomiści dopuszczali tworzenie wielu światów w przestrzeni i czasie poprzez losową akrecję ich części, stoicy zakładali, że pojedynczy kosmos, który uznawali, geocentryczny jak Arystotelesowski, jest naprzemiennie niszczone i odtwarzany. Zamiast odrębnych atomów stoicy umieszczali ciągłą materię pierwszą; a zamiast uderzeń i zgrzytów „pneumę”, samoporuszający się elastyczny związek ognia i powietrza, który nadaje materii jej spójne i inne właściwości. Ścisła przyczynowość obowiązuje wszędzie, gwarantowana i realizowana przez przestrzenną ciągłość pneумы. System ten wydaje się zdecydowanie wykluczać wolną wolę. Ale ponieważ etyka wymagała swobodnej akceptacji losu i przygotowania psychicznego niezbędnego do jego sprostania, stoicy musieli znaleźć sposób na obejście ścisłej przyczynowości swojej fizyki. Ich rozwiązanie nie było bardziej prawdopodobne niż epikurejski zjazd. Jako alternatywa dla ścisłego atomizmu, stoicka koncepcja wypełniającego przestrzeń, aktywnego, elastycznego ducha miała jednak przyszłość. W przeciwieństwie do perypatetyków z ich niezmiennym, niestworzonym kosmosem oraz atomistów i stoików z ich losowymi i cyklicznymi światami, akademicy mieli pełną kosmogonię, ze stwórcą, jak również historią stworzenia. Jak opowiadał ustnik Platona, matematyk Timajos z Lokrydy, Demiurg,

który stworzył królestwo Idei, wykorzystał to, co mu pozostało po rozłożeniu równika niebieskiego i ścieżek planet, aby wytworzyć ludzkie dusze. Wysłał je do gwiazd w królestwie Idei, aby oczekiwały na zasadzenie w ciałach stworzonych przez pomniejszych bogów, którym przydzielił zadanie stworzenia rozsądnego świata. Pod koniec życia racjonalna dusza powraca do swojej gwiazdy, jeśli jej ludzki posiadacz przeżył dobre życie; jeśli nie, dusza reinkarnuje się w mniejszej istocie. Nasze zwierzęce części służą jedynie do tego, aby nasza głowa, siedziba naszego rozumu, nie turlała się po ziemi. Właściwie używana, nasza racjonalna dusza może doprowadzić nas poprzez obserwację ruchów ciał niebieskich do odkrycia liczby, czasu i harmonii oraz do kontemplacji Idei. Możemy wówczas dostrzec, że Idee czterech żywiołów i kwintesencji są powiązane z matematyką pięciu regularnych brył. Płaskie ściany trzech z nich (czworościanu, oktawy i dwudziestościanu) są trójkątami równobocznymi, a w konsekwencji odpowiadające im żywioły (ogień, powietrze i woda) są wzajemnie zamienialne.



Pozostałe dwa, sześciąt i dwunastościan, są „Ideami” Ziemi i wszechświata jako całości. Nie powinniśmy naciskać na oczywiste trudności. Mniejsi bogowie, którzy stworzyli świat materialny, nie byli całkowicie kompetentni. „[W]łaściwe jest, abyśmy w tych sprawach zaakceptowali prawdopodobną historię i nie szukali niczego dalej”.

Światy rzymskie

Chociaż zagraniczni studenci z Rzymu dodali niewiele godnego uwagi do greckiej physica, wiele z niej przekształcili w przydatne streszczenia i kompendia. W ostatnich latach Republiki Lukrecjusz zinterpretował wersyfikowany atomizm Epikura. Za panowania Cezara Augusta poeta Owidiusz umieścił pitagoreizm w swoich Metamorfozach. Za panowania cesarza Nerona Seneka skomponował meteorologię opartą na zasadach stoickich - przerwana, niestety, przez zaproszenie Nerona (którego Seneka nie mógł odrzucić) do popełnienia samobójstwa. A w latach poprzedzających fatalną inspekcję Wezuwiusza podczas jego erupcji w 79 r. n.e. Pliniusz Starszy wcisnął do jednej z trzydziestu siedmiu ksiąg swojej Historii naturalnej jakościowy przegląd świata przedstawiający Boga nieskażonego handlem z ludźmi; naturalistyczny opis meteorów, komet i zaćmień obliczony na uwolnienie ludzkości

od strachu przed mniejszymi bogami; kilka aluzji do atomizmu i stoicyzmu (physica przypadku i konieczności); i kilka taktów z pitagorejskiej muzyki sfer. Lukrecjusz rozpoczyna swój poemat zwyczajowym przywołaniem muzy, w tym przypadku Wenus, po czym nieuprzejmy oznajmia, że jego wielkim celem jest odsunięcie jej i wszystkich innych bogów od ludzkich trosk. Atomy igrające w nieskończonej pustce podążają za prawami konieczności, pomijając okazjonalne niezrozumiałe zboczenia, które nadają światu spontaniczność i wolność woli. Żadna zewnętrzna agencja nie może zakłócić tego procesu. Choćbyś był niczym innym, jak przypadkowym skupiskiem bzyzcących cząsteczek, bądź radosny, poddaj się losowi i nie bój się bezsilnych bogów. Wykład doktryny pitagorejskiej, który Owidiusz wcisnął do swojego katalogu istot, które przekształcają się w bestie, traktuje tylko krótko physica założyciela, jego nauki o

Pochodzeniu wielkiego świata, przyczynie rzeczy | czym jest natura, jaki bóg i skąd śnieg | co powoduje błyskawice, czy grzmoty nadchodzą | z Jowisza czy z wiatrów, gdy chmury się rozchodzą | dlaczego ziemia się trzęsie, jaka broń kontroluje | biegi gwiazd.

Większość relacji Owidiusza na temat myśli pitagorejskiej dotyczy metempsychozy i wegetarianizmu, wiary i praktyki nierozzerwalnie ze sobą powiązanych. Jeśli dusze wędrują, jak możesz stwierdzić, czy twój wół, twój wierny brat przy pługu, nie był w rzeczywistości twoim zmarłym bratem? Ta zdrowa nauka trafiła w próżnię. Owidiusz to przyznał; Seneka, pisząc pół wieku później, doniósł, że potencjalni pitagorejczycy nie mogli znaleźć nauczyciela. Ale to, według Seneki, jedynie odzwierciedlało smutny stan, w jakim filozofia ogólnie popadła: „Wiele linii filozoficznych wymiera bez następcy”. Jego *Natural Questions*, próba ożywienia stoickiej physica, zrekonstruowała meteorologię Stoa i Lyceum, aby odpowiedzieć na pytania, których rozwiązanie Owidiusz przypisał Pitagorasowi — przyczyny wiatru i pogody, grzmotów i błyskawic oraz trzęsień ziemi. Były to standardowe problemy w physica od czasów Talesa. W meteorologii Seneki silne wiatry, grzmoty i trzęsienia ziemi są eksplozjami wcześniej ograniczonego pneuma. Zrywając ze stoickim autorytetem, zapisał komety, słynące ze złej sławy, wśród planet i bawił się możliwością, że ich codzienne ruchy, a także ruchy gwiazd w ogóle, wynikają z obrotu Ziemi, a nie z obrotu sklepienia niebieskiego. Jak sugeruje jego umiejscowienie komet, wzajemne powiązanie wypełniającej przestrzeń aktywnej pneumy stoików zniszczyło barierę między niebem a Ziemią charakterystyczną dla kosmologii Arystotelesa. Seneka nadymał swoją meteorologię moralnymi refleksjami, które wydają się być jej przyczyną i skutkiem. Jeśli nie zbadasz materialnego fundamentu świata i natury jego twórcy lub opiekuna, lub nie zastanowisz się, czy nadal tworzy (jeśli kiedykolwiek to robił), czy przeszedł na emeryturę, czy myśli tylko o sobie i czy może zmienić los, zniewalasz się wyłącznie przez ludzkie sprawy. Życie nie byłoby warte swojego bólu i cierpienia, gdyby nie okazała się do nauczenia się, że natura, los, świat, opatrność i Bóg to różne nazwy tej samej rzeczy; że Bóg nie stworzył świata wyłącznie dla istot ludzkich; że życie jest wyrokiem śmierci, a filozofia, rozpraszając strach przed śmiercią, jest jedynym zdrowym sposobem, aby pogodzić się z losem. Wymowne połączenie przez Senekę moralizatorstwa i meteorologii sprawiło, że „Pytania natury” stały się autorytetem w dziedzinie problemów fizycznych, którymi się zajmowały przez większą część łacińskiego średniowiecza. Gdyby dialog Plutarcha o znakach na Księżycu nie doznał zaćmienia trwającego piętnaście stuleci, stoicyzm Seneki stanąłby w obliczu żwawego wyzwania w czasach średniowiecza. Plutarch postawił pytanie, które wprowadziło w zakłopotanie kilka starożytnych systemów: dlaczego nie widzimy obrazu Słońca na Księżycu tak, jak widzimy go na morzu? Ponieważ odpowiedź zależy od wiedzy o składzie Księżyca, matematycy nie mogli na nie odpowiedzieć. Co zatem mieli do powiedzenia fizycy? Plamkowata powierzchnia Księżyca pokazuje, że model perypatetyczny Księżyca jako czystej kwintesencji jest nonsensem. Pogląd stoicki — że jest on zrobiony z pewnego rodzaju pneumy - jest gorszy, ponieważ powietrze i ogień nie mogą odbijać promieni wizualnych. Model Platona, który daje Księżycowi skalistą powierzchnię, która zachowuje się tak, jakby składała się z wielu losowo zorientowanych lusterek, jest najlepszą opcją. Co zatem powstrzymuje skalisty Księżyc przed

spadnięciem na Ziemię? „[P]rędkość jego obrotu, tak jak pociski umieszczone w procach są powstrzymywane przed spadnięciem, gdy są wirowane w kółko”. Co utrzymuje go blisko Ziemi? Dosłowne prawo natury: „pozycja Ziemi wywiera działanie przeciwko Księżycowi i jest on prawnie przypisywalny na mocy prawa pokrewieństwa i pokrewieństwa do rzeczywistej i osobistej własności Ziemi”. Czy Księżyc jest zamieszkały? Bardzo prawdopodobne, ale przez istoty tak różne od nas, jak my od ryb, a także przez bezcielesne dusze oczekujące na swoje kolejne wcielenie. Pomysły Plutarcha na temat Księżyca, pomijając jego metempsychozę, powtarzają się u Galileusza i Keplera. Podczas filozoficznego kryzysu wspomnianego przez Senekę, Akademia Platońska nie istniała. Doszła do tymczasowego końca podczas rzymskiego podboju Aten w 86 r. p.n.e. po okresie intensywnego sceptycyzmu co do możliwości osiągnięcia jakiegokolwiek pewnej wiedzy o czymkolwiek. Odrodziło się w 410 r. n.e. z programem nauczania opartym na „neoplatonizmie”, wymyślonym w Rzymie przez Plotyna, który zmarł w 270 r. n.e. i usystematyzowanym przez jego ucznia, Porfiriusza. Plotyn nie był sceptykiem. Jego pewne spekulacje wznosiły się ponad Demiurga, którego zatrudnienie jako twórcy, nawet jeśli tylko racjonalnego świata i pomniejszych bogów, wydawało mu się nie do pogodzenia z zajęciem szczytu boskiej piramidy. Jak Demiurg odnosił się do nieprzekraczalnego Boga lub Dobra, którego Platon postawił na czele wszystkiego? Plotyn odpowiedział, że Bóg stoi nieruchomo na czele łańcucha stworzonych i tworzących „emanacji”. Pierwsza z tych emanacji, Intelkt, zawiera Idee; druga, Dusza, zawiera Naturę; następna jest Demiurg. Platon nie dostarczył wielu informacji o świecie przyrody stworzonym przez współpracowników Demiurga, a jego teza, że nie możemy wiedzieć takich rzeczy w zasadzie, powstrzymała rozwinięcie sugestii Timajosa o wielościanach. Tak więc neoplatonizm zaszczepił *physica* Arystotelesa jako swój opis widzialnego wszechświata stworzonego przez półbogów zatrudnionych przez Demiurga. Inna fuzja zasymilowała najwyższe moce neoplatońskie — Jedność, Intelkt i Duszę Świata — z chrześcijańską Trójcą. W ortodoksyjnym chrześcijaństwie Bóg nie zatrudniał wikariusza w swoich dziełach twórczych. Jednak kilka chrześcijańskich sekt, które nadal konkurowały w IV wieku, nauczało, że Bóg Ojciec stworzył tylko istoty duchowe, z których jedna, Jehowa, przerwała łańcuch duchowych emanacji i zmaterializowała swoich następców. Neoplatonizm był wiodącą filozofią, a jej współtwórca Porfiriusz najsukcesywniejszym krytykiem chrześcijaństwa w późnym cesarstwie. Jego przeciwnicy, architekci chrześcijaństwa, którym zależało na standaryzacji wierzeń, stanęli przed wyzwaniem harmonizacji rozbieżności między czterema kanonicznymi ewangeliami, wyjaśnienia zła w stworzeniu dobroczynnego bóstwa i zdefiniowania relacji między Osobami Trójcy. Najbardziej abstrakcyjne z ich zagadek prawdopodobnie nie mogłyby zostać wymyślone bez języka i pojęć arystotelesowskiej *physica* i neoplatońskiej filozofii.

Zastosowania

Spekulacje *Physici* były mniej przydatne dla książąt niż porady matematyków stosowanych. Największy z nich wszystkich, Archimedes, pracował dla tyrańcy Syrakuz. Chociaż obecnie najbardziej znany jest z wykrycia fałszywej korony i legendarnych wyczynów w obronie Syrakuz, Archimedes wolał być zapamiętany w sposób *physicus*, jako liberalny artysta. Według Plutarcha uważał swoje praktyczne osiągnięcia za „zwykłe akcesoria geometrii praktykowane dla rozrywki” i „każdy akt, który służy potrzebom życia, za niegodny i wulgarny”. Plutarch dodał, że Platon upomniał dwóch zdolnych matematyków, Eudoksosa i Archytasa, za to, że zwrócili swoje ręce ku rzeczom praktycznym i stali się „deprawatorami i niszczycielami czystej doskonałości geometrii”. W przeciwieństwie do wielu przydatnych zastosowań geometrii, *physica* mogła zrobić niewiele więcej dla praktycznego człowieka niż go oszlifować. Witruwiusz zaleca w swoich Dziesięciu księgach o architekturze, które pochodzą z wczesnego Cesarstwa Rzymskiego, aby student uczył się *physica*, aby móc oceniać doskonałość, zdobywać autorytet i stawać się „uprzejmym, sprawiedliwym i uczciwym”. Bardziej oczywiste jest, że wiedza o „zasadach fizyki [nauczanych] w filozofii” była potrzebna do budowy wodociągów; o zasadach interwałów muzycznych, do strojenia katapult; o astronomii, do wybierania miejsc pod budynki; o

meteorologii, do unikania miejsc narażonych na wiatry, pioruny i trzęsienia ziemi. Nic z tego nie było związane z główną działalnością budowlaną i to z dobrego powodu. Physica nie wiedziała nic o wytrzymałości materiałów. Jeśli chodzi o fundamenty, Witruwiusz mógł jedynie zalecić „kopanie w dół... tak głęboko, jak wydaje się wymagać wielkość proponowanej pracy”. Bardziej trwałe zastosowanie zasad fizycznych występuje w pismach Ptolemeusza z Aleksandrii. Odróżnił swoją astronomię, zawartą w trzynastu księgach Syntaxis mathematica lub Almagest (jak zwykle nazywa się ją po arabskim tłumaczeniu), od czterech ksiąg interpretacji astrologicznej, Tetrabiblos. Almagest traktuje planety tylko jako ruchome punkty; Tetrabiblos przypisuje im aktywne cechy żywiołów, które sprowadzają ich wpływ na Ziemię. Planety są ciepłe, wilgotne, zimne i suche w różnym stopniu, w zależności od ich odległości od ciepłego Słońca, wilgotnego Księżyca oraz zimnej i suchej Ziemi. Oceniane na podstawie temperatury i wilgotności, Jowisz, Wenus i Księżyc są dobroczynne; Mars i Saturn złoczyńcami; a Słońce i Merkury niejednoznaczni. Z tej astrofizyki Ptolemeusz wyprowadził antropologię fizyczną, która wyjaśniała, dlaczego Etiopczycy są czarni; Scytowie biali; mieszkańcy strefy umiarkowanej o średniej barwie, cywilizowani i mądrzy; a on sam jest matematyczny. Chociaż astrofizyka Tetrabiblosa dopuszczała ziemskie cechy do regionów niebieskich, astronomia Ptolemeusza obracała się w kwintesencji wszechświata Arystotelesa. Zgodnie z mechaniką nieba Arystotelesa, każda planeta i ciało niebieskie porusza się po sferze współśrodkowej z Ziemią. Jednak żaden z Perypatetyków, w tym Eudoksos, którego Platon krytykował za wykonywanie prac stolarskich zamiast geometrii, nie mógł „uratować zjawisk” zgodnie z zasadą koncentryczności. Oczywistym wyjaśnieniem zauważalnych zmian jasności Księżyca i planet jest ich zmieniająca się odległość od Ziemi. Dlatego matematycy odrzucili sfery Arystotelesa na rzecz niewspółśrodkowych okręgów, na których można było umieszczać obiekty niebieskie. Almagest Ptolemeusza ratuje zjawiska, przesuając Ziemię ze środka kołowej orbity Słońca, przedstawiając w ten sposób zjawiska wynikające z eliptyczności orbity Ziemi jako efekt perspektywy. Księżyc i planety również wymagają okręgów („mimośrodków”) z centrami przesuniętymi, choć w różnych kierunkach i wielkościach, od Ziemi. Wymagają również drugiego okręgu („epicyklu”), aby modelować skutki obrotu Ziemi wokół Słońca, podczas którego „wyższa” planeta (Mars, Jowisz lub Saturn) wydaje się okresowo zmieniać kierunki na swojej orbicie wokół Ziemi. Wspaniałe udoskonalenie, naśladowujące niemal idealnie efekty eliptyczności, sprawiło, że środek epicyklu obracał się ze stałą prędkością wokół punktu „równego” umieszczonego tak daleko po jednej stronie środka mimośrodu, jak Ziemia po drugiej stronie. Ten błyskotliwy, skomplikowany bibelot naruszał dobrą fizykę, postulując obroty wokół niezajętych punktów bez podania jakiegokolwiek fizycznego powodu ich położenia lub ruchu. Były to fikcje wprowadzone w celu opisu, a nie wyjaśnienia. Ptolemeusz nie był zadowolony z podziału pracy, w którym fizycy dążyli do prawdy o substancji, a matematycy do opisu jej przypadków. Odwracając zwykłe pierwszeństwo, ogłosił pierwszeństwo matematyki nad fizyką w Almagest i zilustrował to w astrofizyce swoich Hipotez planet. Tutaj sprawił, że Słońce biegnie w rowku między dwiema koncentrycznymi sferami, których wspólny środek jest przesunięty względem środka Ziemi. Każda wyższa planeta porusza się na marmurze (zreifikowanym epicyklu) biegnącym w podobnym rowku między inną parą ekscentrycznych sfer. Przyjmując arystotelesowski (i stoicki) zakaz próżni, Ptolemeusz gęsto upakował swój system tak, że apogeum jednego ciała niebieskiego pokrywało się z perygeum następnego, a największa odległość Saturna znajdowała się w sklepieniu gwiazd. Znając z obserwacji zaćmienia średnią odległość Księżyca w odniesieniu do promienia Ziemi r oraz, ze swoich obliczeń astronomicznych, stosunki promieni epicyklów i mimośrodków każdej planety w swoim gęsto upakowanym systemie, Ptolemeusz obliczył odległość do gwiazd na nieco mniej niż 20 000 r . Ta liczba, choć znacznie mniejsza od prawdziwego promienia orbity Saturna, była wystarczająco duża, aby sugerować nieistotność ludzkości, zwłaszcza gdy wyrażono ją w milach. Eratostenes z Cyreny, niegdyś kierownik Biblioteki Aleksandryjskiej, przeliczył r na miarę ludzką, ustalając kąt α między pionem a kierunkiem promieni słonecznych w Aleksandrii w południe w tym samym momencie, gdy słońce znajdowało się nad Asuanem, 5000

stadiów na południe. Ponieważ α równa się różnicy szerokości geograficznej między tymi dwoma miejscami, Eratostenes mógł obliczyć, z $2\pi r:5000 = 360^\circ:\alpha$, że $r \approx 4000$ mil. Promień widzialnego świata wynosiłby wówczas osiemdziesiąt milionów mil. Liczby te zostały ledwie poprawione przed XVII wiekiem. Wśród innych trwałych dzieł matematyki mieszanej z okresu hellenistycznego znajdują się: demonstracja prawa równowagi przez Archimedesesa, jego hydrostatyka z powiązaną z nią koncepcją ciężaru właściwego, anonimowy traktat o mechanice błędnie przypisywany Arystotelesowi oraz fragmenty tekstów o optyce autorstwa Euklidesa i Ptolemeusza. Prace optyczne, choć głównie geometryczne, zakładają co najmniej trzy interesujące zasady fizyczne: promienie odpowiedzialne za widzenie pochodzą z oka, zmieniają nagle kierunek na powierzchni między mediami o różnej gęstości i podążają najkrótszą drogą między okiem a przedmiotem. Zatem kąty padania i odbicia są równe. Traktat napisany prawdopodobnie przez Ptolemeusza oferuje pomiary załamania się promieni wizualnych, gdy uderzają one w powierzchnię powietrza i wody. Metoda ta dała wyniki, które nieznacznie różnią się od prawa Snella dla kątów padania do 40° . Autor Ptolemeusza zauważył, że refrakcja musi również występować na granicy między powietrzem a eterem (lub ogniem lub kwintesencją) i chociaż nie potrafił obliczyć jej wielkości, słusznie stwierdził, że efekt ten sprawia, że obiekty niebieskie w pobliżu horyzontu wydają się wyższe na niebie, niż są. Pseudo-arystotelesowska Mechanica wykracza poza zakres *physica*, zajmując się problemami mechanicznymi. Ale zaczyna się od pewnych rozważań fizycznych na temat paradoksalnych cudów ruchu kołowego. W kołowrotku najwyższy punkt porusza się do przodu i w dół, podczas gdy najniższy punkt porusza się do tyłu i w górę; a obręcz, choć większa od piasty, porusza się szybciej. Pseudo-Arystoteles wyjaśnia, że im krótsza szprycha, tym bliżej jej końca do nieruchomego środka. Na podstawie założonej zasady ciągłości bliskość hamuje ruch. Na zasadzie, że dłuższe promienie są łatwiej przesuwane pod danym kątem niż krótsze, autor przedstawia prawo dźwigni i zrećnie stosuje je do wiosł, sterów, żagli, kół, krążków, kabestanów, klinów, wyciągaczy zębów i dziadków do orzechów. Od dziadka do orzechów przechodzi do łamacza głów, znanego później jako „koło Arystotelesesa”. Dwa koła połączone ze sobą koncentrycznie toczą się poziomo. Chociaż większy wyznacza dłuższą ścieżkę niż mniejszy, pozostają razem. Dlaczego? „To dziwne... i cudowne”. Cud toczył się aż do Galileusza, który zaczerpnął wiele wskazówek i problemów z Mechaniki, wierząc, że pochodzą od Arystotelesesa. Starożytne zastosowania tego, co dziś uznalibyśmy za inżynierską fizykę, obejmowały hydraulikę wspaniałego systemu akweduktów, tuneli i fontann, które zaopatrywały Rzym w wodę. „Nigdy na całym świecie nie zorganizowano i nie wykonano żadnego desseine, bardziej godnego podziwu niż to”, powiedział Pliniusz, ekspert od cudów. Starożytni znali również pompę ssącą i koło wodne, ale niewiele z nich korzystali. Być może najbardziej znane z ich wodociągów, oprócz akweduktów, tłoczą wodę, aby uzyskać efekty teatralne. Największy impresario w tej dziedzinie, inżynier wojskowy, Heron z Aleksandrii, rozpoczął swój traktat o pomysłowych urządzeniach dowodami, że powietrze jest cielesne i że w połączeniu z innymi żywiołami i zasadami może zadziwiać najbardziej znudzonych. Na przykład ukryte puste rurki biegnące wewnątrz ołtarza wypełnionego winem przynosiły wino do ołtarza, gdy rozpalano na nim ogień. Inny mechanizm pozwalał świętemu ogniewi otwierać drzwi świątyni. Takie gry nie doprowadziły do powstania maszyn parowych.

Otępienie

Z powodu braku zainteresowania, niepokoju lub wzrostu chrześcijaństwa, osoby mówiące po łacinie stopniowo przestawały uczęszczać do greckich szkół, a wykształceni greccy niewolnicy, którzy uczyli swoich właścicieli ich języka, stali się rzadkością. Znajomość greki i kopiowanie greckich tekstów zmniejszyły się, by osiągnąć praktycznie zero, gdy Ostrogot Teodoryk został królem Włoch w 493 r. Co ciekawe, Teodoryk znał więcej greckiego niż jego wykształceni łacińscy poddani, ponieważ został wychowany jako zakładnik w Bizancjum. Edukacja chrześcijańska poza szkołami łacińskimi, które uczyły umiejętności przydatnych mówcom i biurokratom, była przypadkowa, a w wyższych kręgach

interpretacji biblijnej chrześcijanie byli w dużej mierze samoukami. To może pomóc wyjaśnić szerokość opinii i częstotliwość herezji wśród wczesnych samouków-teologów. Wielu z nich przekazywało fragmenty znanej im *physica* w swoich komentarzach biblijnych, szczególnie w odniesieniu do sześciu dni stworzenia (*Hexaemeron*). Niestety, apel Augustyna w jego *De Doctrina Christiana* o słownik starożytnej nauki, który miałby pomóc w zrozumieniu Pisma Świętego, spotkał się tylko z częściowym sukcesem. Nie mając takiego tekstu w V wieku, łacińscy wielbiciel *physica* uciekali się do licznych kompendiów kopiowanych lub tworzonych w czasach niepokojów. Najważniejsza była *Historia naturalis* Pliniusza. Opierając się na nim i innych, Makrobiusz Teodozjusz, być może mówiący po grecku w służbie Teodoryka, osłodził sztuki wyzwolone w Komentarzu do *snu Scypiona*, który odpowiadałby gustom średniowiecza. W tym śnie Cyceon opisuje wizytę zmarłego Scypiona Afrykańskiego, plagi Kartaginy, u wnuka Scypiona. Afrykański donosi, że dusze prawdziwych mężów stanu mieszkają w Drodze Mlecznej między wcieleniami i przenosi tam młodego Scypiona, aby porównał ogrom niebios i ich harmonijne obroty z małostkowością i niezgodą największych ziemskich imperiów. Schodząc w dół od emporium dusz Drogi Mlecznej, Makrobiusz definiuje zwykłe okręgi odniesienia astronomów (równik, ekliptyka itd.), opisuje pozorne ruchy Słońca, Księżycy i planet; i bada pięć stref klimatycznych Ziemi, nieprzeniknioną strefę gorącą i otaczającą ją ocean. Ziemia jest tak małą drobiną w porównaniu z niebem, że ciśnienie otaczającego powietrza z łatwością utrzymuje ją w centrum świata. Tak zawieszona, jej mieszkańcy mogą dostrzec, że Demiurg nadał planetom i światłom odległości i okresy dopasowane do interwałów, które Pitagoras odkrył, szarpiąc struny lutni na Ziemi. Jeśli Makrobiusz wiedział, że te interwały całkowicie różnią się od parametrów planetarnych obliczonych przez Ptolemeusza, rozbieżność ta nie przeszkadzała mu. Odnosił się do szczegółów ilościowych do ludzi „oderwanych od poważnych spraw”. Podczas schodzenia z Drogi Mlecznej do tymczasowego miejsca zamieszkania na Ziemi, czysta dusza nabywa rozumu ze sfery Saturna, mocy działania od Jowisza, śmiałości od Marsa, percepcji zmysłowej i wyobraźni od Słońca, pasji od Wenus, mowy i zdolności analitycznych od Merkurego, a od Księżycy zdolności do wykonywania funkcji fizycznych związanych z życiem wśród osadów stworzenia. Makrobiusz przekazuje wiele interesujących błędnych informacji, opisując tę podróż: na przykład, że planety świecą własnym światłem, Ziemia nie odbija światła słonecznego, a Wenus i Merkury znajdują się między Słońcem a Marsem. Dając Plotyna za swój autorytet, Makrobiusz czyni planety i ciała niebieskie jedynie znakami, a nie sprawcami przyszłych wydarzeń. Mieszanka fizyki, neoplatonizmu, numerologii, metempsychozy, moralizatorstwa i dezinformacji u Makrobiusza nie była jedynym środkiem przekazu starożytnych tekstów tworzonych przez wysokich rangą urzędników państwowych (jeśli nimi był) na dworze Teodoryka. Główny doradca Teodoryka, katolik Boecjusz, znał grekę. Zaniepokojony tym, że przyjaciele i wrogowie jego pracodawcy zagrażają przetrwaniu filozofii, podjął się przetłumaczenia wszystkich dzieł Arystotelesa. Zaczął od *Organonu* (logicznych traktatów Arystotelesa), który, będąc użytecznym w religijnych sporach, służył jako koń trojański dla reszty filozofii perypatetycznej. Boecjusz nie ukończył jednak większości swojego projektu, zanim Teodoryk, uważając go za zdrajcę, kazał go zabić. Podczas oczekiwania na egzekucję Boecjusz napisał swoje słynne *Pocieszenia filozofii* oparte na chrześcijańskim neoplatońskim światopoglądzie, który wspierał jego stoickie postanowienie. Wraz ze swoimi *Pocieszeniami* i logiką Arystotelesa, Boecjusz zapisał średniowiecznym listom krótki traktat o muzyce, który obejmował typy ziemskie i niebieskie oraz harmonię duszy. Jego następcą jako ministra Teodoryka był prawnik, Kasjodor, który również pracował nad zachowaniem starożytnej nauki dla chrześcijan. Założył klasztor, którego podopiecznych nauczał siedmiu sztuk wyzwolonych w sposób dostosowany do potrzeb chrześcijan, którzy starali się zachować resztki kultury rzymskiej w coraz bardziej barbarzyńskim świecie. Najbardziej popularną interpretacją siedmiu sztuk wyzwolonych przekazanych łacińskiemu średniowieczu było dzieło z V wieku, *Ślub Merkurego i Filologii*. Jego autor, Martianus Capella, przedstawił to, co wiedział o sztukach wyzwolonych, w wykładach *druhen filologii*. Wiele z tego, co mówią, jest niezrozumiałe. Tak więc *Astronomia*, po wyjściu ze swojej kuli niebiańskiego światła,

oświadczyła, że podczas 40 000 lat spędzonych w Egipcie na studiowaniu swojego przedmiotu, dowiedziała się, że natury niebieskie, „krążące dzięki własnemu wzburzeniu, są rozproszone na całej drodze wokół w pasach kulistych i okręgach”. Po tej wyprawie do fizyki opisała pozorne ruchy planet i ciał niebieskich, zdefiniowała równik i zodiak, próbowała wyjaśnić, jak zmierzyć Ziemię, wspięła się z powrotem do swojej kuli i, podobnie jak starożytność, którą reprezentowała, odleciała.

Selekcja w islamie

Wśród chrześcijan, którzy wyposażyli się w Organon Arystotelesa, aby spierać się o naturę Trójcy i inne zagadki, byli zwolennicy patriarchy Konstantynopola, Nestoriusza. Po jego ekskomunie w 431 r. n.e. nestorianie osiedlili się w Persji, w Dżundiszapur, mieście zbudowanym 200 lat wcześniej, aby pomieścić rzymskich żołnierzy. Zbudowali tam ważną szkołę i szpital, w którym poszerzyli swoje studia nad Arystotelesem i Galenem. Energiczni misjonarze, stali się ekspertami w tłumaczeniu trudnych tekstów między niezwiązanymi ze sobą językami. Wczesne podboje arabskie na wschodzie zwiększyły zakres działalności misyjnej nestoriańskiej. Kalifowie zwykle uważali ich za sojuszników, a Koran uznawał ich za współtowarzyszy „Ludu Księgi”, pod warunkiem, że płacili podatki. Pierwsza era ekspansji arabskiej zakończyła się w połowie VIII wieku. Dynastia, która przewodziła większości z nich, Umajjadzi, z siedzibą w Damaszku, uległa klanowi z poparciem Persów, Abbasydom, którzy zbudowali nowe miasto, Bagdad, jako swoją bazę władzy. Nauka nestoriańska znalazła coraz większą publiczność wśród eklektycznej elity miejskiej, przyciągniętej do nowej stolicy. W 765 r. dyrektor szpitala w Dżundiszapurze został nadwornym lekarzem Abbasydów. Syryjskojęzyczni lekarze chrześcijańscy wkrótce zaroiili się w nowej stolicy. Rozpoczęli proces przekształcania Arystotelesa w „filozofa” w języku arabskim. Projekt przetłumaczenia greckiej nauki na język arabski trwał trzy stulecia. Tłumacze musieli wymyślać terminy techniczne, nawet słowo na „filozofię”, dla której przyjęli transkrypcję falsafa. Na początku IX wieku kalif Abbasydów al-Mamūn założył w Bagdadzie akademię lub ośrodek badawczy i bibliotekę, Dom Mądrości, w którym gromadzono prace greckich pisarzy medycznych i matematyków, a także Arystotelesa. Do 1050 roku wszystkie traktaty Arystotelesa, z wyjątkiem Polityki, istniały w języku arabskim, wraz z wieloma książkami, takimi jak *Mechanica*, błędnie przypisywanymi jemu. Szeroko zakrojone poszukiwania starożytnych manuskryptów oznaczały rozkwit Domu Mądrości. To niezwykle poszukiwanie skarbów miało związek z szybkim wzrostem państwa islamskiego. Nie mając doświadczenia administracyjnego, arabscy zdobywcy zatrudnili dīwān, czyli biurokratyczne biura i procedury Imperium Perskiego, do opodatkowania, pomiaru i rejestrowania. Nowe imperium prowadziło księgi w języku perskim aż do późnych czasów Umajjadów, kiedy to przeszło na arabski. Wymagało to przetłumaczenia podręczników dīwān, które prawdopodobnie zawierały wprowadzenia do arytmetyki, geometrii i gałęzi matematyki stosowanej. Przejście na arabski otworzyło biurokrację dla łowców miejsc. Znajomość matematyki stosowanej mogła pomóc ludziom z ambicjami na stanowiska wyższego szczebla; stąd polowanie na traktaty matematyczne w depozytach w Bizancjum i gdzie indziej. Po udomowieniu przez ten proces, matematyka mieszana stała się zajęciem samym w sobie, choć nadal wspieranym ze względu na jej zastosowania w administracji, inżynierii i praktykach religijnych. Tak więc, w przeciwieństwie do Greków, większość muzułmańskich fizyków i matematyków była dworzanami, urzędnikami lub funkcjonariuszami. Sztuki rozumowania i perswazji, przydatne do robienia postępów w wyrafinowanych salonach filozoficznych Bagdadu i znane w religijnych kontrowersjach, ponownie posłużyły jako koń trojański dla reszty systemu Arystotelesa. Wcześni Abbasydzi faworyzowali liberalną formę kalām (scholastycznej egzegezy pism religijnych), Mu'tazila, która pozwalała na szeroki zakres rozumowania w interpretacji Pisma Świętego i w osiągnięciu prawdy moralnej, jak i filozoficznej. Korpus Arystotelesa pokazał, co może osiągnąć rozum bez pomocy objawienia. Dotyczył on również bezpośrednio takich praktycznych kwestii, jak astrologia i meteorologia, a jego słownictwo zapewniało środki do dyskusji, jeśli nie do rozwiązania, większości pytań dotyczących codziennego doświadczenia. Te praktyczne rozważania można uznać za sprawczą

przyczynę tłumaczeń oraz komentarzy i kompendiów z nich pochodzących. Zasady wiedzy i drogi do mądrości można by przytoczyć jako przyczyny formalne i ostateczne. Przyczyną materialną był papier. Arabowie zapoznali się z tym chińskim wynalazkiem podczas swoich podbojów w Azji Środkowej. Przed rokiem 800 w Bagdadzie działała papiernia. Rozwinął się duży rynek książek, zaopatrywany przez linię montażową, a raczej krąg skrybów, którzy jednocześnie dyktowali autorowi lub uczoneму. Skrybowie czytali to, co spisali, a dyktator, jeśli był zadowolony, „autoryzował” kopie. System ten produkował więcej — i wierniejszych — wersji oryginałów, niż skrybowie zakonni mogliby tworzyć pojedynczo na pergaminie lub welinie. Powstały kolosalne biblioteki, największa, licząca prawdopodobnie 500 000 woluminów, była ponad sto razy większa od ich najbliższych konkurentów na Zachodzie. Centralna administracja nowego imperium okazała się niemożliwa. Gdy wielka ekspansja osiągnęła szczyt w VIII wieku, jego części zaczęły się oddzielać. W X wieku kalifaty oddzieliły się w Egipcie pod dynastią, która twierdziła, że pochodzi bezpośrednio od córki Proroka Fatimy, a w Andaluzji pod gałęzią Umajjadów. W tym samym czasie Abbasydzi stracili całą władzę na Wschodzie na rzecz tureckich i perskich szachów i emirów. Te układy okazały się ulotne: w 1031 roku Umajjadzi stracili Andaluzję na rzecz fundamentalistycznych muzułmanów z Afryki Północnej; w 1171 roku Fatymidzi ustąpili miejsca Kurdowi Saladynowi; w 1258 roku Mongołowie zniszczyli Bagdad. Niemniej jednak wspólny język dla literatury i administracji oraz konwersje na islam utrzymywały rozbieżne elementy polityczne luźno razem. Ze względu na szerokie rozpowszechnienie w miejscu i czasie nisz dla jej kultywowania, falsafa mogła rozwijać się tylko skokowo w krajach islamskich. Stąd ogromna energia poświęcona na tworzenie streszczeń, encyklopedii i komentarzy do standardowego materiału przez najbardziej utalentowanych filozofów islamskich i powód, dla którego nie rozwinęli oni *physica* znacznie różniącej się od tej, którą odziedziczyli. Innym powodem jest to, że w przeciwieństwie do matematyki, *physica* miała konsekwencje dla wiary. Obojętny Bóg Arystotelesa, czy to czysty, czy neoplatonizowany, mógł zostać zislamizowany, tak jak został schryścianizowany, tylko kosztem logicznej spójności systemu. Naleganie na czystego Arystotelesa, z jego wiecznym światem i nietrwałą duszą, wywołało sprzeciw teologiczny.

Falsafa

Dom Mądrości założony w Bagdadzie przez al-Mamuna włączył bibliotekę jego ojca, Haruna ar-Raszida, kalifa tysiąca i jednej nocy, oraz obserwatorium do innych nocnych aktywności. Sponsorował również wyprawy w celu zmierzenia rozmiarów Ziemi. Podobnie jak projekt tłumaczeniowy, obserwacje astronomiczne i geograficzne wynikały z greckich podpowiedzi. Al-Mamun chciał sprawdzić Ptolemeusza i Eratostenesa, aby uzyskać dokładniejsze oszacowanie wielkości jego imperium i położenia głównych miejsc w nim. Geografia rozkwitała wszędzie tam, gdzie była zachęcana i wraz z historią stanowiła największy zbiór literatury w językach islamskich w średniowieczu, poza religią. Wielka postać Domu Mądrości, al-Kindī, założyciel arabskiego arystotelizmu, jest dobrym przykładem uogólnienia dokonanego wcześniej na temat statusu społecznego muzułmańskich uczonych. Jego ojciec, pochodzący z Jemenu, był gubernatorem Kufy w Iraku, skąd al-Kindī udał się do Bagdadu. W jego wersji Arystotelesa, widzialny świat składa się z czterech niespokojnych elementów, leniwej krążącej kwintesencji, formy, materii, substancji i przypadku, i działa na czterech przyczynach. Nieruchomy Poruszyciel przekazuje ruch i powoduje istotne zmiany poprzez obrót niebios. Ta stacjonarna Istota jest neoplatońska w utrzymywaniu w swoim umyśle Idei i Form stworzonych rzeczy oraz koraniczna w znajomości szczegółów świata fizycznego oraz charakterów i czynów wszystkich żywych i umarłych. Dzięki tej korekcie obraz świata al-Kindiego stał się standardowym modelem arystotelesowskiej *physica* aż do XII wieku, kiedy obrońcy falsafy w Hiszpanii opowiadali się za bardziej rygorystyczną interpretacją Filozofa. Na początku amalgamatowi powiodło się dobrze, zwłaszcza w rękach al-Fārābiego, syna muzułmańskiego generała z odległego Turkiestanu. Przybył do Bagdadu po nauce u nestoriańskiego chrześcijanina, aby zostać „Drugim Nauczycielem”, pierwszym był Arystoteles.

Jego idealny program nauczania, Osiągnięcie szczęścia, radzi poszukiwaczom prawdy, aby zaczynali od rzeczy najłatwiejszych do zrozumienia — liczb i figur geometrycznych — i stopniowo przechodzili do świata materialnego. Podróż prowadzi przez optykę, astronomię, muzykę i zasady mechaniczne traktowane jako abstrakcje archimedesowe do physica, nauki o rzeczach, z których składa się świat. Ponownie przechodząc od najmniej materialnego do najbardziej, dążenie do szczęścia rozpoczyna się od ciał niebieskich i schodzi przez cztery żywioły do kamieni i wnętrza Ziemi. Następnie dociekliwy umysł pyta o istoty doskonalsze niż natura i rzeczy naturalne, i wznosi się do metafizyki. Zaczynając od duszy i intelektu racjonalnego zwierzęcia, odkrywa drogę ludzkiej doskonałości i wspina się z powrotem po łańcuchu zasad, odrzucając aspekty materialne, w końcu wznosząc się do Pierwszej Zasady, Bytu zbyt doskonałego, by go opisać. Spełniony umysł rozumie teraz naturę i miejsce wszystkiego we wszechświecie, w tym państwa islamskiego: kalif odnosi się do swojej hierarchii podwładnych tak, jak Pierwsza Zasada odnosi się do stworzonych istot od najwyższego intelektu do najgęstszego kamienia. Ta jasna nauka i wsparcie Abbasydów nie wystarczyły, by założyć nowe Lyceum w Bagdadzie. Ani al-Kindī, ani al-Fārābī nie prowadzili tam ciągłego życia akademickiego. Wysiłki Al-Mamuna, by narzucić Mu'tazilę, nie powiodły się, a jego następcy uciskali jego przedstawicieli. Dom Mądrości prawie zginął. Al-Kindī musiał odejść. Al-Fārābī zachował poparcie kalifa, w wyniku czego zostali wypędzeni z Bagdadu razem. Po śmierci Drugiego Nauczyciela osiem lat później w Damaszku, falsafa przeniosła się daleko w Persję, gdzie w 980 r. wydała jeden ze swoich najpiękniejszych kwiatów, Ibn Sīnā (Awicennę), w Bucharze, w Uzbekistanie. Ekstrawagancko bystry Awicenna wędrował po Persji w poszukiwaniu wiedzy, często służąc jako lekarz panującej władzy. Jego pojemna pamięć zawierała cały Koran oraz znaczną część greckiej medycyny, matematyki i physica, które wlań do antidotum na ignorancję i bezsenność zatytułowanego *The Cure*. *The Cure* proponuje ten sam projekt co *Attainment of Happiness* al-Fārābīego, ale układa kroki w kolejności kanonu Arystotelesa. Tak więc po *Organonie* pojawiają się podstawowe zasady physica, ich zastosowania w sferach niebieskiej i podksiężycowej, tajemnice ruchu i ludzkiego umysłu, a następnie matematyka. Ostatnim tematem jest Pierwsza Filozofia, kulminująca w wiedzy o Tym, który działa w neoplatoński sposób emanacji i delegacji. Dążąc do zjednoczenia całej wiedzy sankcjonowanej przez nacisk Koranu na jedność Boga, Awicenna zajął się działalnością ludzką (modlitwą, prorocstwem, polityką, prawem), a także światem naturalnym i nadprzyrodzonym. Szeroko czytane dzieła Awicenny zakończyły lub zawiesiły produktywną uprawę falsafy we wschodnich rejonach islamu. Było to zasługą przede wszystkim al-Ghazālīego (Algazel), sumiennego teologa, dobrze zorientowanego w kalām i falsafa. Po zastanowieniu się nad relacjami między rozumem a objawieniem, ogłosił, że kalām nie może rozwiązać niczego ważnego dla wiary, a falsafa jest jej wroga. Zwrócił uwagę, że Nieporuszony Poruszyciel różni się od Boga Islamu i że falsafa pomija tak istotne informacje, jak Sąd Ostateczny, zmartwychwstanie dusz i rozpad świata. Dopuścił praktykowanie kalām, gdy było pomocne w przekonywaniu niezdecydowanych wierzących o racjonalistycznych tendencjach; ale ogólnie uważał, że teologia i sufizm, do których się skłaniał, poradzą sobie lepiej bez niego. Jego stanowisko miało siłę logiki i nowego władcy Seldżuków w Bagdadzie. Ostatni etap podróży Arystotelesa przez islam obejmował dwa kontynenty, z Persji do Hiszpanii i ponad stulecie, od Awicenny do Ibn Bajji (Avempace), długoletniego wezyra gubernatora Granady, i Ibn Rushda (Awerroesa), byłego kadiego, czyli sędziego religijnego, w Sewilli i Kordobie. Obaj nalegali na czystszy Arystotelesa niż al-Kindīego. Awerroes zrobił karierę jako lekarz i protegowany kalifa Almohadów Abd al-Mu'mina, zanim został kadim. Jego dosłowne interpretacje Arystotelesa i sprzeciw wobec nauk al-Ghazālīego sprawiły, że stał się celem tradycjonalistów, którzy ostatecznie doprowadzili do jego potępienia przez sąd w Kordobie. Schizma między astronomią a fizyką, jak się wydaje, niepokoiła Awerroesa przez większość jego filozoficznego życia. Jako wstęp do ich rozwiązania, próbował oddzielić kosmologię arystotelesowską od neoplatońskich i islamskich naleciałości, które nabyła od czasów al-Kindīego. To, że ta mieszanka stała się domyślnym falsafem, wynika z bajki „Hai Eb'n Yockdan”, jak nazwano jej bohatera w jej angielskim tłumaczeniu. Porzucony na bezludnej wyspie

jako niemowlę, Yockdan miał mnóstwo czasu, aby myśleć o naturze i swoim miejscu w niej. Krok po kroku, logicznie, wynalazł neoplatoński wszechświat, na który, po instrukcji od przechodzącego świętego człowieka, z powodzeniem zaszczepił Islam. Awerroes wypowiedział wojnę Yockdanowi. Usunął łańcuch tworzenia i stworzonych istot między Jednym a księżycową Inteligencją, przywrócił wieczny kosmos i Obojętny Poruszyciel, ostro skrytykował zarówno Awicennę, jak i al-Ghazāliego i przyznał, że Arystoteles posiadał tyle prawdy, ile człowiek może uzyskać bez objawienia. Jedną z tych prawd było to, że chociaż astronomia Ptolemeusza mogła być dobrą matematyką, nie miała nic wspólnego ze światem rzeczywistym. Czystki „Komentatora” (Awerroesa) pozostawiły korpus Arystotelesa w stanie, w jakim Arabowie zastali go 400 lat wcześniej. O gigantycznym wysiłku falsafy można powiedzieć to, co Omar Chajjam powiedział o sobie po wysłuchaniu sporu świętych i doktorów: „Zawsze wychodziłem tymi samymi drzwiami, którymi wszedłem”. Osłabienie kalām i zniechęcenie do falsafy zbiegło się z ważną zmianą w islamskim systemie edukacyjnym. Dom Mądrości w Bagdadzie z biblioteką i obserwatorium oraz jego wspanialsza wersja w Kairze zbudowana przez kalifa al-Hakīma około 1000 roku były najwyższej klasy typem reprodukowanych w kilku miejscach w Iraku i Egipcie Fatamidu. Większość z nich była niewiele więcej niż bibliotekami, chociaż niektóre oferowały czytelnikom atrament i wszechobecny papier. Pierwotnie oddane „naukom obcym”, biblioteki albo wymarły, albo przekształciły się w kultywujące „nauki islamskie”: prawo, religioznawstwo i filologię arabską. Nie stanowiły systemu edukacyjnego. Od XI wieku edukacja podstawowa, która była domeną meczetów, odbywała się głównie w instytucjach charytatywnych kontrolowanych przez rodzinę darczyńcy. Te głównie sunnickie madrasy nie obejmowały nauk obcych, które rozkwiły w bibliotekach w dużej mierze szyickich, inspirowanych Persją. Wielcy zdobywcy Wschodu, Hulagu Chan, Timur i Seldżukowie, byli wielkimi założycielami madras, co pomogło w zaszczepieniu standardowej wiary i zmniejszeniu kontrowersji religijnych. Nauczanie opierało się na oszałamiających osiągnięciach w zapamiętywaniu. Mówi się, że jeden z nich zmarł, dyktując zaledwie 30 000 stron folio tekstów, które znał na pamięć.

Matematyka mieszana

Astronomowie doszli do poglądu Awerroesa na konstrukcje Ptolemeusza, opanowując tłumaczenia przygotowane przez mieszkańców Domu Mądrości w Bagdadzie. Opanowanie obejmowało sprawdzenie parametrów przekazywanych w Almagest. Po ośmiu stuleciach rozbieżności między przewidywaniami Ptolemeusza a obserwacjami stały się widoczne. Aby zmniejszyć rozbieżności, astronomowie pracujący na islamskim Wschodzie pracowali nad ulepszeniem parametrów i metod, za pomocą których Ptolemeusz je wyprowadził. W ten sposób ludzkość uzyskała dobre wartości dla nachylenia ekliptyki, położenia apogeum Słońca, precesji równonocy i innych dezyderatów. Ekscentryczny astronom Ibn Yunus, który służył wiernie Fatamidom i zmarł w 1009 roku, w dniu, który według jego obliczeń miał być jego ostatnim, podał jeden powód, dla którego popierał swoje badania: „obserwacja gwiazd jest zgodna z prawem religijnym, ponieważ pozwala nam poznać czas modlitw oraz wschodu i zachodu słońca, które oznaczają początek i koniec postu”. Dlatego islamscy astronomowie pilnie badali tematy, które Ptolemeuszowi wydawały się jedynie przelotne, takie jak długość świtu i zmierzchu oraz warunki dostrzeżenia pierwszego pojawienia się nowiu Księżyca. Ponadto astronomia uczyła kierunku do Mekki, qibla, z dowolnego wyznaczonego miejsca, kiedy sadzić i jak dostać się z jednego miejsca do drugiego w celu handlu, grabieży lub pielgrzymki. Tak więc, w przeciwieństwie do *physica*, badanie gwiazd, delikatnie zalecane w Koranie (6.97, 10.5, 16.12, 16, 71.15–16), miało poparcie przywódców religijnych. Miało również poparcie świeckich władców za pomoc w narzucaniu religijnego konformizmu i kierowaniu karawanami oraz za swoją fundamentalną rolę w astrologii. Ibn Yunus i jego główny patron, kalif Fatamidów al-Hakim, byli oddani temu tematowi. Ogromny *zij* Ibn Yunusa, czyli podręcznik informacji astronomicznych, zawiera dziesiątki tysięcy fragmentów danych astronomiczno-astrologicznych. Nawet jeśli nie przetrwały one swoich założycieli,

obserwatoria wspierały częste określanie położenia ciał niebieskich i planet. Podczas gdy Ptolemeusz obliczył swoje parametry na podstawie bardzo niewielu obserwacji strategicznie zaplanowanych, jego następcy na Wschodzie zaprojektowali programy obserwacyjne, które miały trwać przez cały obieg Jowisza (dwanaście lat) lub, co jeszcze bardziej optymistyczne, Saturna (trzydzieści lat). Kraje islamskie były urodzajne w astronomów, zięs i monumentalne instrumenty, takie jak zatopiony superseksant al-Chudżandiego o promieniu 20 metrów, położony 12 kilometrów na południe od Teheranu w Rayy. Za pomocą tego olbrzyma, opłaconego przez lokalnego perskiego siłacza, dokonał on dokładnych ustaleń nachylenia ekliptyki. Około 1050 roku islamsko-ptolemejska astronomia osiągnęła apogeum. Astronomowie skorygowali jego parametry poprzez obserwacje za pomocą solidnych instrumentów, wymyślili nowe sposoby wywnioskowania parametrów z obserwacji, uprościli jego matematykę za pomocą trygonometrii płaskiej i sferycznej oraz zastąpili uciążliwą starożytną notację cyframi „arabskimi” (czyli hinduskimi). Co jeszcze można było zrobić? Podejścia trzech perskich matematyków z połowy XI wieku — al-Bīrūnī, al-Khayyāmī (Omar Khayyam) i Ibn al-Haytham (Alhazen) — wskazały dostępne opcje. Al-Bīrūnī, którego erudycja była niezwykła nawet jak na muzułmańskiego uczonego, cierpiał z powodu perypetii muzułmańskich uczonych zależnych od dworów. Urodzony i wykształcony w Khwārazm, uciekł przed wojną domową, aby szukać patronatu w rozpadających się królestwach wokół niego. Spotkał al-Khujandiego, obserwował w Rayy i znalazł tymczasowe zatrudnienie u przelotnych siłaczy, z których jeden zbudował mu obserwatorium. Po zamordowaniu tego Mecenas, al-Bīrūnī znalazł się pod ochroną sułtana Mahmuda z Ghazny (Afganistan), który wiedział tak mało o astronomii, że odrzucił jako herezję twierdzenie, że na dalekiej północy Słońce czasami nie świeci przez wiele dni. Al-Bīrūnī go oświecił. Mahmud odwzajemnił się, dając al-Bīrūnīemu możliwość stania się mędrce epoki. Podążając za armiami Ghaznawidów na wschód, opanował sanskryt, określił położenie geograficzne i przywiózł wiele różnorodnych indyjskich przekazów. Większość prac al-Bīrūnīego dotyczy astronomii, geografii i geodezji. Choć jego koncepcja była ptolemejska, jego astronomia analizuje inne poglądy, na przykład możliwość, że pozorny ruch gwiazd wynika z obrotu Ziemi. Podał indyjskie, jak i greckie źródło tej idei i przedstawił sprzeczności Ptolemeusza (ciała zrzucane z wieży lądowałyby na zachód od jej podstawy) i odpowiedź (wszystkie ciała na obracającej się Ziemi uczestniczyłyby w jej ruchu, nawet spadając). Podobnie jak wielu innych, al-Bīrūnī przyjął sprzeciw Ptolemeusza. Chajjam również cierpiał z powodu zmienności losu muzułmańskiego uczonego, dla którego szczęście, „jak śnieg na zakurzonej twarzy pustyni”, nigdy nie trwało długo. Urodzony w Khurāsān, wkrótce po podboju prowincji przez Seldżuków, spędził swoje najbardziej produktywne lata, służąc sułtanowi Malik-Shāhowi w Isfahanie. Sułtan i jego wezyr wspierali obserwatorium, gdzie pod kierownictwem Chajjama grupa astronomów wydała własne zię i obliczyła rok zwrotnikowy bliższy prawdy o trzy części na dziesięć milionów niż rządy gregoriańskie. Sielanka zakończyła się śmiercią Malik-Shaha i zabójstwem jego wezyra. Nowy reżim znęcał się nad obserwatorium i rozprawił się z awicennańskim światopoglądem Chajjama i jego poetyckim wolnym myśleniem. Kierunek astronomii, który reprezentował, który dążył do postępu na kolejnym miejscu dziesiątym i wymagał stałego, niezawodnego finansowania, dobiegł końca w Isfahanie. Trzeci przykład, Alhazen, zajął śmiało stanowisko, później promowane przez Awerroesa, że astronomia Ptolemeusza musiała zostać przerobiona, aby dostosować się do zasad fizycznych. Wydaje się, że miał niezwykłą pewność siebie, skoro zaproponował kalifowi Fatamidów al-Hakīmowi — patronowi Ibn Yunusa — plan uregulowania przepływu Nilu. Kiedy plan się nie powiódł, Alhazen uznał za stosowne udawać szaleństwo, jakie sugerował jego szalony projekt. Odzyskał rozum, gdy al-Hakīm umarł, i skierował ich ku optyce, a także ku niedociągnięciom Ptolemeusza. Upierając się, że zasady astrofizyki wymagają ciągłych obrotów materialnych powłok lub sfer wokół ich własnych środków i że żadna próżnia nie może istnieć na niebie, Alhazen powrócił do zagnieżdżonych globusów i kul z hipotez Ptolemeusza. Trzy kierunki astronomii reprezentowane przez al-Bīrūnīego, Chajjama i Alhazena spotkały się krótko i dramatycznie w dziele Nasira al-Dina al-Tūsīego. Pochodzący z rodziny szyickich prawników al-Tūsī otrzymał pełne

wykształcenie islamskie od kilku mistrzów, w tym od zwolennika Awicenny. Uciekając przed politycznymi zawirowaniami w swojej ojczyźnie (podobnie jak Chajjam pochodził z Khurāsān), al-Tūsī przyjął ochronę od twardej szyickiej sekty, która specjalizowała się w morderstwach. W towarzystwie tych asasynów i ich wielkiego mistrza, „Starca z Gór”, napisał wiele ważnych traktatów, niektóre o etyce, której jego gospodarze z pewnością potrzebowali, inne o logice, filozofii i matematyce. Po ćwierćwieczu w swoim niezwykłym akademickim otoczeniu al-Tūsī awansował na służbę u Hūlāgū, który zniszczył asasynów w 1256 r., zdobył Bagdad i zakończył panowanie Abbasydów w 1258 r. i ustanowił swoją władzę od granic Cesarstwa Bizantyjskiego po peryferie Chin. Choć nieco szorstki, Hūlāgū interesował się astronomią i astrologią, i zachęcał al-Tūsiego do zbierania manuskryptów, zanim jego mniej wykształceni zwolennicy je zjedzą. (Być może Hūlāgū zawdzięczał swoją uprzejmość chrześcijanom nestoriańskim, spośród których jego ojciec wybrał mu matkę, a on swoją ulubioną żonę.) Hūlāgū zbudował obserwatorium dla al-Tūsiego w nowej stolicy Ilkhan, Marāgha w Azerbejdżanie. Ta instytucja, którą Hūlāgū nie tylko opłacił (czego należało się spodziewać), ale także, wyjątkowo, uposażył, przyciągnęła kilku znakomitych astronomów, szczyła się biblioteką i bibliotekarzem oraz mieściła kilka dużych instrumentów, w tym kwadrant ścienny i sferę armilarną. Jednym z jej pierwszych produktów, nad którym pracowano dwanaście lat, był oczywiście zij. Al-Tūsī i jego współpracownicy nie lubili modeli Ptolemeusza, na których musieli opierać swoje obliczenia, i, biorąc swój manifest z arystotelesowskiej *physica*, która została przyćmiona od czasu zwycięstwa al-Ghazāliego nad Awicenną, opracowali nowe modele planetarne. To odejście, naśladowane w XIV wieku przez Ibn al-Shatira z Damaszku, którego codzienną pracą było śledzenie czasu religijnego, okazało się pożytecznym krokiem, gdy Kopernik, używając tych samych modeli, wykonał większy krok. Przy odrobinie wyobraźni uczonego może znaleźć w Koranie wersety (15.16, 16.20, 24.35), które zachęcają do studiowania astrologii i zjawisk optycznych. Największym badaczem światła w islamskim średniowieczu był Alhazen. Podobnie jak w astronomii, tak i w optyce, ale dla lepszego efektu, próbował połączyć *physica* Arystotelesa z modelami geometrycznymi. W przeciwieństwie do większości matematyków, przypisywał widzenie promieniom ciała świetlistego wpadającym do oka (a nie wychodzącym z niego). Czy astrologia działa poprzez fizyczną agencję i dlatego należy do *physica*, czy też jedynie informuje o przyszłych wydarzeniach poprzez znaki przewidywalne przez astronomię i w ten sposób podlega matematyce? W tym przebraniu stary problem relacji między matematyką a fizyką nabrał komplikacji, czy przewidywania astrologii, jeśli zostaną poprawnie zinterpretowane, można uniknąć. Koran, który często deklaruje, że tylko Bóg zna przyszłość, sugeruje możliwość uniknięcia (16.12, 27.65, 67.5–9). Awicenna i Awerroes odwoływali się do tych deklaracji, aby przekonać astrologię o daremności. Jednak wcześnie adepci, tacy jak Māshā' Allāh, al-Kindī i Thābit ibn Qurra, którzy wprowadzili dosłowną wiedzę o gwiazdach Persji do astrologii islamskiej, zaakceptowali fatalistyczne zasady i przewidywania swojej sztuki. Najsurowszym orędownikiem był czołowy muzułmański astrolog Abū Ma'shar, inny Pers z Khurāsān, który przybył do Bagdadu na początku panowania al-Mamuna. Dalsze oświecenie w kwestii wpływu niebiańskiego można znaleźć w praktyce medycznej. Astrologowie kojarzyli znak zodiaku z częściami ciała, tak więc Baran z głową, Byk z szyją, Bliźnięta z ramionami, aż do Ryb i stóp. Jak każdy może wywnioskować z obserwacji pływów i cyklu menstruacyjnego, Księżyc ma pewien wpływ na płyny. Stąd może powodować niepożądane zakłócenia podczas medycznie sankcjonowanego krwawienia. Aby zminimalizować ryzyko, lekarze unikali krwawienia z jakiegokolwiek części ciała związanej ze znakiem zodiaku, przez który przechodził Księżyc. To powstrzymanie się jest bardziej wiarygodnie interpretowane jako odpowiedź na ryzyko ze strony rzeczywistej siły fizycznej niż na powiadomienie przekazane przez abstrakcyjne znaki. Stąd praktyka medyczna ujawniła kolejny powód, aby zintegrować fizykę ziemską z mieszaną matematyką nieba.

Odejścia

W jaskrawym kontraście do filozofów Grecji, członkowie Bagdadzkiego Domu Mądrości od al-Kindī i polimatowie tacy jak al-Bīrūnī, Alhazen i Avicenna pisali na tematy technologiczne i inżynieryjne. Państwa islamskie podejmowały prace na dużą skalę — na przykład budowę Bagdadu z jego meczetami, ogrodami i pałacami — i wojny na dużą skalę, z ich zapotrzebowaniem na broń i fortyfikacje. Dekoracje budynków i ich wyposażenie zawierały geometryczne wzory o wielkiej urodzie i złożoności, a siła broni opierała się na unikalnych i skomplikowanych procesach metalurgicznych. Słynne miecze wykonane ze „stali damasceńskiej” łączyły piękno z użytecznością. Ekskluzywny przemysł metalowy, zasilany wymaganiami wojskowymi, dostarczał również części do zaawansowanych projektów inżynieryjnych i instrumentów naukowych. Z tych ostatnich, planisferyczne astrolabium może stać się emblematem lub logo islamskiej nauki. Astrolabium składa się z kilku delikatnie napisanych mosiężnych płyt umieszczonych w krótkim cylindrze. Można je było regulować, aby pokazywało na płaszczyźnie miejsca Słońca i gwiazd obserwowane w sferze gwiazdowej. Operator musiał jedynie obrócić ażurową „rete”, aż jeden z jej punktów gwiazdowych lub położenie Słońca na ekliptyce znajdzie się powyżej odpowiedniego okręgu wysokości lub azymutu na dolnej płycie lub „tympa”. Dobre astrolabium ma kilka tympań wygrawerowanych po obu stronach do użytku na różnych szerokościach geograficznych. Koncepcja instrumentu jest grecka; jego wykonanie w mosiądzu — islamskie. Najstarszy zachowany przykład z Isfahanu pochodzi z X wieku. Po ustawieniu astrolabium podaje porę dnia, czas i kierunek wschodu i zachodu słońca, a także, z dodatkowymi informacjami, qibla. Może również służyć jako kompas do nawigacji. W ten sposób elegancko spełniał potrzeby religii założonej przez kupca Mahometa: podawał godziny i orientację codziennych modlitw, kierował krokami pielgrzymów i pomagał karawanom przekraczać pustynię. Ponadto pręt celowniczy obracany względem okrągłych skal z tyłu instrumentu może mierzyć promień Ziemi. Al-Bīrūnī zabrał swoje astrolabium na szczyt góry w Indiach, sąsiadującej z równiną, i zmierzył kąt θ między pionem a horyzontem. Każdy nowicjusz w trygonometrii muzułmańskiej mógł następnie obliczyć r z $\sin \theta = r/(r + h)$, gdzie h jest wysokością góry, którą al-Bīrūnī zmierzył standardową techniką pomiarową. Jego wynik potwierdził wartość uzyskaną przez matematyków al-Mamuna, chociaż „ich instrumenty były bardziej precyzyjne, a ich praca, aby ją uzyskać, była niezwykle wymagająca i drobiazgową”. Wracamy na krótko do Domu Mądrości, gdzie Banū Mūsā — trzech synowie bandyty imieniem Mūsā ibn Shākir, który zmarł jako astrolog na dworze al-Mamūna — oderwali się od matematyki, aby udoskonalić urządzenie Herona z Aleksandrii. Dodali syfony, które między innymi wydawały się uwalniać wino i wodę oddzielnie po ich wypiciu zmieszanych. Największy mechanik w tej tradycji pracował dla małej tureckiej dynastii, która rządziła ziemiami wokół górnego Tygrysu. Był to al-Dżazarī, którego Kompendium teorii i praktyki sztuk praktycznych, „najważniejszy dokument o maszynach od czasów starożytnych do renesansu z dowolnego obszaru kulturowego”, opisuje sterowanie sprzężeniem zwrotnym i inne nowe techniki. Dobry przykład jego automatów, zegar słoński, nosi otwartą kopułę z feniksem na szczycie. W połowie wysokości wieży pod każdym sokołem smok jedzie na poziomej osi. Ciało słońca zawiera duży pojemnik wypełniony wodą, w którym unosi się dziurawe drewniane wiadro, luźno przymocowane linami do przekładni. Co trzydzieści minut przeciekające wiadro tonie, ciągnąc liny i włączając przekładnie, które wprawiają feniksa w wir, powodując, że piłka wpada przez głowę sokoła do paszczy smoka. Szczęśliwy smok połyka piłkę, huśta się wokół własnej osi, zwija liny i wynosi wiadro z powrotem na powierzchnię. Zegar nadal odmierza czas co pół godziny, aż wyczerpie swoje piłki. Al-Bīrūnī wspomina, że koła zębate były stosowane w astrolabiach. Najwcześniejszy zachowany przykład, który jest również najwcześniejszym zachowanym nienaruszonym układem kół zębatach, pochodzi z 1221 r. Pięć precyzyjnie naciętych kół zębatach zamontowanych wewnątrz tylnej płyty napędza obrazy Księżyca, aby wskazać jego miejsce i wiek. Włączenie informacji o pozycji zodiakalnej Księżyca uczyniło astrolabium instrumentem medycznym, ponieważ pozwalało lekarzowi odkryć za pomocą obrotu, czy ciąć pacjenta, czy nie. Gdyby obrót był zapewniany przez spadający ciężarek sterowany wychwytem, astrolabium z przekładnią byłoby

zegarem mechanicznym. Takie zegary i wiele późniejszych imitacji nadal istnieją, nieświadomie reklamując, za pośrednictwem swoich astrolabicznych tarcz i wskaźników słonecznych i księżycowych, logo i osiągnięcia średniowiecznej nauki muzułmańskiej.

Udomowienie w Europie

Udomowienie greckiej i arabskiej physica oraz mieszanej matematyki na łańskim Zachodzie trwało około 400 lat od pierwszych tłumaczeń w XII wieku aż do XVI wieku, kiedy to wydrukowano Archimedes a Ptolemeusza, a starożytni rywale Arystotelesa odżyli. Wraz z pokoleniem Galileusza, Keplera i Francis a Bacona miejsce physica w zbiorze wiedzy zaczęło się chwiać, chociaż arystotelesowski obraz świata nadal wisiał pewnie, choć krzywo, na uniwersytetach i seminariach teologicznych. Upadek ten w dużej mierze zawdzięczano czynnikom społecznym związanym, jak w czasach islamskich, z potrzebami nowo centralizujących się państw oraz z odkrywaniem nowych światów na Ziemi i w niebie.

Poruszenia

Podczas gdy Alhazen zmagał się z optyką geometryczną, dwóch uczonych na Zachodzie próbowało udowodnić, że suma kątów w trójkącie jest kątem prostym. Nie znając Euklidesa, nie mieli ani dowodu, ani pojęcia dowodu i skończyli na ustawieniu kątów wyciętych z trójkątów narysowanych na pergaminie. Chociaż reprezentowali oni wiedzę matematyczną uczonych swoich czasów i miejsca, istniało wówczas kilku uczonych, którzy mogli z łatwością wykonywać trudne obliczenia. Byli kalkulatorami czasów modlitwy, dat ruchomych świąt i koordynacji kalendarzowej. Ich mistrz, Czcigodny Beda, mnich z Northumbrii, który zmarł w 735 r., pisał zarówno o physica, jak i computus, i datował wydarzenia anno domini od roku, który obecnie uważa się za pierwszy w epoce chrześcijańskiej. Fizyka Bedy — jego zrozumienie ruchów planet i ciał niebieskich, obrotów nieba i wzajemnej zamiany żywiołów — pochodziła z Historii naturalnej Pliniusza i komentarzy do Heksaameronu autorstwa świętych Bazylego i Ambrożego. Z tych samych źródeł Beda dowiedział się, że „pływ oceanu podąża za księżycem, jakby ciało niebieskie ciągnęło za sobą wody, a następnie je odpychało” (stąd święci) i że ze względu na czas potrzebny, aby zdarzenia niebieskie wpłynęły na Ziemię, występuje opóźnienie między przyptywem a południkowym przejściem Księżyca (Pliniusz). Wiedza lokalna skłoniła następnie Bedę do ważnego wniosku, niegdyś uznanego za jedyny oryginalny wkład do fizyki z łańskiego Zachodu w ciągu 800 lat: różnica czasu między południkowym przejściem Księżyca a następującym po nim przyptywem jest stała w każdym miejscu. Zagadka pływów nabrała więc dodatkowego skomplikowania. Wiedza Bedy dotarła na kontynent za pośrednictwem Alkuina z Yorku, który był głównym doradcą Karola Wielkiego w sprawach cywilizacyjnych. Alkuin ożywił program nauczania sztuk wyzwolonych i pobudził zainteresowanie matematyką rekreacyjną. Broszura przypisywana mu zawiera pięćdziesiąt trzy odwieczne problemy, na przykład przeprawy przez rzekę, jak w znanej zagadce misjonarzy i kanibali, oraz podział majątku. Jego gry arytmetyczne mogły zainspirować niektórych studentów do kontynuowania nauki na computus, na temat którego napisał traktat; ale gdy „renesans karoliński” dobiegł końca, pozostawił swoich polimatów w nieświadomości geometrii. Jednym z zadań Alkuina było pisanie przeciwko chrześcijańskiej herezji, która rozwijała się w Umajjadzkim Toledo. Kultura Umajjadów omamiła tych heretyków „arabską pompatycznością języka”, ogrodami, bibliotekami i pałacami, uczonymi, artystami i muzykami, a dla tych o zacięciu technicznym, ulepszeniami w obróbce metali, rolnictwie, wodociągach i handlu. Jednak to nie Alkuin uratował te zbłąkane owce, ale małe chrześcijańskie królestwa hiszpańskie, które skorzystały z typowych podziałów w państwach islamskich, aby zdobyć Toledo w 1085 r. Chrześcijańscy uczeni, którzy podążali za chrześcijańskimi generałami, nie przejmowali się arabską poezją. Chcieli nauczyć się

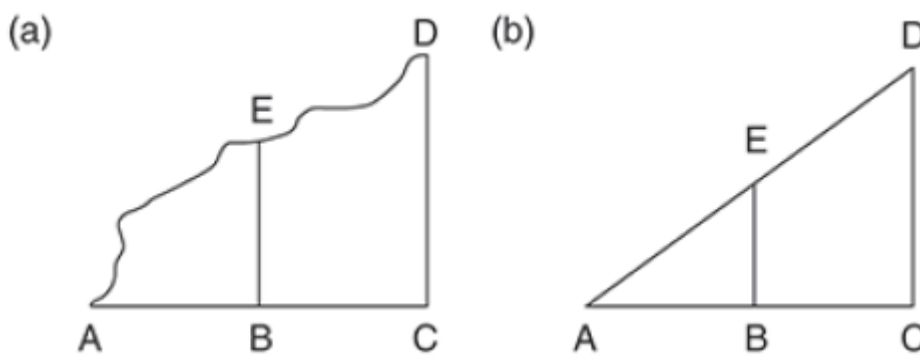
physica, filozofii, astronomii i matematyki, o których wiedzieli, że im brakuje; jak przyznał jeden z nich, „nasza cywilizacja jest infantylna w porównaniu z ich cywilizacją”. Najwcześniejsze prace tłumaczeniowe na dużą skalę w Hiszpanii odzwierciedlały wysiłki w Bagdadzie 400 lat wcześniej. Arcybiskupi Toledo odgrywali rolę wczesnych patronów Abbasydów. Tłumacze ponownie wymyślili terminy techniczne poprzez transliterację, przekazując angielskiemu zenith, nadir, azimuth, almanac, algebra, Aldebaran i wiele innych nazw gwiazd, alkali, alembic, elixir, alcohol, things to eat (apricot, artichoke, sorbet) i agentów islamskiego dobrobytu (bazar, tariff, admiral, arsenal, cotton, muslin, damask). I tak jak uczeni z Bagdadu byli rekrutowani w całym świecie islamskim, tak zachodni ludzie pragnący mądrości przybywali z każdego zakątka chrześcijaństwa. Oprócz korpusu greckiego, naukowe autorytety oczekujące na ich zbadanie obejmowały, aby wymienić tylko nazwiska już napotkane, Albumasar (Abū Ma'shar), Alhazen, Avicenna, Averroes, Avempace, Alfarabus, Alkindus i Māshā' Allāh. Pierwsi Latynosi, którzy próbowali stosować islamską fizykę astrologiczną, wywnioskowali z nadchodzącej zmiany trygonu, której towarzyszyło zgromadzenie planet w Wadze (znak powietrzny), że silne wiatry ze Wschodu zrzucą na Europę pustynie piasku. Neofici obawiali się najgorszego. Przyjazny hiszpański astrolog muzulmański napisał do biskupa Toledo list z zapewnieniem. Ignoranci, którzy dokonywali przepowiedni, „nie wiedząc nic o zaletach ciał niebieskich i skutkach pięciu planet i dwóch ciał niebieskich”, rozumowali dziecinnie. Zbiegiem okoliczności Zachód właśnie wymyślił instytucję nadającą się do opanowania nowej nauki. Była to universitas lub cech zorganizowany przez nauczycieli akredytowanych do nauki, posiadających statut papieża i nadzorowanych przez lokalnego biskupa. W kilku przypadkach, z których najbardziej znanym była Bolonia, studenci utworzyli korporację i zatrudnili profesorów. Założona przez współczesny konsensus w 1088 roku, Bolonia zajmowała się głównie prawem; studium generale, obejmujące w pełni wydział sztuk przygotowawczych i szkoły zawodowe w zakresie teologii, medycyny i prawa, reprezentowane przez uniwersytety w Paryżu i Oksfordzie, datuje się na około 1200 r. Aby dodać więcej dynamiki i zbiegów okoliczności, energiczne nowe zakony żebracze, dominikanie i franciszkanie, wkrótce po ich założeniu w 1216 i 1223 r., odpowiednio, postanowiły utworzyć katedry sztuk pięknych i wydziałów teologicznych. Wielu z największych interpretatorów arystotelesowskiej physica było członkami tych energicznych zakonów. Tak więc, w znacznym przeciwieństwie do islamu, Kościół rzymskokatolicki przyjął racjonalistyczny kalām i stworzył scholastyczną filozofię, w której physica zajmowała ważne miejsce.

Alma mater

Większość nauczycieli sztuk pięknych to mężczyźni, którzy długo pracowali nad doktoratem z teologii. Ich licencjat („początkujący”) dawał prawo do nauczania sztuk pięknych w dowolnym miejscu, a tym samym do wychodowania nowego pokolenia artystów, w swego rodzaju akademickiej sukcesji apostoelskiej. Podobnie jak ich islamscy odpowiednicy, łacińscy uczeni mieli wspólny język i religię; w przeciwieństwie do nich, mieszkańcy Zachodu mieli uniwersytety, które zapewniały ciągłość instytucjonalną i uporządkowaną konkurencję w studiowaniu ogólnych przedmiotów uznawanych za przydatne dla teologii i świeckich zawodów prawniczych i medycznych. Nadzór biskupi, profesorowie duchowni i powszechne uprawnienia nauczycielskie nie tworzyły jednolitości programu nauczania ani opinii. Mistrzowie sztuk pięknych faworyzowali filozofię Arystotelesa jako najlepszą dostępną wiedzę, którą można osiągnąć samym rozumem. Teologowie początkowo sprzeciwiali się jej ze względu na jej nowość, a także, co bardziej zdecydowane, dlatego, że nauczająca wielu rzeczy odrażających dla wiary katolickiej. I tak statuty Uniwersytetu Paryskiego uchwalone w 1215 r. wymagały od kandydatów na licencjat sztuk pięknych studiowania logiki i etyki Arystotelesa, ale zabraniały publicznego czytania jego physica i metafizyki. Po tym, jak studium generale w Tuluzie (założone w 1229 r.) ogłosiło, że zezwala na te prace, papież Grzegorz IX nakazał Uniwersytetowi Paryskiemu oddzielenie w nich użytecznego materiału od błędnego i skandalicznego. Wkrótce mistrzowie sztuk pięknych w Paryżu nauczali

awerroistycznego Arystotelesa i bronili swoich prezentacji błędnych i skandalicznych doktryn jako wypełniających obowiązek komentatora wobec autora. Ta historyczna metoda wprowadzania naturalistycznej *physica* trwała przez czas nauczycieli Galileusza. Jednak nie przyjęła się w średniowiecznym Paryżu. W 1277 r. biskup Etienne Tempier, po otrzymaniu rekomendacji komisji teologów, zakazał ponad 200 szkodliwych twierdzeń, które rzekomo znaleźli u Arystotelesa. Dzięki temu pozornemu zniesieniu wolności akademickiej Tempier uwolnił paryski wydział od niewolniczej dosłownej interpretacji tekstów i otworzył drogę do szerszych i bardziej szalonych spekulacji. Uniwersytet w Oksfordzie, który wraz z Paryżem stworzył najbardziej zaawansowaną *physica* późnego średniowiecza, przyjął zakazy podobne do tych Tempiera. Trwała korekta filozofii Arystotelesa poprzez prawdę objawioną była dziełem kosmopolitycznego świętego, Tomasza z Akwinu, urodzonego we Włoszech, wykształconego w Paryżu i Kolonii pod okiem innego świętego wykładowcy Arystotelesa, Alberta Wielkiego, i działającego jako mistrz dominikański w Paryżu i Rzymie. Aby dostosować Arystotelesa do Objawienia, Tomasz zastąpił jednostkę Uniwersalnego Poruszyiciela trójjedynym chrześcijańskim Bogiem, a Inteligencji aniołami, podobnie jak zrobili to neoplatonicy, i wyeliminował błędy naturalistyczne dotyczące Stworzenia, duszy, próżni, przemieszczenia świata itd. Zachował kwintesencję sfer niebieskich, czterotorowy cyrk ziemskich elementów, meteorologię i wszystkie parafernalia formy i materii. Dante traktował obraz świata Tomasza jako wielki teatr dla swojej podróży przez Ziemię do pępka Diabła, a stamtąd przez antypody, w górę Góry Czyścica i obok planet do boskiej obecności poza sferą gwiazd. Po drodze Dante zatrzymał się przy sferze Słońca, aby porozmawiać z cieniem św. Tomasza i jego kręgiem jedenastu mędrców. Bada był wśród nich, najdalej od Tomasza; najbliższe odcienie należały do jego nauczyciela Alberta i Sigera de Brabant, mistrza awerroistycznego arystotelizmu i nieustępliwego przeciwnika Tomasza w życiu. Ich zestawienie w niebie sugeruje, że roszczenia rozumu zasługują na wysłuchanie, nawet jeśli są w pozornym konflikcie z objawioną prawdą. Teologowie scholastyczni objaśniali *physica*, aby wyjaśnić problemy doktrynalne. Weźmy dobroczynność. Co skłania filantropa do dawania? Ponieważ w filozofii arystotelesowskiej pytanie to mieściło się w kategorii ruchu, teologowie dobroczynności mogli wykorzystać koncepcje opracowane w celu analizy zmian fizycznych. Jeśli popchnięcie Ducha Świętego powoduje działanie filantropa, zbieracze funduszy powinni spodziewać się, że dawanie osłabnie tak samo, jak uderzony dzwon milknie. Mimo to dzwonenie trwa krótko, a czasami tak samo dzieje się z dobroczynnością. Co powoduje tę wytrwałość? Serce przenosi ruch na dzwon, gdy Duch Święty przekazuje dobroczynny impuls filantropowi. Tak więc koncepcja nadanego impulsu, czy to ulotnego, czy trwałego, zadomowiła się w średniowiecznej *physica*. Zastosowana do lokomocji, pozwalała strzałom latać bez popychania ich przez powietrze i wyjaśniała przyspieszenie spadających ciał jako sumę impulsów uzyskiwanych w każdej minucie lub łokciu opadania. Zakazanie awerroistycznego arystotelizmu zachęciło do krytyki podstawowych pojęć formy i istoty. Czy „psowatość” istnieje, czy też „pies” to po prostu wygodna nazwa dla grupy zwierząt? Druga alternatywa, nominalizm, miała swojego głównego orędownika w osobie Williama Ockhama. W wykładach, które wygłaszał w Oksfordzie jako inceptor (licencjat sztuk pięknych pracujący na teologii), nalegał, że esencje lub wspólne natury nie istnieją i że nie można wiedzieć, że ogólne twierdzenia dotyczące grup lub klas są prawdziwe. „Czcigodny Inceptor” (tak nazwany, ponieważ nigdy nie ukończył studiów) utrzymywał, że nic nie ogranicza działania Boga, poza niemożnością objęcia sprzeczności; że tylko doświadczenie, a nie a priori dedukcja, może zatem ustalić, co istnieje; i że przy wyjaśnianiu pozornych relacji między rzeczami należy powoływać się na jak najmniejszą liczbę możliwych przyczyn („brzytwa Ockhama”). Nominalizm faworyzuje opis nad wyjaśnieniem. Stąd znajdujemy w XIV-wiecznym Oksfordzie innowację wprowadzoną przez współczesnego Ockhamowi Thomasa Bradwardine'a, aby omówić wielkie pytanie, jak zmienia się forma substancji? Zamiast irytować się przyczynami zmian, Bradwardine i inni w Merton College w Oksfordzie rozróżniali ruchy ze stałą prędkością i z jednostajnym przyspieszeniem i wywnioskowali, że w lokomocji całkowita odległość pokonana od spoczynku w danym czasie przy stałym przyspieszeniu

jest połową odległości, którą pokonano by z maksymalną prędkością w tym samym czasie („zasada Mertona”). Nie stosowali bezpośrednio swojej zasady, nawet do swobodnego spadku. Najbardziej wybitnym nauczycielem fizyki na Uniwersytecie Paryskim w XIV wieku był Jean Buridan, znany obecnie głównie ze swojego osła - osła o umyśle tak logicznym i rygorystycznym, że umierał z głodu z braku wystarczającego powodu, aby wybrać między dwoma równie atrakcyjnymi balotami siana. Buridan był nominalistą, który chciał wykroić przestrzeń dla żywej arystotelesowskiej physica pomiędzy ogłupieniem awerroizmu i woluntaryzmem Ockhama. Śmiałym krokiem zastosował koncepcję impetu do sfer niebieskich. Nie potrzebowałyby aniołów ani Inteligencji, aby je zainspirować, gdyby Bóg dał im początkowy impuls, a kwintesencja zachowała impet. Buridan zauważył ponadto, że Ziemia musi się trząść z powodu erozji i samoistnego ruchu istot żywych, które nieustannie przesuwają jej środek ciężkości. Być może Ziemia mogłaby nawet obracać się wokół środka wszechświata i pozwolić niebiosom odpocząć? Te pojęcia należy docenić jako wskazówki dotyczące tego, jakie rzeczy mogłoby wytworzyć wolne myślenie w ramach Arystotelesa. Nagrodzona uczennica Buridana, Nicole Oresme, wymyśliła wygodną i wpływową, choć mylącą, reprezentację reguły Mertona. W nim oś pozioma lub „długość geograficzna” reprezentuje przestrzeń lub czas, a jej skojarzona oś pionowa lub „szerokość geograficzna” odpowiedni stopień przypadkowej jakości, takiej jak miejsce, ciepło lub kolor.



W lokomocji przypadkiem było miejsce; szerokość geograficzna – prędkość; a długość geograficzna – obojętnie przestrzeń lub czas. Obraz „szerokości geograficznej form” ruchu przy stałej prędkości to prostokąt, przy stałym przyspieszeniu trójkąt lub trapez. Jeden z argumentów Arystotelesa przeciwko możliwości istnienia próżni czyni prędkość v proporcjonalną do pchnięcia P przez poruszającego i odwrotnie proporcjonalną do oporu R ośrodka, z czego wynika absurd, że prędkość byłaby nieskończona w próżni i skończona, nawet gdyby $R > P$. Avempace uniknął tych konsekwencji, zakładając $v \propto (P - R)$. Bradwardine i Oresme rozważali alternatywę często przedstawianą anachronistycznie jako $v \propto \log(P/R)$. Miała ona teoretyczną zaletę zachowania argumentu Arystotelesa przeciwko próżni i uczynienia $v = 0$, gdy $P = R$. Nauka, która według późniejszych sędziów uczyniła XIV wiek „wiekiem Buridana”, pojawiła się w całości na Wydziale Sztuk Pięknych w Paryżu. Buridan nie kontynuował nauki teologii, ale pozostał w sztukach pięknych. W rozwoju o zasadniczym znaczeniu dla wszystkich studiów humanistycznych, wydziały sztuk pięknych wzmocniły się w stosunku do wydziałów zawodowych. Długoterminowe kultywowanie specjalnych przedmiotów stało się możliwe i pozwoliło na awans wraz z wiekiem, reputacją i obowiązkami administracyjnymi. Podczas gdy Bradwardine i Oresme kontynuowali kariery duchowne (Bradwardine pełnił przez miesiąc funkcję arcybiskupa Canterbury, Oresme przez kilka lat funkcję biskupa Lisieux), Buridan awansował na stanowisko rektora wydziału sztuk pięknych i otrzymał beneficja, aby wesprzeć swoje studia. Jednak śmierć zrównuje wyróżnienia, a Czarna Śmierć bez rozróżnienia zakończyła życie rektora, biskupa, arcybiskupa i czcigodnego Inceptora.

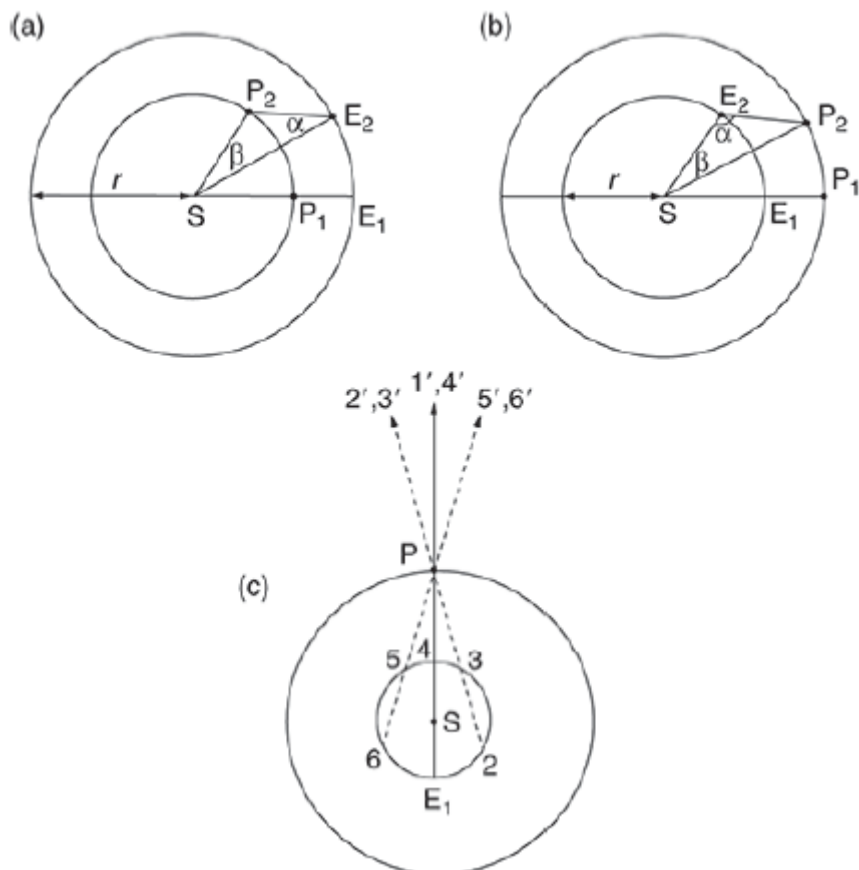
Matematyka mieszana

Podobnie jak teoria impulsu miłosierdzia, statyka (*scientia de ponderibus*) i optyka (*perspectiva*) miały wpływ na religię chrześcijańską. Średniowieczna statyka rozwiązała palący problem *gravitas in situ*, tendencji *T* ciała do zsuwania się po równi pochyłej, co odnosiło się do łuków i kopuł. Thābit ibn Qurra i Avempace sprawili, że *T* jest równe ciężarowi ciała *W* pomniejszonemu o stosunek wysokości płaszczyzny *h* do jej długości *L*, $T = (h/L)W$. Ich zachodni następca, Jordanus Nemorarius, który pisał na początku XIII wieku, połączył dynamiczne podejście pseudoarystotelesowskiej Mechaniki z analizą geometryczną w stylu Archimedesesa; jego zestawienie starożytnych i arabskich wkładów do nauki o ciężarach służyło Zachodowi przez dwa lub trzy stulecia. Mówiono, że eksperci w *scientia de ponderibus* mogli ważyć łaskę boską, jeśli wiernie wdrożyli teorię Jordanusa. Światło Stworzenia, Tęcza Przymierza i przefiltrowane kolory w gotyckich katedrach zainspirowały chrześcijan do studiowania optyki. Robert Grosseteste, wykształcony w Oksfordzie i Paryżu, pełnił funkcję dyrektora studiów z zakresu fizyki i matematyki u franciszkanów z Oksfordu. Zaczynając od początku, Grosseteste wyobrażał sobie, że światło Stworzenia rozprzestrzeniło się jak neoplatońska emanacja, tworząc przestrzeń, sfery niebieskie i resztę kosmosu. Ten *lux* (stworzone światło) manifestował się w zależności od tego, gdzie działa jego *lumen* (rozchodzące się światło). *Lux Grosseteste'a* znalazł idealne medium w Rogerze Baconie, również wykształconym w Oksfordzie i Paryżu, gdzie nauczał *physica Arystotelesa* i w 1257 roku został franciszkaninem. Ta zmiana kariery okazała się poważnym błędem. Generał Zakonu, który został świętym Bonawenturą, nie popierał studiów niemających bezpośredniego związku z teologią i odrzucał dwie gałęzie *physica*, alchemię i astrologię, które Bacon cenił. Jego przełożeni uwięzili go w 1277 r., roku zakazów Tempiera. Rozwój optyki Grosseteste'a przez Bacona odwoływał się do „mnożenia gatunków”, sferycznej propagacji światła z punktów luksów, co służyło również jako fizyczny model wpływu astrologicznego. *Perspectiva* Bacona zawierała zasady optyczne Alhazena, w tym formowanie obrazu, z wyjątkiem *intromisji*. Próbując następnie pomnożyć swój wpływ, Bacon zaprojektował projekt, aby obalić niewierzących. Wymagał on znajomości *physica* i *scientia experimentalis*, „całkowicie nieznaney ogółowi studentów”. Ta nowa nauka, której sam Bacon nie praktykował zbyt wiele, badała takie środki leczenia heretyków, jak alchemiczne transmutacje, wieczne lampy i nieodparte materiały wybuchowe. Obserwacje Bacona obejmowały zagadkowe odkrycie, że maksymalna wysokość tęczy wynosi 42°. W pierwszym opisie fizyki tęczy Bóg napisał: „Stanie się, gdy sprowadzę chmurę na ziemię, że łuk będzie widoczny na obłoku... A łuk będzie na obłoku”. Subtelny jest Pan! Czy miał na myśli, że łuk istnieje na obłoku, czy że widzimy go tylko tam? Bacon wybrał drugą opcję i wywnioskował, że obserwator tworzy łuk z promieni ulegających odbiciu i załamaniu w kroplach deszczu. Odmiany tej idei pojawiają się w wpływowych pracach innych teologów: w *Perspectiva* wywodzącej się z Alhazena autorstwa Erazma Ciołka Witelo (polskiego teologa wykształconego w Paryżu i Padwie) oraz w traktacie *De Iride* autorstwa Teodoryka z Freibergu (dominikanina, który studiował i nauczał w Paryżu), który z szacunkiem i geometrycznie śledził promienie tęczy ze Słońca poprzez ich odbicia i załamania do oka. 42° pozostało tajemnicą.

Świeże importy

Wraz z asymilacją grecko-muzułmańskiego dziedzictwa przez nowe uniwersytety, inne ważne materiały przybywały wraz z ludźmi uciekającymi z Bizancjum zniszczonego przez krzyżowców i zagrożonego przez innych barbarzyńców, a także z badaniem archiwów włoskich kościołów i klasztorów. Wiele greckich rękopisów pojawiło się w ten sposób we Włoszech, zanim Wschodnie Cesarstwo Rzymskie ostatecznie upadło pod naporem Turków w 1453 r. Obejmowały one dzieła Platona i neoplatoników, greckie wersje Ptolemeusza i Archimedesesa oraz fragmenty stoików, sceptyków i atomistów. Podobnie jak nowa instytucja, uniwersytet, przypadkowo powstał, aby przyjąć dziedzictwo arabskie, tak nowy ruch społeczny, włoski humanizm, który rozpoczął się wśród

wykształconych sekretarzy służących książętom nowych miast-państw, utożsamiał się z językiem i literaturą grecką. Grecki Almagest, który najśłynniejszy z uczonych emigrantów, Johannes Bessarion, późniejszy kardynał rzymskokatolicki, przywiózł do Włoch, spuścił kurtynę starożytnej astronomii. Podobnie jak nieśmiali studenci, którzy mają tendencję do obwiniania siebie za to, że nie rozumieją swoich nauczycieli, astronomowie Zachodu zakładali, że Ptolemeusz miał wszystkie odpowiedzi. Ale kiedy protegowani Bessariona Georg Peurbach i uczeń Peurbacha Johannes Regiomontanus (Uniwersytet Wiedeński) zbadali grecki Almagest, odkryli, że nie wyjaśnia on problemów astronomii lepiej niż wersje wykonane z arabskiego. Podczas gdy oczyszczony Ptolemeusz rozbijał nadzieje humanistycznych astronomów, inni tłumacze odzyskiwali inne rozczarowujące prawdy. Pod wrażeniem intelektualnych emigrantów z Bizancjum, Cosimo I de' Medici pragnął wskrziesić Akademię Platońską we Florencji. Jej wielkim projektem było tłumaczenie Platona, Plotyna i innych neoplatońskich filozofów. Cosimo powierzył to zadanie Marsilio Ficino, któremu nakazał zacząć od zlepkę myśli chrześcijańskiej, neoplatońskiej i gnostyckiej zebranej w III wieku n.e. pod imieniem Hermes Trismegistus. Większość humanistów uważała te pisma za bardzo starożytne, a Ficino, pod wrażeniem ich pozornej antycypacji Pisma Świętego, uważał, że Hermes był współczesny Mojżeszowi lub być może samemu Mojżeszowi. Hermes nauczał między innymi, że wpływy niebieskie można uchwycić w talizmanach. Physik, który jest wystarczająco chętny do eksperymentowania, może opanować moce astrologiczne. Złatinizowany Platon z Akademii Platońskiej rozpowszechnił pitagorejską doktrynę, która uczyniła matematykę królową physica, a nie co najwyżej służącą. W 1464 roku, gdy Ficino dopiero zaczynał swoje tłumaczenia, Regiomontanus promował pitagorejską wizję w wykładzie w Padwie na temat islamskiej astronomii i astrologii. Wykład wychwalał astrologię jako najwyższą, najszlachetniejszą i najtrudniejszą gałąź matematyki, dzięki której „nie mniej niż przez inne sztuki, jesteśmy oddzieleni od dzikich zwierząt”. Regiomontanus wywnioskował ze swojej zdolności opanowania „anielskiej sztuki” astrologii, że ludzkość, magnum miraculum Hermesa, może stać tak wysoko na skali bytu jak demony. Wśród astronomów zachęconych tą refleksją był Mikołaj Kopernik, urodzony w roku, w którym Regiomontanus opublikował uosobienie teorii planet Ptolemeusza autorstwa Peurbacha (1473). W wieku 23 lat, po studiach na Uniwersytecie Krakowskim, udał się do Włoch, aby uczyć się prawa i medycyny w ramach przygotowań do kariery kościelnej. Nauczył się również wystarczająco języka humanistów, aby przetłumaczyć kilka greckich poezji. Jego późniejsze stanowisko jako kanonika katedralnego w regionie, o który spierali się polscy i niemieccy książęta, a także Rycerze Pruscy, pozostawiło mu niewiele czasu na dopracowanie swojej wersji właściwej astronomii. To wywołało sprzeciw wysunięty przez Awerroesa i innych użycie przez Ptolemeusza niewłaściwych urządzeń, takich jak punkt ekwantowy. Kopernik usunął go, używając konstrukcji, które zamieniają ruch kołowy na prostoliniowy, prawdopodobnie zaczerpniętych od arabskich astronomów („para al-Tūsiego”), chociaż nie ustalono żadnej przekonującej ścieżki transmisji. Ale śmiałość i pewność siebie, które skłoniły Kopernika do pójścia dalej niż usunięcie domniemanych skaz punktu ekwantowego i umieszczenia Słońca w centrum świata, nie miały odpowiednika w astronomii islamskiej. Opis pozornych ruchów Słońca, Księżyca i gwiazd jest równoważny, niezależnie od tego, czy Słońce, czy Ziemia stoi w miejscu. Jednak czyniąc Słońce centrum ruchu, Kopernik mógł zrobić to, czego nie potrafił Ptolemeusz: obliczyć odległość od Słońca do planety jako wielokrotność promienia orbity Ziemi. Jego uporządkowanie planet i wynikające z tego wyjaśnienia ograniczonych wydłużeń Merkurego i Wenus oraz retrogradacji Marsa, Jowisza i Saturna były kotwicami jego twierdzenia, że stworzył system z bibelotów Ptolemeusza.



Arcydzieło Kopernika, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, ukazało się w 1543 r. z niepodpisanym wstępem Andreeasa Osiandera, który widział rękopis w drukarni. Przewidując sprzeciwy ze strony teologów, powtórzył zwykłe argumenty przeciwko traktowaniu konstrukcji matematycznych jako prawd natury. Książka ta nie wzbudzała entuzjazmu teologów przez siedemdziesiąt lat. Jednakże natychmiast wywołała zamieszanie wśród physici, którzy zauważyli, że jest ona bardziej sprzeczna z physica niż fikcje Ptolemeusza. Kopernik odniósł się do niektórych oczywistych zarzutów, takich jak usunięcie Ziemi z uniwersalnego centrum ciężkich ciał, brak siły, która mogłaby ją poruszyć, pionowy spadek spadających ciał itd. Niektóre z jego odpowiedzi były fizyczne (oddzielone części planet spadają do swojego środka, obiekty na obracającej się planecie uczestniczą w jej ruchu) i niektóre retoryczne odwołania do starożytnych pisarzy cenionych przez humanistów (Plutarch, pitagorejczycy, Platon, Wergiliusz, Hermes, Sofokles), którzy mówili rzeczy sprzyjające wierze w wszechświat ze Słońcem w centrum. Odpowiedzi Kopernika pozostawiały wiele do zrobienia, zanim można było naszkicować odpowiednie zastąpienie standardowej physica, z odpowiednią rolą dla matematyki. Podczas gdy przyczyna matematyki jako filozofii przyrody rozwijała się dzięki pomocy odkrytej na nowo elokwencji Platona, humaniści stworzyli zagrożenie dla arystotelesowskiej physica w postaci łacińskiej poezji. To było dawno zaginione dzieło Lukrecjusza, odnalezione na początku XV wieku i wydrukowane po raz pierwszy w 1473 roku. Pojęcie, że nasz świat jest tylko jednym z nieskończonej liczby, złożonej bez celu z niestworzonych atomów, nie było zdrową doktryną dla chrześcijan. Św. Hieronim przedstawił mnisie wyjaśnienie przewrotności poematu, że afrodyzjaki doprowadziły jego autora do szaleństwa. Niemniej jednak piękno opisów Lukrecjusza dotyczących sprzężeń atomów polecało jego poemat wszystkim miłośnikom łaciny i pomogło w sugerowaniu atomizmu jako alternatywy dla physica szkół, matematycznych platoników i hermetycznego opisu wpływów okultystycznych. Podobnie jak

awerroizm, atomizm stał się niebezpiecznym tematem w XVI wieku, kiedy różne sekty chrześcijańskie chętnie rzucały na siebie oskarżenia o herezję, a arystotelesowska *physica* została oficjalnie uwikłana w teologię i niebezpieczną doktrynę Eucharystii. Tolerancja dla niejednoznaczności w średniowiecznej myśli, reprezentowana przez kompromisy między rozumem a objawieniem, zaczęła ustępować miejsca dokładniejszym formom wiedzy i działania w XV i XVI wieku. Głównymi przyczynami tego zahartowania były: powstanie potężnych, konkurujących ze sobą zakonów w Kościele rzymskokatolickim; reformacja protestancka i katolicka odpowiedź; odkrycie nowego świata i jego eksploracja; oraz wynalezienie druku. Kontrowersje religijne wymagały jasnego zdefiniowania punktów spornych między zakonami katolickimi i sektami protestanckimi. Kościół katolicki odpowiedział, wzmacniając dogmat i dyscyplinę poprzez dekrety Soboru Trydenckiego i ustanawiając reżim policji myśli: Świętą Inkwizycję Rzymską (Święte Oficjum), Kongregację Indeksu Ksiąg Zakazanych i Towarzystwo Jezusowe (jezuici). Po stronie świeckiej, europejskie odkrycie Ameryki nasiliło biurokratyczne potrzeby państw konkurujących w nowym świecie. Zarządzanie flotami, śledzenie metali szlachetnych, badanie nowych posiadłości oraz nauczanie i doskonalenie sztuki nawigacji otworzyły nowe możliwości dla matematyków stosowanych, którzy już byli poszukiwani jako architekci, urbaniści i inżynierowie hydraulicy. Obliczenia zależą od twardych krawędzi. Duże zbiory nieznanego materiału przywiezionego z wypraw badawczych oraz relacje o obcych ludach, które nie miały szczęścia bycia Europejczykami, zwiększyły zapotrzebowanie na umysły zdolne i energiczne w zaprzeczaniu i rozróżnianiu. A aby dokończyć ten pospieszny inwentarz, drukowanie, poprzez zastąpienie kosztownego i niedokładnego kopiowania rękopisów mniej lub bardziej dokładnymi reprodukcjami, dało uczonym dostęp do standardowych tekstów. Standaryzacja i definicja nie rozwiązywały sporów, ale zwiększały prawdopodobieństwo, że strony sporu spierały się o te same rzeczy. Wiele konsekwencji dla fizyki utwardzania i standaryzacji można odkryć w dziele Galileusza. Gdy był profesorem matematyki na Uniwersytecie w Padwie w latach 1592–1610, przyjmował prywatnych studentów z arystokratycznej rodziny, aby uczyć ich obsługi przyrządów pomiarowych. Jego biegłość w projektowaniu praktycznych urządzeń pozwoliła mu w ciągu kilku miesięcy przekształcić lunetę o niewielkim powiększeniu w teleskop o mocy 30-krotności. Prasa drukarska pomogła „nowemu Kolumbowi” rozprzestrzenić wieści o jego nieprawdopodobnych odkryciach teleskopowych — góry na Księżycu, satelity wokół Jowisza, gwiazdy w Drodze Mlecznej — ponieważ dała mu dostęp do ksiąg Euklidesa, Archimidesa, Ptolemeusza i Kopernika, z których czerpał inspirację. Gdy interpretował swoje odkrycia w sposób sprzeczny z Pismem Świętym, do gry wchodziły surowe instytucje katolickiej kontrreformacji. Wnioski Galileusza wywindowały astronomię na arenę sporną fizyki, a on sam awansował z profesora matematyki na tolerancyjnym Uniwersytecie Weneckim w Padwie na niebezpieczne stanowisko „Filozofa i Matematyka Wielkiego Księcia Toskanii” na bigoteryjnym dworze Medyceuszy we Florencji. Przyjaciel Galileusza, papież Urban VIII, był kulturalnym florentyńczykiem i człowiekiem świata. Jednak wierzył na podstawie silniejszej niż Platon, że niewspomagany umysł ludzki nie może dojść do pewnych prawd o świecie przyrody. Urban podążał logicznym tropem Bożej Wszechmocy i Wolności do wniosku, że niezależnie od tego, jak dobrze nasze teorie pasują do faktów, Bóg mógł wymyślić, aby wywołać te same zjawiska na niezliczone inne sposoby. Galileusz odpowiedział, że jego zadaniem nie było wyobrażanie sobie, jak Bóg mógłby coś zrobić, ale odkrycie wybranej przez Niego metody. Żarliwa obrona teorii Kopernika przez Galileusza, przedstawiona w *Dialogu o dwóch najważniejszych systemach świata* (1632) szesnaście lat po tym, jak Święte Oficjum uznało heliocentryzm za sprzeczny z Pismem Świętym i „filozoficznie absurdalny”, przyspieszyła jego proces, potępienie, upokorzenie i wieczny areszt domowy. To, co uczyniło Galileusza bohaterem dla późniejszych fizyków, to jednak nie jego bierne cierpienie w imieniu Kopernika, ale jego aktywny atak na fizykę pod sztandarem matematyki. Jako młody profesor na Uniwersytecie w Pizie zastąpił rzekomo arystotelesowski wzór $v \propto P/R$ regułą Avempace’a, interpretując $P - R$ w terminach Archimidesa jako różnicę między ciężarem właściwym spadającego ciała i stawiającego opór ośrodka. Gdyby Galileusz zrzucił ciężarki różnych materiałów z Krzywej Wieży, jak głosi legenda zapoczątkowana

przez jego ostatniego ucznia, Vincenzo Vivianiego, nie spodziewałby się, że będą one spadać z tą samą prędkością. Galileusz osiągnął większe oświecenie, porzucając poszukiwanie przyczyn. Zrezygnował z Archimedesesa, tak jak z Arystotelesa, i rozpoczął swobodny spadek bez żadnego celu w zasięgu wzroku, poza matematycznym opisem podróży. Odkrył i potwierdził za pomocą pewnej mieszanki eksperymentów i domysłów, że (jak wyraził to po raz pierwszy w 1604 r.) ciała swobodnie opadające ze spoczynku pokrywają w kolejnych odstępach czasu przestrzenie proporcjonalne do liczb nieparzystych, zaczynając od jednego. Przedstawiając swoją regułę za pomocą wykresu identycznego ze średniowiecznym obrazem szerokości geograficznej form, miał, jak to napisał, $\triangle ABE:\triangle ACD = AB^2:AC^2$. Ponieważ zamierzał, aby wykres przedstawiał relacje matematyczne, musiał zdecydować, co oznaczają szerokości geograficzne i trójkąty. Początkowo wybrał oczywisty wybór, przyjmując oś pionową jako odległość upadku, a poziomą prędkość chwilową. Ostatecznie zdał sobie sprawę, że wybór ten prowadzi do niemożliwości. Przyjmując zatem oś pionową jako czas, miał udany wykres, jednak kosztem kontrintuicyjnego utożsamienia linii z czasem i obszaru z odległością. Dzięki tej ofierze lub postępowi osiągnął on obecnie chwalony, ale wówczas nieoczywisty, wynik, że odległość przebyta przy stałym przyspieszeniu od spoczynku jest proporcjonalna do kwadratu czasu, który upłynął. Kinematyczna metoda Galileusza, ignorująca siły i przyczyny, była doskonale dostosowana do rywalizacji o systemy światowe. Okręgi i epicykle Ptolemeusza i Kopernika, które obracały się bez siły fizycznej, są urządzeniami kinematycznymi. Jak wiedział każdy, kto miał wiedzę, bez fizyki (lub teologii!) określającej środek świata, okręgi można by odnieść do Słońca lub Księżyca, a nie do Ziemi. Stąd też żadnego z głównych systemów światowych ani ich głównego konkurenta — systemu opracowanego przez najdokładniejszego z obserwatorów, Tycho Brahe, w którym planety krążą wokół Słońca, podczas gdy Słońce krąży wokół Ziemi — nie można było uznać za prawdziwy na podstawie samych obserwacji astronomicznych. Galileusz próbował pójść dalej i zredukować wpływ ruchu Ziemi do czysto kinematycznych i geometrycznych relacji, a tym samym pokonać standardowe argumenty fizyczne przeciwko niemu. Opracował kinematyczny argument, aby pokazać, że tylko jeśli Ziemia poruszałaby się tak, jak mówił Kopernik, istniałyby pływy, i opublikował swoją teorię jako prowokacyjne zakończenie swojego Dialogu. Aby obalić wrażenie, że wierzył w potępiony system kopernikański, Galileusz uratował sytuację, ale nie siebie, sprawiając, że głupek Dialogu podkopał wszystkie systemy świata epistemologią Urbana. Papież nigdy nie wybaczył Galileuszowi zniszczenia potężnej doktryny, za pomocą której miał nadzieję odpowiedzieć na wszystkie wyzwania dla Pisma Świętego i papieskich dyktatów, które physica mogła wznieść. Galileusz umieścił swój Dialog w miejscu odpowiednim do dyskusji o sztukach wyzwolonych — pałacu na Canal Grande w Wenecji. Wybrał wenecki Arsenal, kompleks stoczniowy, do swoich Rozpraw o dwóch nowych naukach (1638), w których traktował o wytrzymałości belek i balistyce zewnętrznej. Chociaż miały niewielką wartość praktyczną, jego analizy geometryczne wskazywały, jak mogłaby wyglądać ilościowa fizyka stosowana; a jego technika łączenia stałej prędkości nadawanej przez działą z przyspieszonym spadkiem spowodowanym przez grawitację, na podstawie której wyprowadził idealną paraboliczną trajektorię pocisków, stała się podstawą mechaniki analitycznej. Przenosząc swoich dyskutantów z pałacu do warsztatu, Galileusz nawiązał współpracę z kilkoma wykształconymi na uniwersytecie mężczyznami, którzy wykazywali stałe zainteresowanie fizycznymi zasadami praktycznych urządzeń. Jeden z nich, Georg Agricola, lekarz, który praktykował medycynę na górnikach, zilustrował ich techniki tak wyraźnie, że niemal wbił czytelnikowi do głowy pojęcia siły, pędu i ciśnienia. Inny lekarz, William Gilbert, badał magnesy magnetyczne w ramach pierwszego stałego, systematycznego badania eksperymentalnego w długiej historii fizyki. Zafascynowany kompasem magnetycznym, który umożliwiał handel i piractwo Londynu, Gilbert wynalazł przyrządy do pomiaru nachylenia i deklinacji igły magnetycznej poruszającej się wokół kulistego magnesu magnetycznego, który zachowywał się jak mała Ziemia, magnetycznie rzecz biorąc. Jego metoda uzbrajania magnesów w celu zwiększenia ich mocy poinstruowała Galileusza, a jego przesłanka, że Ziemia jest dużym magnesem, zainspirowała Keplera. W obelgach na swoich

przeciwników, „pijanych, szalonych, nadętych... klaunów z literami”, przebił ich obu. Uniwersytet w Lejdzie. Stevin służył w Zjednoczonych Niderlandach jako inżynier wojskowy i kwatermistrz. Chociaż, w przeciwieństwie do Galileusza, Stevin tworzył praktyczne urządzenia, które działały, podjęli wiele tych samych problemów teoretycznych i doszli do podobnych wyników, na przykład skład prędkości i siłę grawitacji na równiach pochyłych. Stevin publicznie opowiedział się po stronie Kopernika w 1608 r., zanim zrobił to Galileusz, i zaproponował metodę znajdowania długości geograficznej na morzu przy użyciu danych magnetycznych, nie bardziej praktyczną niż schemat Galileusza wykorzystujący zaćmienia księżyców Jowisza. Krótko mówiąc, Stevin pisał o niemal całym kanonie matematyki mieszanej i byłby bardziej wpływowy w swoich czasach, a lepiej znany w naszych, gdyby nie napisał tego po holendersku.

Drugie stworzenie

Rewolucja czy integracja?

„Nowa filozofia podważa wszystko | Żywioł ognia jest całkowicie wygaszony | Ziemia jest stracona i żaden rozum człowieka | Nie może dobrze wskazać mu, gdzie go szukać”. John Donne zapisał w ten sposób wstrząsy w świecie nauki, wstrząśniętym odkryciami Kolumba niebios i niekompetencją wszystkich starożytnych systemów myślowych, poza sceptykami, w dostosowywaniu się do współczesnej wiedzy. Przez pewien czas filozoficzną modą był sceptycyzm, który, wzmocniony przez odzyskany podręcznik sceptyków Sekstusa Empiryka, miał wspólną przyczynę ze swoim emocjonalnym przeciwieństwem, woluntaryzmem Ockhama i Urbana. Rzucenie całej filozofii w wątpliwość zainspirowało trzy ważne schematy umieszczenia *physica* na solidnych fundamentach lub ograniczenia jej roszczeń do zabezpieczenia wiedzy naturalnej. W połowie XVIII wieku schemat Newtona zwyciężył nad schematami Kartezjusza i Leibniza, choć tylko poprzez sprowadzenie ich rygorystycznej logiki do łatwego „rozumu” Oświecenia i zastąpienie ich specyfikacji miejsca Boga w Jego stworzeniu przez upodobnienie Go do Natury. Oświecony newtonizm przygotował drogę do wynalezienia fizyki i jej pierwszego standardowego modelu, przewyższając dychotomie między matematyką mieszaną a fizyką oraz między mechaniką niebieską a ziemską. Pojawienie się pomyślnej komety w 1577 roku — która, zgodnie z pomiarami paralaksy, musiała przepłynąć przez regiony planetarne — podkreśliło potrzebę mechaniki niebieskiej, która obejdzie się bez sfer krystalicznych. Supernowe z 1572 i 1604 roku, również zlokalizowane poza Księżycem, ujawniły, że kwintesencja była podatna na zmiany. Asystent i następca Tychona jako matematyk cesarza rzymskiego, Johannes Kepler, nie tylko uwolnił planety z ich 2000-letniego krystalicznego więzienia, ale także zerwał ze wszelkim autorytetem, starożytnym i współczesnym, utrzymując, że planety wykorzystują swoją wolność, opisując eliptyczne orbity, których ogniskiem jest Słońce. Przypuszczał, że Słońce obraca się tak, że jego rozległe promienie popychają planety po okręgach, a siła magnetyczna odkształca okręgi w elipsy. Słoneczna latarnia morska Keplera wyprzedziła odkrycie Galileusza dotyczące obrotu osiowego Słońca o kilka lat. Młodszy współczesny Gilberta na dworze Elżbiety I, Francis Bacon, który awansował na głównego prawnika w kraju, oskarżył filozofię szkoły o zarzuty karne. Nie próbował nowej mechaniki niebieskiej, ale zaproponował nową metodę dociekań, nowy cel dla *physica* i nową instytucję do jej uprawiania. Metoda polegała na zebraniu wszystkich dostępnych informacji na dany temat, rozszerzeniu i poprawieniu ich eksperymentalnie, przesianiu i usystematyzowaniu wyników oraz, poprzez „kluczowe eksperymenty”, podjęciu decyzji między różnymi alternatywami teoretycznymi. Nowym celem było „poprawa stanu człowieka”; „wiedza to potęga”, a *physica* bez praktycznych zastosowań nie jest wcale wiedzą. Instytucją Bacona był dom Salomona wyposażony we wszystkie książki, instrumenty i materiały potrzebne do opracowania następcy Arystotelesa. Nie miała to być rozrywka wolnych ludzi, ani wąskie spekulacje mnichów, ani nawet książkowa nauka profesorów uniwersyteckich, ale systematyczne arystokratyczne badanie eksperymentalne skierowane na eksploatację natury. Chociaż jezuiti,

nauczyciele katolickiej Europy, nadal nalegali na arystotelesowską *physica* jako fundamentalną dla ich filozofii i teologii, większość wykształconych ludzi wiedziała, gdy Bacon zmarł w 1626 r., że nie może ona zajmować swojej pozycji zbyt długo. Atomizm oferował możliwe zastępstwo. Galileusz poparł ją w swoim antyjezuickim *Saggiatore* (1623), a Pierre Gassendi, ksiądz i profesor w Paryżu, schrystianizował Epikura jako paladyna przeciwko arystotelesom i sceptykom. Niemniej jednak Gassendi zakończył się niemal sceptycyzmem, pozwalając Bogu na swobodę zmiany porządku natury. Wyeliminowanie sceptycyzmu i woluntaryzmu, aby zyskać przestrzeń dla fizyki, było opatrnościową misją René Descartesa, którego słynny atak wątpliwości zakończył się zapewnieniem, że Bóg nie oszuka go co do żadnego wniosku, który pojmował z taką samą jasnością i rozróżnieniem, jak wniosek „Myślę, więc jestem” (*Rozprawa o metodzie*, 1637). Zasada ta wymagała, aby Bóg uczynił koniecznym to, co Kartezjusz postrzegał jako takie, i trzymał się swojego pierwotnego planu; zmiana zdania tylko po to, aby pokazać swoją moc, byłaby dziecinna. Kartezjusz poparł te bezpodstawne twierdzenia spektakularnymi osiągnięciami, które, jak twierdził, poczynił dzięki swojej metodzie, co przedstawił w *Esejach* dołączonych do swojej *Rozprawy*. Jeden z esejów przedstawia jego wynalazek geometrii analitycznej — dowód, jak twierdził, że starożytni nie wiedzieli wszystkiego o matematyce. Drugi, o optyce, pokazuje, jak ulepszyć soczewki teleskopu i jak działają soczewki i mięśnie oka. Trzeci esej, o meteorach, przedstawia korpuskularny mechanizm dla większości zjawisk fizycznych, którymi Arystoteles zajął się w swojej *Meteorologica*, a Pliniusz wcisnął do swojej *Historii Naturalnej*. Oferuje również niezwykle wynik, uzyskany przy użyciu prawa refrakcji, $\sin i = n \sin r$, znanego obecnie jako prawo Snella na cześć profesora z Lejdy. Stosując prawo Snella do kropli deszczu, Kartezjusz obliczył, na podstawie znanej wartości współczynnika refrakcji wody n , że maksymalna wysokość łuku pierwotnego musi wynosić 42° Rogera Bacona. *Principia Philosophiae* Kartezjusza z 1644 r. rozszerza podejście korpuskularne na pełne spektrum fizyki. Zaczyna się od praw ruchu wyrażonych matematycznie, które w zasadzie regulują wzajemne oddziaływanie różnie ukształtowanych elementów tworzących świat fizyczny. Te elementy nie są atomami, ponieważ prerażenie Kartezjusza pustką przewyższyło prerażenie Arystotelesa i, pomimo jego twierdzeń, nie przestrzegają jego praw ruchu. Mimo to stworzenie wszechświata z masy, ruchu, kształtu i niemożliwości próżni stanowiłoby wyzwanie dla Demiurga. Kartezjusz stawiał mu czoła, podobnie jak inny Timajos, mitem stworzenia, który wywodzi obecny wszechświat z pierwotnej nieodróżnionowej przestrzeni-materii aktywowanej przez rozkaz Boga: „niech stanie się ruch”. W tym micie ciała niebieskie, z których każde kiedyś znajdowało się jako słońce w centrum własnego wiru, mogą zostać wciągnięte w wiry sąsiadów. Ziemia w ten sposób przechwyciła Księżyc, zanim oba zostały rozdarte przez wir Słońca. To, co układ Ziemia-Księżyc zachował ze swojego pierwotnego wiru, powoduje upadek ciał, pływy i zjawiska magnetyczne szczegółowo opisane przez Gilberta. Cząsteczki o różnych kształtach i ciała ze specjalnymi porami odpowiadają za całą aktywność w widzialnym wszechświecie, w tym za maszynierię ciała. Jedyną substancją na świecie oprócz uniwersalnej materii-przestrzeni jest umysł, który poprzez tajemnicze połączenie z ciałem w szyszynce dostarcza wszystkich kolorów, wrażeń i dramatyzmu życia. Kartezjusz nie przedstawił swojego szerokiego i kapryśnego obrazu świata jako prawdziwego we wszystkich szczegółach. Mit stworzenia nie zgadza się z tym, co Mojżesz mówi nam o metodach Boga, a Kartezjusz nie mógł być pewien, który z wielu mechanizmów, jakie mógł sobie wyobrazić, wybrał Bóg. Galileusz skwantyfikował niewielką część nauki o ruchu w sposób, który Kartezjusz krytykował jako nieregularny, niesystematyczny i pobłażliwy, podczas gdy on, Kartezjusz, wykazał, że fizyka matematyczna jest możliwa, a nawet użyteczna. I w przeciwieństwie do filozofii Arystotelesa, którą tylko wykształceni filozofowie mogli uważać za zrozumiałą, oszczędny system Kartezjusza nadawał się do rozwoju przy użyciu intuicyjnych pojęć dostępnych każdemu, kto potrafił myśleć i czytać po francusku. Najwcześniejsza kadra kartezjuszów składała się z holenderskich lekarzy, których pociągał projekt oparcia medycyny na mechanicznych opisach funkcji ciała i odrzucały staromodne placówki medyczne. We Francji prawnicy, którzy byli w konflikcie z reżimem, który cenił starożytne przywileje wyżej od

istniejących talentów, uczęszczali na wykłady uczniów Kartezjusza. Jedno z ich spotkań przekształciło się w Académie royale des sciences w Paryżu (założoną w 1666 r.). Ponadto wielu z głównych działaczy Royal Society of London (założonego w 1662 r.), na przykład Robert Boyle, flirtowało z filozofią kartezjańską. I tak powstanie pierwszych trwałych akademii nauk zbiegło się z promocją pierwszej filozofii przyrody, wystarczająco kompleksowej, aby zastąpić filozofię Arystotelesa. Podobnie jak równoczesne pojawienie się physica Arystotelesa i uniwersytetów około pięć wieków wcześniej, tak też włączenie filozofii korpuskularnej do akademii nauk dokonało rewolucji. Rewolucja naukowa miała skuteczny mechanizm wojenny, o którym nie pomyślał Kartezjusz: pompę powietrza. Po raz pierwszy pojawiła się w 1654 r. w Ratyzbonie, gdzie jej wynalazca, Otto von Guericke, burmistrz Magdeburga, przywiózł ją, aby zabawić swoich kolegów delegatów na spotkania zwoływane w celu uporządkowania bałaganu pozostawionego przez wojnę trzydziestoletnią. Nadzwyczajna moc niczego coraz bardziej podlegała kontroli eksperymentatorów, gdy Boyle, jego ówczesny asystent Robert Hooke i Christiaan Huygens (wiodący członek Paryskiej Akademii Nauk) zaczęli udoskonalać instrument Guerickego. Przestrzenie pozbawione powietrza były pierwszymi niezawodnie odtwarzalnymi sztucznymi środowiskami, w których można było eksperymentować z naturą. Najwcześniejsze takie eksperymenty, przeprowadzane w pustej przestrzeni nad cieżką w rurze barometru, pochodzą z wczesnych lat czterdziestych XVII wieku, kiedy to Galilejczycy, używając beczki, wody i ołowianej rury, badali, dlaczego zwykłe pompy nie mogą podnosić wody wyżej niż na wysokość 30 stóp. Nagrodzony uczeń Galileusza, Evangelista Torricelli, który zastąpił go jako Wielki Książęcy Matematyk, zastąpił beczkę, ołów i wodę małą misą, szkłem i rtęcią, tworząc w ten sposób kompaktowy przyrząd do pomiaru wysokości, śledzenia pogody i testowania natury pozornie pustych przestrzeni. Takie testy zaprzętały Accademia del Cimento, krótkotrwałą grupę zwolenników Galileusza wspieraną przez Medyceuszy w latach 1657–1667. Odkryli, że próżnia może przenosić światło i magnetyzm, ale nie dźwięk i elektryczność. Najwyraźniej nic nie ma zdolności rozróżniania. Kartezjańskie wysiłki na rzecz powstrzymania próżni stały się mniej przekonujące po tym, jak Blaise Pascal wyjaśnił, że kolumna barometru stoi, ponieważ atmosfera wywiera ciśnienie na rtęć w misie, a nie na pustą przestrzeń na szczycie rury. Boyle i Hooke określili ciśnienie, zamykając próbkę powietrza w rurce w kształcie litery U zamkniętej z jednej strony i wlewając rtęć z drugiej. W 1662 r. Boyle opublikował rzadki przykład wczesnej kwantyfikacji w physica: sprężyna powietrza jest równa jego gęstości (ciśnienie \propto objętość⁻¹). Hooke znalazł podobną zależność dla rzeczywistej sprężyny: siła jest równa rozciągłości, ut tensio sic vis, lub, jak pierwotnie sformułowano, aby zabezpieczyć pierwszeństwo i monopol, „ceiinossttu”. Jak przystało na rewolucję, kartezjanie natychmiast wywołali sprzeciw. Kuratorzy holenderskich uniwersytetów połączyli siły z jezuickimi generałami, zakazując nauczania jakiegokolwiek filozofii poza Arystotelesem. Arcybiskup Paryża zamknął publiczne wykłady z fizyki Kartezjusza, Święte Oficjum potępiło jego filozofię, Indeks zakazał jego dzieł, a papieskie i hiszpańskie władze, które zarządzały Neapolem, uwięziły lekarzy i prawników, którzy bronili jego idei. Gdy dym opadł około 1700 roku, oświecony kartezjanin stał się prototypowym akademikiem w Paryżu. Kariera oratoriana Nicolasa Malebranche’a była wzorowa. Gdy świeżo po szkoleniu scholastycznym nie mógł czytać Kartezjusza bez palpacji serca. Stopniowo stawał się silniejszy i awansował od arystotelesowskiej ciemności do światła matematyki, harmonii fizyki dźwięku i katedry w Akademii. Fizyka dźwięku Malebranche’a łagodziła problemy kartezjanizmu nieekonomiczną doktryną okazjonalizmu, która uważa popychanie (jedyne źródło fizycznej zmiany w pustynnym świecie Kartezjusza) za okazje do ciągłego i wszechobecnego działania Boga na Jego stworzenie.

Matematyka czy fizyka?

Kiedy Newton rozpoczął studia licencjackie w Cambridge w 1661 roku, tamtejsi wybitni myśliciele wpłynęli na filozofię Kartezjusza. Duża część fizyki Newtona rozwinęła się z próby jej zrozumienia, zburzenia i zastąpienia. Rozpoczął pracę w latach 1665–1666, kiedy mieszkał na wsi na farmie swojej

matki, aby uciec przed szalejącą w Cambridge zarazą. Tam zetknął się z legendarnym jabłkiem. Dwie dekady później, będąc profesorem matematyki w Cambridge, połączył lekcję z jabłka z konstelacjami problemów znalezionych w Principia Kartezjusza. Tytuł, jaki Newton nadał swojemu arcydziełu, odzwierciedla inspirację, jaką czerpał z pracy swojego poprzednika, i główny błąd, jaki w niej znalazł. Podczas gdy Principia Philosophiae Kartezjusza zajmowały się, podobnie jak physica Arystotelesa, fundamentem wszelkiej filozofii, Principia Mathematica Philosophiae Naturalis Newtona ograniczały się do kluczowych elementów fizyki matematycznej. Pierwsze owocne zaangażowanie Newtona w pracę z Kartezjuszem dotyczyło udoskonalenia teleskopów. Doprowadziło ono do eksperymentalnego badania kolorów pryzmatycznych, które ze względu na pomysłowość, metodę i staranność ustanowiły nowy standard w naukach fizycznych. Newton skromnie opisał jego główny wynik jako „najdziwniejsze, jeśli nie najbardziej znaczące odkrycie, jakiego do tej pory dokonano w działaniu natury”, przekazując go Królewskiemu Towarzystwu w Londynie, wówczas, w 1672 roku, zaledwie dziesięć lat temu. Odkrył, że światło słoneczne składa się z promieni o różnych kolorach. Pomysłowe, kluczowe eksperymenty wykazały, że każdy promień ma inny i określony współczynnik załamania. Newton dodał do tej kinematyki koloru domniemaną dynamikę, w której promienie światła składają się z cząstek. Ich uwolnienie z rozżarzonych ciał wysyła szybkie impulsy przez wypełniający przestrzeń sprężysty eter. Promień napotykający przezroczyste lub półprzezroczyste ciało przechodzi przez jego powierzchnię lub odbija się od niego zgodnie z fazą wibracji eteru w tym miejscu. Ani chromodynamika Newtona, ani „najdziwniejsze wykrycie”, które ona wyjaśniała, nie zadowolili fizyków przywiązanych do oklepanej koncepcji koloru jako nieczystego światła. Jednym z najgłośniejszych krytyków Newtona był Hooke. Podczas gdy Newton wegetował na farmie, Hooke opublikował swoją wspianą Micrographię, która oprócz pamiętnych szczegółowych ilustracji pchły i innych przedmiotów osobistych widzianych przez jego mikroskop, omawiała kolor jako zmodyfikowane białe światło. Kontrowersje z Hooke'em i innymi spowodowały, że Newton, który wolał dyktować niż się kłócić, odłożył swoją pracę nad światłem i kolorem aż do śmierci Hooke'a w 1703 roku. Następnie Newton opublikował dużą książkę o Opticks (1704) i przyjął stanowisko prezesa Royal Society, którym rządził od 1703 roku do swojej śmierci w 1727 roku. Kilka wydań Opticks służyło jako przewodniki dla kuratorów eksperymentów w stowarzyszeniu poprzez rosnącą liczbę „zapytań” swobodnie poruszających się po physica. Przypuszczalne funkcje eteru (lub kilku eterów) wzrosły, aby objąć grawitację, magnetyzm i przyciąganie elektryczne, podczas gdy inne przypuszczenia pozwalały cząsteczkom ciał na bezpośrednie oddziaływanie w przestrzeni. Niezależnie od ich prawdopodobieństwa, jego przypuszczenia, podobnie jak wiry Kartezjusza, stosowały te same zasady fizyczne do zjawisk niebieskich i ziemskich oraz do niewidzialnego świata. To założenie — że zasady wystarczające do wyjaśnienia widzialnego wszechświata mają zastosowanie uniwersalne — które Newton wyraźnie stwierdził jako regułę filozofowania, kierowało teorią fizyczną aż do XX wieku, co pokazało jego nie do utrzymania. Chwałą Newtona było spełnienie, w jego Principia z 1687 r., nadziei Galileusza na geometryzację grawitacji. Składniki jego rozwiązania to pierwsze prawo ruchu Kartezjusza (zasada bezwładności), zasady swobodnego spadku i składu prędkości Galileusza oraz zasady orbitowania planet Keplera. Newton wykazał, że reguły Keplera wynikały z Galileusza, zasady bezwładności i założenia, że planeta spada w kierunku Słońca wzdłuż linii łączącej ich środki. Ponieważ reguły Keplera pozwalały na podstawienie obszaru na pewien czas, Newton mógł sprowadzić problem wielkości przyspieszenia grawitacyjnego do problemu geometrycznego. Odkrył, że jeśli środek przyciągania znajduje się w ognisku elipsy, siła przyspieszenia maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości między Słońcem a planetą. Zgodnie z historią o jabłku, idea powszechnego ciężenia przyszła Newtonowi do głowy, gdy dostrzegł, że Księżyc powinien spadać w kierunku środka Ziemi, tak jak jabłko. Zakładając, że Ziemia działa zarówno na jabłko, jak i na Księżyc, tak jakby cała jej siła przyspieszająca znajdowała się w jej środku (twierdzenie, które Newton później udowodnił), oszacował przyspieszenie Księżyca i porównał je z wartością wymaganą w jego teorii, aby utrzymać go na orbicie

kołowej. Te dwa szacunki różniły się o jedną część na 3600. Wynikało z tego, że gdyby Newton mógł rzucić jabłkiem wystarczająco mocno, mógłby zamienić je w księżyc. Gdy krążą wokół Słońca w swoim wzajemnym uścisku, Ziemia i Księżyc krążą wokół wspólnego środka ciężkości. W środku Ziemi przyciąganie Księżyca równoważy tendencję do odlatywania po stycznej. Po stronie Ziemi najbliższej Księżycowi przyciąganie przewyższa zatem siłę odśrodkową; po stronie przeciwległej jest mniejsze; i tak Księżyc powoduje dwa dobowe pływy. Dodatkowe przyciąganie Słońca odpowiada za pływy i przyptywy. Newton dokonał w ten sposób ilościowej oceny kilku trwałych problemów fizyki, które Kartezjusz połączył w całość: natury światła i koloru; przyczyny pływów i zasad ruchu planet; oraz wielkości i kształtu Ziemi. Kształt okazał się jedynie w przybliżeniu kulisty. Teoria grawitacji, zastosowana do wirującej bryły stopionej skały (Ziemi w micie stworzenia Newtona), dała początek dyni, o kilka mil dłuższej w osi równikowej niż w osi biegunowej. Niestety, Principia nie były fizyką. Tak przynajmniej twierdził kartezjański recenzent w Journal des Sçavans. Jak przyznał Newton, nie przypisał grawitacji fizycznej przyczyny, ale przyjął matematyczną fikcję, natychmiastowe działanie na odległość. Z kartezjańskiego punktu widzenia, cofnął się. Albo ponownie wprowadził okultystyczne przyczyny, których szkoty unikały wyjaśnień, albo, przyjmując za dobrą monetę, że pisał jedynie opisowo o obserwowalnych wielkościach, takich jak przyspieszenia, użył starego wybiegu, oddzielając matematykę od fizyki, gdy robiło się trudno. Newton odpowiedział na tę krytykę w wymownym „General Scholium” dodanym do drugiego wydania Principia (1713). Oświadczył, że wszechświat nie jest dziełem nieobecnej mechaniki, ale pochodzi „z rady i panowania inteligentnej i potężnej Istoty... wiecznej, nieskończonej, absolutnie doskonałej”. Jak Istota wymyśla grawitację, Jego sługa Newton nie wiedział, a „nie formułuję żadnych hipotez, czy to fizycznych, czy metafizycznych, czy to o właściwościach okultystycznych, czy mechanicznych”. Dokładny opis wystarczył. „[D]la nas wystarczy, że grawitacja naprawdę istnieje i działa zgodnie z prawami, które [ja] wyjaśniłem, i obficie służy do wyjaśnienia wszystkich ruchów ciał niebieskich i naszego morza”. W ten sposób Newton wykonał jeden pełny obrót helisy postępu naukowego. Jego grawitacja przypominała grawitację Arystotelesa, jego wszechobecnego Boga stoickiego pneumę, a jego teorię planetarną, z preferencją dla matematyki nad fizyką, sztuczne kręgi Ptolemeusza. W swoim powrocie do tych elementów ancien régime, w swoim systemie praw i wysiłkach, by je narzucić, oraz w swojej imperialnej prezydencji w Royal Society, Newton był Napoleonem rewolucji naukowej. Newton skierował swoją starannie opracowaną epistemologię przeciwko sceptykom i fizykom, którzy wahali się przyznać, że jego system jest wolny od hipotez. Dla ludzi takich jak on, którzy martwili się, że jego system nie oferuje wystarczającego zatrudnienia dla Boga, przydzielał Stwórcy zadanie powstrzymania planet przed spadnięciem na Słońce. To majsterkowanie wydawało się śmieszne Leibnizowi, który stworzył własną odpowiedź dla sceptyków i prowidencjalistów. Jego Bóg, podobnie jak Kartezjusz, nie zachowywał się arbitralnie; ale podczas gdy Kartezjusz pozwolił Bogu na wybór praw i warunków początkowych, Leibniz zauważył, że Jego charakter nie miał miejsca na kaprys. Wymagało to, aby uczynił On najlepszy ze wszystkich możliwych światów.

Wynalezienie fizyki

Pokazywanie nowej fizyki publiczności płacącej za naukę za pomocą eksperymentów było modne w kręgach kartezjańskich po 1670 r. Znana postać, Jacques Rohault, opisał swoje oferty w tekście, który rzecznik Newtona, Samuel Clarke, uznał za stosowne przetłumaczyć na łacinę z profilaktycznymi uwagami. Następcy Hooke'a jako kurator eksperymentów w Royal Society podczas prezydentury Newtona, Francis Hauksbee i hugenoci J. T. Desaguliers, pracowali jako niezależni wykładowcy. Być może najbardziej utytułowanym takim wykonawcą był Jean-Antoine Nollet, syn chłopca, który został nauczycielem dzieci królewskich, wykładowcą w królewskiej szkole artylerii i członkiem paryskiej Akademii Nauk. Począwszy od około 1720 roku, eksperymentalne demonstracje fizyki Newtona weszły do klas, zwłaszcza te prowadzone przez W. J. Gravesande i jego następcę Petrusa van Musschenbroeka

w Lejdzie. Ich podręczniki określiły zakres eksperymentalnej filozofii przyrody (lub *physique expérimentale*) około 1750 roku. Była ona znacznie węższa niż *physica*. Aby przyciągnąć wymagającą publiczność, jej demonstracje musiały być jasne, czyste i łatwo widoczne. Te wymagania, dzięki którym, co niezwykle, szersze społeczeństwo pomogło zdefiniować treść fizyki, ograniczyły przedmiot do zasad mechanicznych i maszyn modelowych, pneumatyki, optyki, kapilar i innych zjawisk hydrostatycznych, ciepła, magnetyzmu, elektryczności i astronomii, prezentowanej za pomocą orreriów (mechanicznego układu słonecznego wynalezionego około 1704 roku), armilarnego i globusów. Po przypadkowym wynalezieniu słoika lejdejskiego lub kondensatora w 1745 roku, elektryczność stała się główną atrakcją w tym repertuarze, a Nollet jej głównym wykładowcą. Jego dominacja nie trwała długo. W połowie stulecia, po wystawieniu na działanie iskier i żarów przez wędrownego wykładowcę w Filadelfii, Benjamin Franklin wynalazł układ dodatniej i ujemnej elektryczności. Gdy zinterpretowano je jako centra sił Newtona, ładunki elektryczne Franklina wyparły kartezjańską teorię materii elektrycznej Nolleta z pola. Elektryczność była również wyznacznikiem w kwantyfikacji fizyki. Charles Augustin Coulomb, inżynier wykształcony w szkole artylerii, w której uczył Nollet, a ostatecznie paryski akademik, opracował przyrząd, który równoważył siłę między dwiema naelektryzowanymi kulami rdzeniowymi w stosunku do mierzalnego skręcania drutu. Chociaż niewielu osobom, jeśli w ogóle, udało się odtworzyć jego wyniki eksperymentalne, przekonali oni współpracowników gotowych uwierzyć, że siła między hipotetycznymi kroplami ładunku elektrycznego maleje, podobnie jak siła grawitacji, proporcjonalnie do kwadratu odległości. Coulomb przeprowadził podobne pomiary na długich magnesach prętowych i uzyskał podobne wyniki: krople tych samych płynów magnetycznych odpychają się, a różnych przyciągają się wzajemnie za pośrednictwem siły odwrotnych kwadratów. Eksperymenty Coulomba pochodzą z 1785 r. Do tego czasu inni *physiciensgéomètres* — F. U. T. Aepinus (elektryczność i magnetyzm), Henry Cavendish (elektryczność, termometria, pneumatyka), Pierre Simon de Laplace (ciepło, optyka, kapilarność), aby wymienić tylko jednego wybitnego przedstawiciela z każdej z wiodących akademii (Berlin i Petersburg, Londyn, Paryż) — kwantyfikowali nowe dziedziny fizyki w analogii do teorii grawitacji. Jedną z tych dziedzin, która po 1770 r. rywalizowała z elektrycznością w publicznych demonstracjach, była pneumatyka. Rozszerzyła się ona po odkryciu przez Josepha Blacka, Josepha Priestleya i Cavendisha, że „powietrze”, które od starożytności uważano za pierwiastek, składa się z odrębnych trwałych typów. To kapitalne odkrycie — które było analogiczne w formie, ponieważ było równie ważne, jak odkrycie przez Newtona złożonej natury światła słonecznego — stworzyło produktywne nakładanie się fizyki i obszarów przypisanych później chemii. Nakładanie się poszerzyło się około 1800 r., kiedy wynalezienie baterii przez Alessandro Voltę (profesora katolickiego w Pawii) i sposobu kojarzenia liczb z atomami przez Johna Daltona (nauczyciela szkoły kwaków w Manchesterze) zademonstrowało zarówno ekumeniczność, jak i dostępność rodzącej się wówczas fizyki. Zasady leżące u podstaw głównych gałęzi fizyki około 1800 roku zawierały analogie wystarczająco silne, aby zachęcić do wiary, że nauka może odzyskać rodzaj jedności, jaką koncepcje Arystotelesa kiedyś dawały fizyce. Powstał „standardowy model”, który obejmował dwa płyny elektryczne i dwa magnetyczne, lekkie cząstki Newtona i kaloryfer, samoodpychający się płyn ciepła, który wyjaśniał zjawiska termiczne i elastyczność gazów. Ponadto, włączając idee opracowane przez Jeana-André Deluca (genewskiego kupca, który został nauczycielem filozofii przyrody królowej Anglii) i innych, którzy badali wielkie otwarte laboratorium meteorologiczne natury, model podkreślał interakcje kaloryfera, światła i elektryczności między sobą i z typami gazów. Szczególne właściwości aktywnych płynów, wszystkie postrzegane jako nieważkie centra siły odległości, wykazywały silne analogie, takie jak te między temperaturą a napięciem elektrycznym oraz między pojemnościami ciepła i elektryczności. „Nieuchwytny standardowy model” miał zatem prawdopodobną spójność, chociaż poprzez formę, a nie materię. Dominujący model imponderable miał kilku konkurentów. Jeden, wyraźnie przeciwny obrazowi atomowemu, wywodził swoje korzenie z *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (1786) Immanuela Kanta, który stanowił materię i jej właściwości z

przeciwstawnych sił przyciągania i odpychania. Przez niemal czystą myśl F. W. J. Schelling rozwinął Naturphilosophie, która rozszerzyła schemat sił biegunowych na wszystkie zjawiska fizyczne. Naturphilosophen mniej doktrynerscy niż on, jak H. C. Ørsted (Kopenhaga) i Thomas Seebeck (Berlin) czasami wchodzili do laboratorium, gdzie, kierując się pojęciami jedności i biegunowości materii, odkrywali powiązania między prądami elektrycznymi a zarówno magnetyzmem (Ørsted), jak i ciepłem (Seebeck).

Ramy instytucjonalne

Wczesnonowoczesny college lub uniwersytet, które zajmowały się studentami w wieku nastoletnim, rozpowszechniały raczej mity niż zaawansowaną wiedzę. Nauczyciele fizyki, ambitni w kwestii sławy literackiej, pisali podręczniki, a nie prace badawcze, a jeśli pokazywali eksperymenty, dostarczali własne instrumenty. Jednak około 1750 roku uniwersytety i college'e zaczęły nabywać sprzęt zmarłych profesorów po obniżonej cenie i wkrótce ciążył na nich ciężar utrzymania i powiększania ich ofert. Gabinet instrumentów z dyrektorem-profesorem, mechanikiem-sługą i niewielkim budżetem stał się w ten sposób równie ważną częścią uniwersytetu, co biblioteka. Nieuchronnie zaowocowało to pewnymi badaniami, zwłaszcza w Bolonii i Pawii — odpowiednio miejscach kultu Kościoła katolickiego i austriackiej Lombardii — oraz w protestanckiej Getyndze, jedynym znaczącym uniwersytecie założonym w XVIII wieku w Europie. Fizyka jako kariera zaczęła nabierać kształtu: na początku XVIII wieku trzech z czterech profesorów fizyki opuściło swoje katedry, zwykle aby nauczać i praktykować medycynę; pod koniec XVIII wieku proporcje się odwróciły i większość profesorów fizyki przeszła na emeryturę lub zmarła w zaprzęgu. Niektórzy z tych wytrwałych profesorów pracowali w nowo powstałych szkołach wyższych dla inżynierii, górnictwa, leśnictwa i wojska, takich jak królewska szkoła artylerii w Mézières, gdzie nauczał Nollet, a studiował Coulomb. Pięćdziesiąt lat później nowa wówczas École polytechnique, produkt filozofii edukacyjnej rewolucji francuskiej, nauczała najnowszej fizyki ilościowej i przygotowywała liderów i profesorów nauk fizycznych we Francji. Związek między nauczaniem w tych szkołach technicznych a systematyzacją fizyki może być symbolizowany przez czterotomowy *Traité de Physique Experimentelle et Mathématique*, pierwszy nowoczesny podręcznik fizyki, opublikowany w 1816 roku przez absolwenta École polytechnique, Jean-Baptiste'a Biot'a. Misją akademii było rozwijanie wiedzy. Ich wizerunek własny można wywnioskować z ich dewiz. Royal Society prowadziło *Nullius in verba*, skrót od Horacego „zobowiązany do przysięgania na słowa żadnego mistrza”. W ten sposób deklarowały niepodległość od swojego króla, zasad szkół i dogmatów religii. Paryska Akademia podczas swojej reorganizacji w 1699 roku przyjęła za swoją pieczęć słońce, symbolizujące zarówno wiedzę, jak i jej króla, Ludwika XIV, a za swoje motto *Invenit et perfecit*. Jej zadaniem było odkrywanie i uzupełnianie wiedzy. Królewska Szwedzka Akademia Nauk, założona w 1739 r., wolała identyfikować się ze starym człowiekiem pracującym na ziemi pod hasłem *För Efterkommande*, „dla potomności”. Choć różniące się strukturą i działaniem, prototypowe akademie Paryża i Londynu miały wspólną cechę — wyłącznie dążenie do wiedzy przyrodniczej. Większość innych akademii miała również sekcje sztuk pięknych i literatury pięknej. Co najmniej sześćdziesiąt takich akademii, które w znacznym stopniu interesowały się wiedzą przyrodniczą, zostało założonych w latach 1700–1790. Francja była liderem, z połową ich liczby, odzwierciedlając potrzebę wyrażania siebie przez prawników, księży, lekarzy i oficerów wojskowych poza instytucjami kościoła i państwa. Akademie te pomagały kierować badaniami w dziedzinie fizyki, oceniając prace do publikacji i przyznając nagrody i medale. W przeciwieństwie do astronomii — która wraz z wprowadzeniem soczewek achromatycznych około 1760 r. i skonstruowaniem dużych reflektorów w latach 80. XVIII w. przyniosła odkrycia o jakości niespotykanej od czasów Galileusza (w szczególności planety Uran Williama Herschela) — eksperymenty fizyczne zazwyczaj nie odbywały się w specjalnie zbudowanych lub wyposażonych w tym celu obiektach. Większość eksperymentatorów dostosowywała do swoich celów pomieszczenia w swoich domach i narzędzia gospodarstwa domowego. Czasami angażowali warsztaty, jak zrobił to

William Lewis, aby badać platynę. Hrabia Rumford (amerykański torys) słynnie odkrył w szlifowaniu luf karabinowych mocny argument na rzecz kinetycznej teorii ciepła. Innym quasi-przemysłowym otoczeniem do eksperymentów był warsztat producenta instrumentów. Spośród zarezerwowanych przestrzeni do eksperymentów fizycznych, warsztat Martinusa van Maruma zasługuje na szczególną wzmiankę. Praktykujący lekarz, wykładowca publiczny, kustosz instrumentów i akademik, był odpowiedzialny za bogaty prywatny instytut zajmujący się kultywowaniem sztuk i nauk (Fundacja Teylera w Haarlem). Tam, realizując przekonanie Priestleya, że im większy aparat, tym lepsze odkrycia, van Marum zlecił budowę największego generatora elektrostatycznego, jaki kiedykolwiek powstał. Nie zwróciła się inwestycja. Wielka maszyna elektryczna Teylera była królem serii mniejszych urządzeń, które, podobnie jak ona i pompa powietrza, mogły służyć zarówno badaniom, jak i demonstracjom. Urządzenia pomiarowe, przeciwnie, raczej nie bawiły tłumu i początkowo nie oświecały swoich użytkowników. Stały się bardziej odpowiednie i dokładne po 1770 roku, wraz z elektrometrami Volty i standaryzowanymi dokładnymi termometrami, barometrami i higrometrami opracowanymi na podstawie prac Deluca, Cavendisha i innych. Rutynowe pomiary meteorologiczne i geofizyczne zainspirowały wynalezienie niezawodnych instrumentów rejestrujących. Najsubtelniejszym rejestratorem stosowanym w eksperymentach fizycznych w XVIII wieku była żaba. Używając obciążonych okazów Luigi Galvani (Bologna) wykrył elektryczność zwierzęcą, która zainspirowała Voltę do skonstruowania elektrometrów lepiej skalibrowanych niż płazy, do generowania elektryczności zwierzęcej bez użycia części zwierząt i do powiększenia efektu w epokowym napędzie głównym: ogniwie Volty lub baterii. Elektryczność zwierzęca lub galwanizm dały spektakularne pokazy. Ludzie lubili oglądać, jak gilotynowane głowy podłączone do ogniwa Voltaic mrugają. Inne reakcje wywoływał powieszony morderca, do którego rdzenia kręgowego i mięśni dr Andrew Ure z Glasgow przymocował przewody galwaniczne. Zwłoki wyrażały wściekłość, agonię i rozpacz, i ponownie umarły z okropnym uśmiechem.

Fizyka i oświecenie

Kilka czynników działających w szerszym społeczeństwie wzmocniło racjonalizację wiedzy przyrodniczej około 1750 roku. Jednym z nich było coraz częstsze stosowanie matematyki do celów oświeconych rządów późnego XVIII wieku. Innym była produkcja, reprezentowana w szczególności przez handel instrumentami. Encyklopedia Denisa Diderota i Jeana Le Ronda d'Alemberta, opublikowana po raz pierwszy w latach 1751–1772, w dużym stopniu poświęciła racjonalizacji sztuk wytwórczych. Pod koniec wieku retoryka łącząca fizykę z użytecznością mogła podkreślać spektakularne przypadki piorunochronu i sterowanych balonów. Francuskie oświecenie czerpało z racjonalizowanej wiedzy przyrodniczej w swoim centralnym projekcie zniszczenia zorganizowanej religii. *Eléments de la Philosophie de Neuton* (1738) Voltaire'a, pierwsze kompleksowe, popularne sprawozdanie z prac Newtona na temat kosmologii i optyki w języku francuskim, zaczyna się od pojęć Newtona o Bogu i przechodzi do korygowania myślenia o wolnej woli, religii naturalnej i wspólnym człowieczeństwie ludzkości. Francesco Algarotti dodał wystarczająco dużo filozofii Johna Locke'a do swojego *Newtonianismo per le Dame* (1737), aby podnieść Kongregację Indeksu. Papież Klemens XII i Święte Oficjum właśnie potępili dwa główne dzieła Locke'a. Kościół katolicki pomógł w ten sposób zalecić sensacyjną psychologię Locke'a jako broń przeciwko sobie w kampanii filozofów, aby ją zmiażdżyć. D'Alembert połączył Newtona i Locke'a, jednego reformatora fizyki, drugiego metafizyki, w swoim obszernym „Discours Préliminaire” do *Encyclopédie* (1751). Newton wykazał, jak daleko ludzki umysł może wznieść się, gdy jest obciążony tylko matematyką i kilkoma głównymi zjawiskami, a Locke wykazał, że wszystkie umysły zaczynają z jeszcze mniejszą ilością, to znaczy z niczym. David Hume ciężko pracował, aby pokazać, że cokolwiek umysł nabywa, nie dotrze do sedna rzeczy. Kant wykopał głębsze podstawy dla twierdzenia, że ludzki umysł nie może przeniknąć do rzeczy takimi, jakie są. To, co umysł może niezawodnie nabyć, to wiedza tylko o pozorach, które układa w przestrzeni i czasie i

porządkuje, gdzie to właściwe, według przyczyny i skutku. Jednym z wniosków, jakie umysł Kanta wyprowadził z tych zasad, było to, że fizyka musi być ilościowa: „w każdej szczególnej doktrynie natury można znaleźć tylko tyle nauki, ile jest w niej matematyki”. Dlatego napisał trzy lata przed publikacją *Traité de Chimie* Lavoisiera: „Chemia nie może stać się niczym więcej niż systematyczną sztuką lub doktryną eksperymentalną, ale nigdy właściwą nauką”. Program Oświecenia, polegający na racjonalizacji instytucji społecznych i sztucznych praktyk oraz na zmiataniu zwyczajów i koncepcji, które nie miały głębszego fundamentu niż nawyk i tradycja, zbiegł się z interesami rządów biurokratyzujących, które pragnęły ograniczyć marnotrawstwo i nieefektywność. Bardziej rygorystyczna, szczuplejsza, bardziej matematyczna fizyka eksperymentalna późnego XVIII wieku zarówno służyła, jak i korzystała z tego zbiegu okoliczności. Szczególnie po wojnie siedmioletniej większe państwa dostrzegły potrzebę lepszego rozliczenia i bardziej wydajnego wykorzystania swoich zasobów. Wejście eksperta, pierwszy krok w kierunku realizacji racjonalizacji wymaganej przez Oświecenie, początek skutecznej matematyki filozofii przyrody i pierwsze przebłyski produkcji przedmiotów z wymiennymi częściami, były równoczesne. Po zdobyciu sławy w Bawarii dzięki projektowaniu pożywnych zup i bezdymnych kominków, hrabia Rumford zainspirował powstanie instytucji, która miała przekazywać najnowszą wiedzę naukową na temat zup, kominów i obornika, Royal Institution, która została otwarta w Londynie w 1799 roku. Miała ona wnieść wkład kapitałowy do filozofii przyrody, jeśli nie do naukowego rolnictwa. Jej drugim profesorem filozofii przyrody był Thomas Young, odkrywca falowej teorii światła. Jej profesor chemii, Humphry Davy, uzyskał fundusze na bardzo dużą baterię Voltaic, uzasadniając to tym, że elektryczność zwiększa żyzność gleby. Dzięki niej oddzielił sól, potas i wapń od ich tlenków. „Nauka” w XVIII wieku często oznaczała racjonalne cięcie i próbowanie. Odniosła sukces w rolnictwie i wśród pomysłowych członków nieformalnego Lunar Society of Birmingham, którzy spotykali się, gdy pełniła księżyc oświetlała ich podróże. Większość z nich należała również do Royal Society. Najbardziej znanym z ich dzieł było udoskonalenie maszyny parowej przez jej członka Jamesa Watta, który dowiedział się czegoś o cieple i eksperymentach, gdy był kuratorem instrumentów na Uniwersytecie w Glasgow. Towarzystwo dostarczyło w ten sposób wczesny przykład kompleksu akademicko-przemysłowego, a także maszyny, która miała napędzać rewolucję przemysłową. Ze względu na nacisk na matematykę w programie nauczania, jezuici czasami zajmowali ważne stanowiska, na których matematyka była wymagana. Na przykład Ruđer Bošćović (Roger Boscovich), profesor matematyki w Rzymie, a później w Pawii, pomógł w naprawie kopuły Bazyliki św. Piotra, przeprowadził trygonometryczne badanie Państwa Kościelnego, założył obserwatorium jezuickie w Mediolanie i pełnił funkcję dyrektora optyki francuskiej marynarki wojennej. Najbardziej znany jest jednak jako wynalazca skrajnej filozofii przyrody Newtona opartej na pojedynczej uniwersalnej sile odległości. Zamieszanie niemieckich państw i księstw, które obfitowało w uniwersytety i biurokrację, a po wojnie siedmioletniej w problemy rekonstrukcji, stanowiło teatr dla szczególnego połączenia racjonalizacji ekonomicznej i wiedzy przyrodniczej. Cameralwissenschaft zbierała i integrowała informacje o rolnictwie, handlu, przemyśle, populacji, terytorium, historii, prawach i zwyczajach, aby służyć jako podstawa polityki gospodarczej. Być może jej najbardziej udanym i wymagającym przedmiotem było leśnictwo, poświęcone zwiększaniu zrównoważonych plonów poprzez sadzenie i zbieranie drzew zgodnie z racjonalnym doświadczeniem i rachunkiem całkowym. Ocenianie stanu zdrowia państwa poprzez odczytywanie „termometru dobrobytu publicznego”, czyli spisu ludności, zbliżyło filozofów przyrody do ludzi, szczególnie we Francji. Ze względu na wielkość i różnorodność populacji oraz jej obawy, że spis ujawni jej dobrobyt, zliczenie poddanych króla nie było łatwe. Pewni siebie nowi filozofowie przyrody i mieszanym matematycy nie uważali tego za coś nieosiągalnego. „Eksperyment, badania, obliczenia są badaniem nauk! Jakich problemów nie można było tak traktować w administracji! Jakich wzniostych pytań nie można było poddać prawu obliczeń!”

Fizyka klasyczna i jej lekarstwo

W XIX wieku fizyka stała się ważniejsza w kilku znaczeniach. Liczba imponderabiliów spadła prawie do zera. Fizyka stała się uznanym zawodem, a jej praktycy „fizykami”. Ona i oni zdobyli specjalne możliwości kształcenia w instytutach uniwersyteckich i szkołach technicznych, które powstały w Europie i Ameryce po 1870 roku, głównie w celu kształcenia studentów na nauczycieli szkolnych i inżynierów elektryków. W tym samym czasie nieustannie przesuwająca się granica między fizyką a matematyką przesunęła się, aby zrobić miejsce teoretykom; i ponownie, jak to miało miejsce w przypadku odkrycia typów gazów, płodne koncepcje, takie jak jon i tablica pierwiastków, przyszły z chemii. bardziej kartezjańskie niż newtonowskie. Nowy projekt przeniknął głębiej niż jego poprzednik, który uzyskał powierzchowną jedność z podobnie działającymi, ale odrębnymi imponderabiliami; podczas gdy zakładał ostateczną redukcję do tej samej materii w różnych trybach ruchu. Kartezjusz po raz kolejny stoczył walkę z Arystotelesem, dokonał potężnej syntezy i przygotował grunt pod coś nowego. Fizycy z początku XX wieku podziwiali i odkładali na bok ich osiągnięcia z XIX wieku jako „klasyczne” i stworzyli kwantową naukę o atomach i cząsteczkach, która, jak twierdzili, zawierała całą fizykę, a także chemię, „w zasadzie”. Od około 1850 roku fizyka coraz bardziej spełniała obietnicę Bacona, że nauka eksperymentalna poprawi kondycję człowieka. Nowe gałęzie przemysłu konkurowały o dostarczanie komunikacji elektrycznej, światła i energii oraz o wynalezienie urządzeń elektrycznych do domu i miejsca pracy. Nowe agencje rządowe, krajowe i międzynarodowe, regulowały usługi i standaryzowane produkty. Stare uniwersytety wprowadziły nowe programy nauczania, aby konkurować z wyższymi szkołami technicznymi i zastąpiły akademie jako główne miejsca badań. I powstały stowarzyszenia fizyków, aby zadbać o interesy zawodowe swoich członków.

Modele standardowe

Promienie światła Newtona miały rywala od 1690 r., kiedy Huygens wyjaśnił podwójne załamanie, zakładając, że światło jest falą ciśnienia w wypełniającym świat eterze. Pierwsza teoria falowa konkurencyjna wobec teorii promieni Newtona nie pojawiła się przez stulecie. Następnie, około 1800 r. Thomas Young, który uzyskał tytuł doktora medycyny w Niemczech dzięki rozprawie na temat dźwięku i słuchu, zanalogizował medium, które rzekomo miało przekazywać światło, do cienkiego powietrza zdolnego do podtrzymywania drgań akustycznych. W ten sposób modelował wzory interferencji promieni świetlnych przechodzących przez dwie równoległe wąskie szczeliny jako konstruktywne i destrukcyjne kombinacje fal dźwiękowych. Jego model napotkał opór w zjawisku obcym dźwiękowi: polaryzacji. Potrzeba uchwycenia polaryzacji stała się pilna, gdy francuscy fizycy, spodziewając się obalenia teorii Younga, niespodziewanie potwierdzili pozornie absurdalną jej konsekwencję. Absurd, odkryty przez Augustina Fresnela, absolwenta École polytechnique, polegał na tym, że wzory wytwarzane przez światło padające na ekran przez maleńki otwór mogły mieć ciemne plamy w swoich centrach. Young i Fresnel niezależnie zasugerowali następnie, że ośrodek nośny światła mógł odpowiadać za polaryzację, jeśli oscylował pod kątem prostym do kierunku fali. Aby przenosić te „poprzeczne” drgania, „eter świetlny” musiał zachowywać się jak sprężyste ciało stałe, a nie jak cienkie powietrze. Fizycy męczyli się przez resztę stulecia, wyobrażając sobie eter wystarczająco sztywny, aby rozprzestrzeniać światło, ale wystarczająco miękki, aby ominąć planety. Niemniej jednak większość wykształconych ludzi porzuciła cząstkę światła na rzecz drgań eteru do 1830 roku. W tym samym czasie i zgodnie z podobnym schematem zniknęły również płyny magnetyczne. Ponownie eksperymentalna demonstracja przeprowadzona na peryferiach (Paryż był wówczas centrum fizyki) skłoniła francuskiego matematyka do destrukcyjnego uogólnienia. Aktorami byli H. C. Ørsted z Kopenhagi, który odkrył, że przewód z prądem może oddziaływać na odległość na igłę magnetyczną (1819) oraz A.-M. Ampère (Paryż), który wykazał, że prąd kołowy zachowuje się jak magnes i wywnioskował, że magnetyzm powstaje z elektryczności w ruchu (1822, 1827). Model ten zakładał

istnienie sił odległościowych tak niezręcznych jak elastyczno-stała próżnia: siła magnetyczna prądu nie leży w jego kierunku, ale w okręgach wokół niego, a siła między poruszającymi się kroplami płynu elektrycznego zależy od ich względnych prędkości, jak również od ich rozdzielania. Ponadto, aby uwzględnić generowanie prądu elektrycznego przez zmieniającą się siłę magnetyczną (1831), najświetniejsze z wielu słynnych odkryć Michaela Faradaya (Royal Institution, Londyn), prawo siły musi również obejmować względne przyspieszenie kropeł. W ironicznym odwróceniu biegunowości, zwolennikami tych osobliwych sił odległości byli fizycy kontynentalni, zwłaszcza Wilhelm Weber (Getynga) i Hermann von Helmholtz (Królewiec, później Bonn i Berlin), których poprzednicy uważali grawitację Newtona za niezrozumiałą, podczas gdy rodacy Newtona, Faraday i jego zwolennicy, próbowali całkowicie obejść się bez sił odległości. Faraday umieścił elektryczność w specjalnym medium, które, jak przypuszczał, istniało w przestrzeni między naelektryzowanymi ciałami. Naprężenia i odkształcenia w tym medium lub „polu” stanowiły i przekazywały to, co zwykłym fizykom wydawało się siłami działającymi w odległości między „naładowanymi” lub „namagnesowanymi” ciałami. William Thomson, późniejszy Lord Kelvin (Glasgow), przełożył intuicje Faradaya na dynamiczny obraz przedstawiający siły magnetyczne jako wiry, a siły elektryczne jako przepływy liniowe w polu. W latach 60. XIX wieku James Clerk Maxwell (Aberdeen i Londyn, później Cambridge) opracował dynamiczny model pola Faradaya, który mógł reprezentować większość znanych zjawisk elektrycznych i magnetycznych. Na tym jednorazowym rusztowaniu wznosił gmach trwałej elektrodynamiki, zbiór relacji („równania Maxwella”, 1866) łączących siły elektryczne i magnetyczne oraz ich źródła. Dla tych, którzy podążali linią Faradaya–Maxwella, płyny elektryczne nie miały lepszego prawa do istnienia niż płyny magnetyczne lub korpuskuły światła. Nic zatem nie mogło być bardziej satysfakcjonujące dla fizyka-unifikatora niż dowiedzenie się, że pole Faradaya i eter świetlny to jedno i to samo. W 1864 roku Maxwell obliczył na podstawie znanych parametrów elektrycznych i magnetycznych, że prędkość, z jaką zaburzenia elektromagnetyczne przewidziane przez jego model przemieszczają się przez przestrzeń, zbliżyła się do ostatniego pomiaru prędkości światła. W 1887 roku były student Helmholtza, Heinrich Hertz (Karlsruhe), wygenerował i wykrył fale elektromagnetyczne przewidziane przez Maxwella. Powstała w ten sposób wielka synteza skomplikowała zadanie teoretyków pola eteru, którzy teraz potrzebowali elastyczno-stałego ośrodka wypełniającego całą przestrzeń, zdolnego do wywoływania wszystkich zjawisk elektryczności, magnetyzmu i światła oraz przezroczystego dla ciał grawitacyjnych. Podobnie jak lekkie cząstki, kaloria miała w XVIII wieku przeciwnika, który uważał, że ciepło jest sposobem ruchu. Produkcja ciepła przez hrabiego Rumforda poprzez szlifowanie luf armat, choć była istotna dla wyzwania, nie przyniosła zwycięstwa. Decydujące eksperymenty przeciwko teorii kaloryczności, które pochodzą z lat 40. XIX wieku, miały również miejsce w warunkach przemysłowych, w browarze, którego właściciel, James Prescott Joule, kontrolował swój produkt za pomocą dokładnej termometrii. Joule studiował z Johnem Daltonem i wiedział, jak ulepszyć swój wypoczynek. Stosując swoje przyrządy do silników, wykazał, że zużywają one ciepło podczas podnoszenia ciężaru i że pewna ilość wysiłku mechanicznego lub pewien wydatek cynku w baterii zawsze generuje taką samą ilość ciepła. W przeciwieństwie do materii, ciepło można tworzyć i niszczyć! Wniosek Joule'a musiał pokonać nie tylko sceptycyzm co do jego termometrów, ale także błyskotliwą teorię silników parowych. Ta teoria, która dotyczyła wszystkich silników, niezależnie od paliwa, mechanizmu i substancji roboczej, zakładała niezniszczalność kaloryczności. Jego autor, Sadi Carnot, politechnik, podobnie jak Fresnel, obliczył maksymalną możliwą sprawność dowolnego silnika cieplnego jako funkcję temperatur kotła i skraplacza. Aby uniknąć możliwego ruchu wiecznego, najbardziej wydajna maszyna musi być odwracalna; a aby była odwracalna, jej operacje nigdy nie mogą dopuszczać do kontaktu między częściami utrzymanymi lub pracującymi w różnych temperaturach. Z idealnego cyklu operacji, który wynalazł, aby spełnić ten warunek, wywnioskował, że sprawność silnika, stosunek podniesionego ciężaru do ilości użytego płynu kalorycznego Q , powinna być proporcjonalna do różnicy temperatur ΔT między kotłem a skraplaczem. Jasność, pomysłowość i wiarygodność analizy Carnota z 1824 r.

zaimponowały Williamowi Thomsonowi. Ale skłaniał się również ku teorii Joule'a, która w przeciwieństwie do teorii Carnota niszczyła kalorie, wykonując pracę mechaniczną. Matematyka wskazała drogę do pojednania. Thomson zauważył, że wyrażenie Joule'a na wydajność byłoby takie samo jak Carnota, gdyby zachowaną wielkością nie było Q , ale Q/T . W grę wchodziły dwie zasady, a nie jedna: (1) praca mechaniczna i elektryczność mogły być zamieniane na ciepło i odwrotnie bez strat (Joule); oraz (2) silnik cieplny pracujący odwracalnie zachowuje ilość Q/T (Carnot). Rudolf Clausius (Bonn) pogodził również teorię zachowania Carnota z teorią transformacji Joule'a, którą Clausius w formie opracowanej niezależnie od Joule'a przez lekarza Roberta Juliusa Mayera. Clausius nazwał monetę konwersji wśród sił natury „energiją”. Tajemniczą ilość Q/T — opłatę natury za konwersję — nazwał „entropią”. W idealnym odwracalnym przypadku opłata wynosi zero. W praktyce niewielkie ilości ciepła są tracone, co sprawia, że wszystkie „rzeczywiste” procesy stają się nieodwracalne. W sformułowaniu Clausiusa energia wszechświata pozostaje stała, podczas gdy jego entropia dąży do maksimum („prawa termodynamiki”, 1865). Tak więc rozważania pojawiające się w warunkach przemysłowych wyparty z fizyki najbardziej prawdopodobny i starożytny z nieuchwytnych płynów, materię ognia i ciepła. Koncepcja ciepła jako ruchu okazała się tak dalekosiężna, jak synteza światła i elektrodynamiki. Umożliwiła ilościowe powiązanie między koncepcjami mechanicznymi a temperaturą za pomocą parametrów mierzących cząsteczki i umożliwiających matematykom przejście między makro- i mikroświatami. Tunel czasoprzestrzenny do tej krainy czarów leżał w równaniu dla „doskonałego gazu”, legendarnego ośrodka opisanego przez prawo Boyle'a uogólnione przez protegowanego Laplace'a J. L. Gay-Lussaca (Paryż): ciśnienie = $(R \times \text{temperatura})/\text{objętość}$. Stała R była tunelem czasoprzestrzennym. Prosty model („kinetyczna teoria gazów”), w którym ciśnienie wywierane przez standardową liczbę cząsteczek N powstaje w wyniku ich bombardowania ścian sześciennego pojemnika, dał zadziwiająco proste „prawo”: energia kinetyczna doskonałej cząsteczki gazu wynosi $3kT/2$, gdzie k , wiązanie między mechaniką i termodynamiką oraz mierzalnym i cząsteczkowym, wynosi R/N . Ta prosta teoria ignorowała zderzenia między cząsteczkami gazu, rozkłady prędkości, średnie swobodne ścieżki i, co najważniejsze, statystyczne ujęcie równowagi. Clausius, Maxwell i Ludwig Boltzmann (Graz i Wiedeń) dodali te realistyczne akcenty i po heroicznych obliczeniach odzyskali stary wynik: każdy stopień swobody ruchu cząsteczki ma energię $kT/2$ w stanie równowagi („ekwipartycja energii”). Cząsteczki zdolne do poruszania się tylko translacyjnego w trzech wymiarach mają średnią energię równą $3kT/2$. Ciepło właściwe próbki gazu, której każda N cząsteczek ma f stopni swobody, wynosiłoby $(f/2)R$. Wzór działał dobrze — w przypadku cząsteczek jednoatomowych. Równowaga cieplna występuje, gdy entropia osiąga maksimum. To proste stwierdzenie kryje w sobie głęboką trudność. Jeśli gaz jest doskonałym układem mechanicznym, jego ruch powinien być odwracalny. Stąd statystyczno-mechaniczna reprezentacja entropii wydawała się niemożliwa. Boltzmann odpowiedział, że ze względu na kolosalną liczbę cząsteczek w grze, odchylenia od równowagi będą prawie na pewno odwracane natychmiastowo (1872, 1877, „twierdzenie H”). W związku z tym entropię S można rozumieć jako funkcję prawdopodobieństwa W znalezienia układu w określonym stanie. Tunel czasoprzestrzenny k , przemianowany na „stałą Boltzmanna”, łączy nie tylko makroświat i mikroświat, ale także żywych i umarłych. Pojawia się na nagrobku Boltzmanna w postaci $S = k \log W$. Sukcesy teorii gazu i elektrodynamiki Maxwella, równoważność całej energii do energii mechanicznej, poparte pierwszą zasadą termodynamiki, oraz względna łatwość, z jaką fizycy rozumowali za pomocą intuicyjnych koncepcji materii i ruchu, połączyły się, aby przywrócić fizykom XIX wieku marzenie Kartezjusza. Prezes Francuskiego Towarzystwa Fizycznego, Alfred Cornu (Paryż), otworzył pierwszy międzynarodowy kongres fizyków, który odbył się w Paryżu w 1900 r., zapewniając, że Kartezjusz „unosi się” nad nimi. Wielki matematyk Henri Poincaré (Paryż) wygłosił przemówienie inauguracyjne. Radził swoim słuchaczom, aby nie rozwijali zamięłowania do zrewidowanego kartezjańskiego lub jakiegokolwiek innego systemu świata. Zamiast tego powinni zebrać fakty eksperymentalne i ułożyć je do konsultacji w najbardziej dogodny sposób. Dobry fizyk był bardziej

bibliotekarzem niż filozofem. Niepochlebna ocena epistemologicznego statusu fizyki dokonana przez Poincarégo odpowiadała rozważnej opinii wielu fizyków. Chociaż mogli działać i mówić tak, jakby szukali prawd natury, kiedy filozofowali, przyznawali, że cel ich przerastał. Głównym impulsem do tego neoseptycyzmu było zdegradowanie przez Gustava Kirchhoffa (Heidelberg) najpewniejszej gałęzi fizyki, mechaniki analitycznej, z prawdziwego opisu materii i ruchu do jego zwykłego opisu. Ten „deskrypcjonizm” pojawia się w wpływowych epistemologiach fizyków, którzy szeroko spojrzeli na swoją dyscyplinę, zwłaszcza Ernsta Macha (Wiedeń), a także Josepha Larmora (Cambridge), który sponsorował angielskie tłumaczenie pism Poincarégo.

Fizycy jako bibliotekarze

Metafora biblioteki pasowała do dużej części fizyki XIX wieku, która szczyła się wieloma nowymi prawami lub efektami, które łatwo można było wpisać do wymyślanego katalogu Poincarégo. Reprezentatywne wpisy dotyczące metali mogłyby brzmieć alfabetycznie: „Prąd elektryczny, generowany przez ogrzewanie złącza różnych metali”, Thomas Seebeck, 1822; „Ciepło właściwe, atomowe, odwrotnie proporcjonalne do masy atomowej”, Pierre Louis Dulong i Alexis Thérèse Petit, 1819; „Przewodnictwo cieplne, proporcjonalne do T razy przewodnictwo elektryczne”, Gustav Wiedemann i Rudolf Franz, 1853; i „Paramagnetyzm, proporcjonalny do $1/T$ ”, Pierre Curie, 1895. Odwrotność tych efektów również miała wpisy, na przykład „Ciepło rozwijane przez prąd elektryczny przechodzący przez złącze bimetaliczne”, J. C. A. Peltier, 1834. Biblioteka dodała nowe półki z odkryciami, że siły mechaniczne mogą tworzyć elektryczność (piezoelektryczność) i magnetyzm (magnetostrykcja). Podążając za takimi wzajemnymi efektami, James Alfred Ewing, który ustanowił granicę między fizyką a inżynierią w Cambridge, odkrył histerezę, opóźnienie efektów magnetycznych za ich bezpośrednimi przyczynami (1882–5). Najbardziej dokładne wpisy w bibliotece fizyki około 1900 roku to charakterystyczne długości fal serii linii widmowych emitowanych przez pierwiastki po dostatecznym podgrzaniu. Pierwsze takie badanie, przeprowadzone przez Kirchhoffa i Roberta Bunsena (Heidelberg) w 1860 r., wykorzystywało sole odparowane w palniku Bunsena, co natychmiast ujawniło cez i rubid, tak nazwane od najsilniejszych kolorów w ich widmach. Analiza widmowa otworzyła drogę do zbadania budowy gwiazd, a także substancji znajdujących się poniżej. Bibliotekarze widm wymyślili kilka zasad katalogowania, w szczególności „wzór Balmera” dla wodoru (od Johanna Balmera, 1885) i jego uogólnienie, autorstwa Johannes Rydberga (Lund, 1888), na wiele serii i pierwiastków. Ich formuły zawierały klucz do tego, co Grecy uznaliby za oksymoron: wewnętrzną strukturę atomów. Meteorologica dostarczyła wiele ważnych nowych wpisów do katalogu fizycznego z 1900 r. Dalton nadał atomom różne rozmiary, aby wyjaśnić, dlaczego składniki atmosfery nie rozdzielają się według wagi. Różne rozmiary, które oznaczały różne ciężary, powodują, że każdy rodzaj gazu zachowuje się tak, jakby pozostałe nie były obecne. Po wielu sporach o ciężary atomowe, chemicy doszli do porozumienia w latach 60. XIX wieku, co skłoniło do stworzenia tablicy Ouija, która porządkowała znane pierwiastki w rodziny według wagi i przewidywała istnienie nieznanych pierwiastków wkrótce odkrytych. W latach 90. XIX wieku meteorologia ponownie znacząco interweniowała w atomistyce, gdy Lord Rayleigh (dawniej Cambridge) odkrył niewielki składnik atmosfery, który nazwał argonem. Rodzina „szlachetnych gazów” nieaktywnego typu argonu, zaczynająca się od helu, wkrótce ujawniła się chemikowi Williamowi Ramsayowi. Nowa rodzina idealnie pasowała do tablicy Ouija, z jednym wyjątkiem: argon i potas musiały zamienić się miejscami, które słusznie im się należały według wagi, aby zachować okresowość chemiczną. W ten sposób szlachetne gazy potwierdziły moc i pogłębiły tajemnicę układu okresowego pierwiastków. Oprócz geofizyki, teoria pływów Newtona, udoskonalona przez „analizę harmoniczną” (William Whewell, Cambridge), stała się na tyle silna, że stała się poważnie myląca. Przeważająca teoria powstania Ziemi około 1850 r., „hipoteza mgławicowa” zapoczątkowana przez Kanta i Laplace’a, wyprowadziła nasz układ słoneczny z wirującej chmury gazu, która ogrzewała się podczas koagulacji i pozostawiała Ziemię

z płynnym jądrem. Kelvin zauważył, że masa cieczy pod powierzchnią Ziemi powinna wykazywać efekty pływowe. Ponieważ nie były znane, doszedł do wniosku, że Ziemia jest ciałem sztywnym. Na podstawie termodynamiki i właściwości skał powierzchniowych Kelvin obliczył, że Ziemia stygnie od ponad stu milionów lat — niestrawnie długi czas dla ludzi, którzy wierzyli w biblijną chronologię, ale niewystarczająco długi, aby ewolucja Darwina mogła zadziałać. Bardziej akceptowalne dla biblijnych literalistów, Kelvin nie pozwolił rasie ludzkiej na zbyt długą poprawę. Drugie prawo, jak twierdził, zapewniało, że Ziemia, kiedyś zbyt gorąca dla ludzi, wkrótce stanie się dla nich zbyt zimna. Jego powszechnie akceptowane poglądy na temat wieku i sztywności Ziemi, najwyraźniej zakotwiczone w twardej jak skała zasadach fizycznych, nie przetrwały długo do XX wieku. Analiza fal sejsmicznych z głębokich trzęsień ziemi wykazała, że tylko powolne fale podłużne przecinały rdzeń. Informacje te pozwoliły Beno Gutenbergowi (Getynga, 1912) oszacować, że promień jądra wynosi prawie połowę promienia Ziemi, a każdemu wywnioskować, że ponieważ ciecze nie podtrzymują fal poprzecznych, Ziemia nie jest w całości stała. Podobnymi technikami Andrija Mohorovičić (Zagrzeb) zlokalizował nieciągłość około 30 mil pod kontynentami, która dzieli skorupę od „płaszcz” (1909–10). Tak więc makroskopowa fizyka zmiękczyła sztywną Ziemię Kelvina. Jeśli chodzi o wiek Ziemi, mikrofizyka zidentyfikowała dodatkowe źródło ciepła w radioaktywności, które ją eksplodowało poza potrzebami ewolucjonistów.

Chmury Kelvina

Kelvin był wzorowym fizykiem nie tylko ze względu na znaczenie swoich odkryć, szeroki zakres zainteresowań i oddanie programowi redukcji mechanicznej, ale także dlatego, że potrafił zdiagnozować poważne trudności w swojej nauce. W 1900 roku zebrał swoje zastrzeżenia w dwa obszary problemowe, które, nawiązując do meteorologii, nazwał „chmurami”. Jeden z nich zasiał w fakcie, że nikt nie zdołał zaprojektować eteru, który mógłby zrobić wszystko, czego wymagał od niego Maxwell. Drugim był ekwipartycja energii. Podobnie jak Kelvin, Boltzmann przyznał, że postęp redukcji mechanicznej miał swoje trudności, ale nie widział innej drogi naprzód. Wyśmiał fizykochemika Wilhelma Ostwalda (Lipsk), który opowiadał się za nauką opartą wyłącznie na energii i jej przemianach („energetyka”), za napominanie kolegów, aby „nie czynili sobie żadnego rzeźbionego wizerunku ani żadnego podobieństwa czegokolwiek”. To przykazanie (Wyjścia 20:4–6) nie odstraszyło fizyków bardziej niż czciciele złotego cielca. Jednak niektórzy, jak Max Planck (Berlin), choć krytycznie nastawieni do energetyki, trzymali się tak blisko, jak tylko mogli, dwóch praw termodynamiki. Jeszcze inni myśleli o odwróceniu argumentu, który dawał pierwszeństwo mechanice i zastąpili ją elektrycznością lub ciepłem. Boltzmann skojarzył te schizmy z atakiem fin de siècle na przyjęte kanony sztuki, muzyki i literatury. Wszędzie, jak powiedział w 1899 roku, klasycyzm miał swoich wrogów. Ale dla jasności, długowieczności i produktywności pozostałby przy tym, co on, być może pierwszy wśród śmiertelników, nazywał „fizyką klasyczną” — nauką o jasnych modelach mechanicznych w przestrzeni i czasie — i ufał, że jakiś imperialny Newton pozbędzie się ekwipartycji. Chmury Kelvina stały się bardziej grzmiące po 1900 roku. Dzięki wielkiej syntezie Maxwella problem rozchodzenia się światła w przezroczystym ciele poruszającym się przez nieruchomy eter nabrał nowej pilności. Teoria wyjaśniła niektóre zjawiska optyczne, zakładając, że poruszająca się materia ciągnie za sobą część eteru; ale gdy ta sama teoria wymagała, aby była ona ciągnięta przez wirujące naładowane dyski, uparcie pozostawała w bezruchu. A jednak poruszające się ciała ważyły się ciągnąć otaczający je eter, ponieważ eksperymenty mające na celu zmierzenie ich prędkości przez niego niezmiennie kończyły się niepowodzeniem. Najśłynniejsze i najdelikatniejsze z tych eksperymentów, przeprowadzone przez A. A. Michelsona (Cleveland, później Chicago) i Edwarda Morleya (Cleveland), pochodzą z lat 80. XIX wieku. Podobnie jak Galileusz przeciął nagromadzone zagadki ruchu, zastępując fizykę matematyką, tak teraz H. A. Lorentz (Leyden) przekształcił równania Maxwella dotyczące poruszających się ciał, aby zabić terminy, które przewidywały wykrywalne efekty wynikające z ruchu. Jego manewr w efekcie

wyeliminował eter jako byt mechaniczny. W 1905 roku Albert Einstein, wówczas egzaminator patentowy w Bernie, uznał, że transformacje Lorentza były dokładnie tym, czego potrzebował, aby opisać fizykę ciał poruszających się ze stałymi, prostoliniowymi prędkościami względem siebie. Szczególna teoria względności (teoria Einsteina z 1905 roku) jest tak demokratyczna jak ekwipartycja, ponieważ skutecznie umieszcza wszystkich obserwatorów w spoczynku w ich własnym eterze. W związku z tym światło zawsze rozprzestrzenia się w kierunku obserwatorów w wolnej przestrzeni lub od nich z tą samą prędkością, niezależnie od ich stanu ruchu. Do tej zasady Einstein dodał równie intuicyjną propozycję, że prawa fizyki powinny być takie same we wszystkich układach inercjalnych; żaden eksperyment fizyczny nie powie ci, czy przejeżdżający pociąg, twój pociąg, czy oba poruszają się ruchem jednostajnym. Z tych łatwych do zrozumienia początków Einstein wyprowadził bardzo dziwaczne konsekwencje: dylatację czasu i kurczenie się przestrzeni (zegary chodzą wolniej, a patyki stają się krótsze w „ruchomych układach” widzianych z „stacjonarnych”) oraz równoważność materii i energii. Jakkolwiek dezorientujące byłyby wnioski, zasady te można by interpretować jako racjonalne rozszerzenie zasad fizyki klasycznej. Rozładowanie drugiej chmury Kelvina wymagało przejścia przez irracjonalność. Problem, który wywołał szaleństwo, dotyczył równowagowego rozkładu energii promieniowania zawartej w piecu o stałej temperaturze („promieniowanie ciała doskonale czarnego”). Ten pozornie niejasny problem miał pewne znaczenie przemysłowe, ponieważ odnosił się do standardów oświetlenia, a bibliotekarze fizyki, przewidując jego rozwiązanie, mieli już dla niego miejsce na półce między elektrodynamiką a termodynamiką. Jednak gdy eter traktowano jako układ mechaniczny, ekwipartycja przyznawała każdemu trybowi drgań eterycznych taką samą ilość energii, $kT/2$. Jak podkreślił w 1900 r. Lord Rayleigh, ten demokratyczny podział mógł być katastrofalny. Gdyby eter, podobnie jak inne układy wibracyjne, miał o wiele więcej trybów drgań o wysokich częstotliwościach niż o niskich, cała dostępna dla niego energia elektromagnetyczna powinna przebiegać w ultrafiolecie i dalej. Aby uciec od tej opresji, Rayleigh i, bardziej stanowczo, James Jeans (Cambridge) zasugerowali, że proces ten może trwać tak długo, jak wiek wszechświata, oszczędzając w ten sposób ekwipartycję poprzez odroczenie równowagi do czasu, gdy nikt prawdopodobnie jej nie zaobserwuje. To nie było rozsądne. Nie wiedząc nic o rozważaniach Rayleigha, Planck opublikował w tym samym roku, 1900, teoretyczną formułę widma ciała doskonale czarnego, która wydawała się zgadzać z eksperymentem. Wkrótce jednak pomiary w podczerwieni zanegowały formułę. Planck znalazł taką, która działała. Wymyślił dla niej teorię, która podważała klasyczną fizykę Boltzmann, z której, jak sądził, ją wyprowadził. To było nieracjonalne. „Teoria kwantowa” Plancka wkrótce połączyła się z innymi dowodami na to, że mikroświata nie da się opisać za pomocą zwykłych pojęć fizyki.

Mikroświat

William Whewell, który dał światu „fizyka” i „naukowca”, dostarczył Faradayowi „jon”, aby odnieść się do naelektryzowanych nieznanymi elementami w ruchu w pracującym ogniwie elektrolitycznym. W swojej rozprawie doktorskiej na Uniwersytecie w Uppsali w 1884 r. Svante Arrhenius zidentyfikował jony z naładowanymi fragmentami cząsteczkowymi i stwierdził ich obecność we wszystkich roztworach. Jego koncepcja dysocjacji udowodniła swoją moc również w badaniu wyładowań elektrycznych przez rozcieńczone gazy. W latach 70. i 80. XIX wieku fizycy odkryli „promienie katodowe”, które przebiegają niewidocznie w liniach prostych od katody lampy wyładowczej, powodując fluorescencję jej ścianek. (Whewell stworzył „katodę” i „anodę” dla Faradaya, a także „jon”.) Oczywista hipoteza, która zakładała, że promienie są ujemnymi jonami gazu odpychanymi od katody, upadła, gdy J. J. Thomson (Cambridge) i inni wykazali około 1897 r., że cząstki promieni katodowych muszą mieć stosunek ładunku do masy (e/m) około 1000 razy większy niż najbliższy jon elektrolityczny, wodór. Thomson wywnioskował, że „jon” promieni katodowych (jego słowem było „korpuskuła”) przedstawia materię w stanie całkowitej dysocjacji. Rozpoznanie korpuskuły/elektronu, które ponownie ustanowiło ładunek elektryczny w fizyce brytyjskiej, zwieńczyło serię niezwykłych

odkryć związanych z lampą wyładowczą. Pod koniec 1895 roku Wilhelm Conrad Röntgen (Würzburg, później Monachium) wywnioskował z blasku ekranu fosforyzującego w pewnej odległości od lampy wyładowczej generującej promienie katodowe istnienie przenikliwego promieniowania o nowym charakterze. Nie mógł odbijać ani załamywać jego promieni ani ich zginać magnesem; ale dawały one dobre zdjęcia wnętrza żywej ludzkiej dłoni. Podsumował swoją wiedzę o ich naturze, nazywając je „promieniami rentgenowskimi”. Henri Becquerel (Paryż) odkrył, że uran emituje promienie inne niż promienie Röntgena. Maria Curie i jej mąż Pierre Curie (Paryż) rozpoznali w latach 1897–1898, że tor i pierwiastki polon i rad, które odkryli w rudach uranu, również mają zdolność promieniowania („radioaktywność”). Thomson i jego uczeń Ernest Rutherford ustalili, że wszystkie nowe promienie jonizują powietrze, co pozwoliło Rutherfordowi odróżnić miękkie (alfa) i bardziej przenikliwe (beta) składnik wśród promieni Becquerela. E/m promienia beta było zbliżone do jonu katodowego. Wniosek Thomsona, że elektrony mogą być budulcem materii, został dodatkowo potwierdzony w eksperymentach przeprowadzonych w 1896 roku przez Pietera Zeemana (Lejda, wówczas Amsterdam), jak wyjaśnił Lorentz. „Efekt Zeemana” (rozszczenie linii widmowych w polu magnetycznym) ujawnił, że oscylator elektryczny rzekomo odpowiedzialny za emisję widmową miał e/m zbliżone do e/m korpuskuły Thomsona. Tak więc około 1900 roku fizyka otrzymała swoją pierwszą cząstkę elementarną i pół tuzina promieni, dla których jej biblioteka nie miała znaku na półce. Kontynuując badania nad cząstkami alfa, Rutherford, obecnie profesor w Montrealu (1902), i jego kolega chemik Frederick Soddy odkryli tendencję do samozniszczenia substancji radioaktywnych. Większość z wielu ulotnych produktów rozpadu, które zostały później wykryte, nie pasowała do układu okresowego. Informacje te skłoniły do zrozumienia, że w 1913 r. rozbieżność w układzie argon/potas była systematyczna: tablica Ouija działała prawidłowo, gdy była uporządkowana nie według masy, ale według liczby całkowitej zaczynającej się od jedności przy wodorze i przypisanej na podstawie właściwości chemicznych. Więcej niż jeden pierwiastek radioaktywny mógł zajmować tę samą komórkę w układzie („izotopia”): atomy różniące się masą mogły mieć identyczne właściwości chemiczne. Jako odkrycie, izotopia była klasyfikowana logicznie, jeśli nie dogłębnie, z termodynamiką: w każdym przypadku naukowcy zdali sobie sprawę, że jedno pojęcie (masa atomowa, energia) wymagało innego (liczba atomowa, entropia), aby zapewnić odpowiedni opis zjawiska. Na krótko przed odkryciem izotopii Rutherford wynalazł swoją wersję atomu jądrowego. Odbiegała ona od wiodącego na rynku modelu Thomsona, w którym elektrony krążą w przestrzeni naładowanej dodatnio, będąc niestabilną zarówno mechanicznie, jak i elektrodynamicznie. To ją wykluczało w poprzednich wersjach. Ale do 1911 r. nieliczni śmiałkowie, którzy zrezygnowali ze zwykłej fizyki w mikroświecie, mogli pomyśleć, że atom Rutherforda jest tak zły, że może być dobrym miejscem do poszukiwania aktywności kwantowej. Jego zalety obejmowały, oprócz posiadania klasycznej fizyki przeciwko sobie, oferowanie prostej reprezentacji Z, liczby atomowej, jako ładunku jądra i wyjaśnianie niektórych szczegółów dotyczących przechodzenia cząstek alfa przez materię. Fizycy ostatecznie weszli do mikroświata w ciągu ostatnich kilku lat przed I wojną światową, kiedy ich zdolność do przypisywania dokładnych wartości ładunkom, masom i liczbie atomów i elektronów utwierdziła ich w wierze w nie. Ładunek na elektronie był najcenniejszą wartością: produkował, za pomocą mierzalnych wielkości, m, N i k. W 1910 roku Robert Millikan (Chicago) podał wartość $e = 4,891 \times 10^{-10}$ esu (jednostek elektrostatycznych) w swoim „eksperymentcie z kroplą oleju”, udoskonaleniu techniki wykorzystującej wodę wynalezionej w 1898 roku przez J. J. Thomsona. Teoria promieniowania ciała doskonale czarnego Plancka podała e jako $4,69 \times 10^{-10}$ esu, blisko wartości Rutherforda z liczenia cząstek alfa, $4,65 \times 10^{-10}$ esu. Jean Perrin (Paryż) potwierdził te wartości z innego kierunku, uzyskując N z pomiarów tańca jednorodnych maleńkich kulek gumy zawieszonych w wodzie między siłami grawitacji i ciśnienia osmotycznego. Ich taniec, ruch Browna, wynika z nierównowagi w oddziaływaniu na nie cząsteczek wody. W 1905 r. Einstein obliczył średnie przemieszczenie kulek gumy w czasie na podstawie miejsc, w których zostały po raz pierwszy dostrzeżone. Wzór obejmował N i mierzalne wielkości. Średnia Perrina, $N = 7,0 \times 10^{23}$, którą podał w

1909 r., zgadzała się dość dobrze z $6,2 \times 10^{23}$, obliczoną przy użyciu e określonego przez Rutherforda. Udany wzór Plancka na promieniowanie ciała doskonale czarnego zawierał dwie stałe. Jedną z nich teoria zidentyfikowała jako k ; drugą była liczba ad hoc, h , która ustalała próg energii ϵ , jaką mógł przyjąć tryb eteru o częstotliwości ν . Stąd „ $\epsilon = h\nu$ ”, hasło tak dobrze znane fizykom jak „ $E = mc^2$ ”. Fakt, że hipoteza kwantowa Plancka ukrywała wyłom w teorii klasycznej, nie wyszedł na jaw, dopóki Einstein i inni nie ujawnili jej około 1905 roku. Dwa lata później Einstein zbliżył formułę Plancka do klasycznego problemu ekwipartycji, stosując ją do drgań (ciepła właściwego) sprężystych ciał stałych. Korzystając z prawa promieniowania Plancka, Einstein uzyskał ciepła właściwe, które odbiegały od empirycznego prawa Dulonga i Petita w niskich temperaturach. Pomiar Walthera Nernsta (Berlin) potwierdził ekstrapolację Einsteina i spostrzeżenie, że prawo Plancka dotyczyło drgań dalekich od jego pierwotnej jurysdykcji. Problem kwantowy przesunął się wyżej w porządku obrad fizyki. Na sugestię Nernsta belgijski przemysłowiec Ernest Solvay zorganizował w 1911 r. w Brukseli spotkanie, na którym wszyscy ważni fizycy zainteresowani promieniowaniem i kwantami zebraли się, aby spróbować wyjaśnić sobie nawzajem, co oznacza kwant h Plancka. Nie udało im się. Mnożyły się przypadki nieracjonalności. Promienie rentgenowskie rozprzestrzeniały się jak fale, ale oddziaływały z materią jak cząsteczki. Ten sam paradoks pojawił się w efekcie fotoelektrycznym, odkrytym przez Hertza w 1887 r., w którym światło ultrafioletowe, o którym wszyscy wiedzieli, że jest falą, wybija elektrony z metali, jakby (jak zauważył Einstein w 1905 r.) składały się one z cząsteczek. Radioaktywność stanowiła kolejny przykład paradoksu. Thomson wysunął rozsądną sugestję, że stopniowa utrata energii przez elektrony atomowe poprzez promieniowanie powodowała radioaktywność. Uczniowie Boltzmanna zauważyli, że prawo rozpadu promieniotwórczego Rutherforda i Soddy'ego dopuszcza interpretację, zgodnie z którą w krótkim odstępie czasu każdy atom pierwiastka radioaktywnego ma takie samo prawdopodobieństwo eksplozji. Franz Exner (Wiedeń) wyciągnął zaskakujący wniosek: prawdopodobieństwo rozpadu radioaktywnego i innych fluktuacji to zdarzenia losowe, których w zasadzie nie da się obliczyć. Wielu wybitnych fizyków odrzuciło domniemane ograniczenie przyczynowości. Niels Bohr, student podoktorancki pracujący w laboratorium Rutherforda w Manchesterze, powitał impas. Jego rozprawa doktorska uogólniła teorię elektronów metali, zapoczątkowaną przez Thomsona, Lorentza i Paula Drude'a (Berlin), którzy traktowali elektrony przewodnictwa uwięzione w drucie jako wolny gaz, pomijając ich zderzenia z cząsteczkami metalu. Bohr był bliżej niż oni wyprowadzenia prawa Wiedemanna–Franza, ale poniósł porażkę z prawem Curie i promieniowaniem cieplnym. Zrzucił winę na ekwipartycję i założył, że ograniczenie takie jak Plancka musi zostać nałożone na elektrony atomowe. To go nie zaskoczyło. Jego lektura duńskiej filozofii i literatury przygotowała go do oczekiwania, że teoria fizyczna musi czasami natrafiać na nieruchome bariery. Bohr zaakceptował atom jądrowy i usunął jego defekty na mocy dekretu: w swoich stanach podstawowych elektrony atomowe uchylały się od swoich klasycznych zobowiązań do promieniowania i zakłócania swojego wspólnego ruchu kołowego. Na początku 1913 roku zetknął się ze wzorem Balmera-Rydberga w postaci $\nu = K(1/2^2 - 1/n^2)$, gdzie n , liczba całkowita ruchoma, oznacza linię widmową. Mnożąc obie strony przez h i odczytując wynik jako równanie energii w stylu Plancka, Bohr rozpoznał istnienie wzbudzonych „stanów stacjonarnych”, w których elektrony krążyły z odpornościami, jakie miały w stanie podstawowym i z energią $-hK/n^2$. Linie Balmera powstają w niemotywowanym przejściu („skoku kwantowym”) z n -tego do drugiego stanu stacjonarnego. Interpretując $-hK/n^2$ jako energię n -tego stanu stacjonarnego i pozwalając zwykłej fizyce niespójnie rządzić stanem, Bohr wyprowadził K Rydberga w kategoriach stałych atomowych ($K = 2\pi^2me^4/h^3$). Ten popisowy wyczyn przekonał Einsteina, Jeansa i innych absolwentów Rady Solvaya, że Bohr znalazł sposób na pójście naprzód. Chociaż Bohr zaproponował „zasadę korespondencji”, która sugerowała, w jaki sposób obliczenia jego skwantowanego atomu mogłyby być zgodne z obliczeniami fizyki klasycznej w pewnych granicach, podkreślił, że nawet tam, gdzie obliczenia były zgodne, procesy nie. Jego skoki kwantowe dołączyły

zatem do eksplozji radioaktywnych jako pierwsze przykłady zjawisk naturalnych umieszczonych formalnie poza zasięgiem ludzkich badań od czasów Talesa.

Zawód

Większość z 700 uczestników Międzynarodowego Kongresu Fizyki z 1900 r. — około jeden na czterech fizyków na świecie — zajmowała płatne stanowiska w nauczaniu (60 proc.), przemyśle (20 proc.) i rządzie (20 proc.). Ważną nowością był powoli rosnący podzbiór teoretyków. Zajmowali oni katedry głównie w Niemczech i Austrii. W Wielkiej Brytanii i Imperium Brytyjskim absolwenci matematyki z Cambridge zajmowali około połowy stałych stanowisk w fizyce w 1900 r. Ich zdolność do opracowywania i obliczania zachowania modeli mechanicznych nadała fizyce angielskiej orientację sprzyjającą tworzeniu modeli atomowych, takich jak modele Thomsona i Rutherforda. Fizyka francuska miała zupełnie inną, ale równie charakterystyczną epistemologię, przesiąkniętą pozytywizmem i wpojona w *École polytechnique* i *École normale*, przez które przeszła ponad połowa fizyków akademickich działających we Francji w 1900 r. Ten pozytywizm, z jego niechęcią do angażowania się w modele mikroświata, zaznaczył podejście Curie. Nie istniała żadna standardowa epistemologia ani hegemoniczne centrum w Niemczech, gdzie studenci zwyczajowo uczęszczali do więcej niż jednego uniwersytetu lub politechniki, ani w Stanach Zjednoczonych, gdzie profesorowie pochodzili z różnych uniwersytetów i zazwyczaj kończyli naukę w zdecentralizowanych Niemczech. Większość świadomych obserwatorów umieściła Niemcy na pierwszym miejscu wśród krajów produkujących naukę około 1900 r., głównie ze względu na jakość publikacji niemieckojęzycznych, przewagę niemieckich instrumentów naukowych i hojne wsparcie instytutów naukowych przez kilka państw Rzeszy. Decentralizacja i konkurencja były zasadami napędowymi i gwarancją, że w Niemczech najlepsi naukowcy nie zostaną zmiażdżeni, jak we Francji, na szczycie jednego systemu edukacyjnego. Jednak gdy lekarz znalazł się na paryskim szczycie, mógł odzyskać przestrzeń, gromadząc stanowiska (cumul). Henri Becquerel, który w żadnym wypadku nie był wybitnym prymusem, piastował trzy stanowiska profesorskie w Paryżu, jedno zdobyte samodzielnie, a dwa przekazane mu jakby jako prywatna własność ojca i dziadka. W Imperium Brytyjskim rząd centralny nie udzielił zbyt dużego wsparcia dla akademickich nauk fizycznych; w Stanach Zjednoczonych żadnego. Duże źródło funduszy na ekspansję w obu krajach pochodziło od osób fizycznych lub korporacji. Rzecznicy w każdym kraju, szczególnie w Wielkiej Brytanii, nieprzychylnie porównywali to niepewne finansowanie z hojnością niemieckich landów. Niemniej jednak prywatna filantropia rozszerzała bazę materialną dla fizyki szybciej w krajach anglosaskich niż w ich głównym rywalu. Niemieccy mężowie stanu nauki wskazali na tę hojność jako coś, czego należy się obawiać i naśladować. Około 1900 roku Wielka Brytania i Stany Zjednoczone, zawstyżone koniecznością wysyłania swoich produktów do niemieckiego *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (PTR, 1887) w celu uzyskania certyfikacji, założyły własne laboratoria normalizacyjne. Podobnie jak PTR, *British National Physical Laboratory* (1900) i *American National Bureau of Standards* (1901) zatrudniały coraz większą liczbę fizyków-absolwentów. Naturalnie ci rekruci naciskali na prowadzenie badań, z których niektóre, jak pomiary widma ciała doskonale czarnego w PTR, dotyczyły problemów fundamentalnych. Kilka gałęzi przemysłu produkujących produkty do testów również założyło laboratoria badawcze. *Personel General Electric Research Laboratory* (1900) liczył prawdopodobnie 200 osób w 1913 r., w tym byłych fizyków akademickich Irvinga Langmuira i W. D. Coolidge'a. Nieco za *General Electric* pojawili się *American Telephone and Telegraph* (1907), *Corning Glass* (1908), *Eastman Kodak* (1912), *Philips Eindhoven* (1914) i *Siemens & Halske* (1900, 1913). Trzy inne formy instytucjonalne stworzone z pieniędzy rządowych i/lub przemysłowych na początku XX wieku wpłynęły na ton i tempo nauk fizycznych. Nagrody Nobla, uposażone z dochodów z dynamitu i prochu bezdymnego, miały według zamierzenia ich założyciela nagradzać tych, „którzy w poprzednim roku przynieśli ludzkości największe korzyści”. Chociaż pierwsza nagroda w fizyce, przyznana Röntgenowi za promienie X, spełniła ten test, profesorowie wkrótce pokonali system, a nagrody szły coraz częściej na prace naukowe bez

bezpośredniej wartości praktycznej. Ufundowanie przez Andrew Carnegie'ego 10 milionów dolarów w 1901 roku na instytut badawczy w Waszyngtonie wprowadziło współczesnych w osłupienie. Większość dochodów wspierała badania nad tematami meteorologicznymi. Aby zainspirować podobną hojność wśród przemysłowców Rzeszy, powstało Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG), które miało pomóc w finansowaniu „czystych” instytutów badawczych. Wychodząc z założenia, że „nauka osiągnęła punkt w swoim zakresie i kierunku, w którym samo państwo nie jest już w stanie zadbać o jej potrzeby”, projektanci stowarzyszenia wskazali na Carnegie Institution, Nobel Institution i darowiznę w wysokości miliona dolarów dla University of Chicago na instytut fizyki jako dowód, że Niemcy pozostają w tyle. KWG zostało założone w styczniu 1911 r. z zadeklarowanym kapitałem prywatnym wynoszącym około jednej czwartej funduszu Carnegie Institution. Instytut fizyki stowarzyszenia został otwarty praktycznie w 1917 r., z Einsteinem jako dyrektorem i Planckiem jako efektywnym dyrektorem, ale czekał na budynek przez dwadzieścia lat, a następnie Fundacja Rockefellera za niego zapłaciła. Najwyraźniej stowarzyszenie nie sądziło, że placówka prowadzona przez Einsteina i Plancka prawdopodobnie wniesie wiele do niemieckiego przemysłu. Wraz z profesjonalizacją fizyki stary podział pracy między akademią a uniwersytetem ustał. Badania stały się coraz bardziej oczekiwaniem, a następnie obowiązkiem profesorów. Kariery zależały coraz bardziej od publikacji w transakcjach głównych akademii naukowych i stowarzyszeń zawodowych. Spośród stowarzyszeń, które same były twórcami późnego XIX wieku, te z Berlina i Londynu oraz Instytut Inżynierów Elektryków były prawdopodobnie najbardziej prestiżowymi wydawcami. Spośród akademii krajowych, francuskiej, brytyjskiej i amerykańskiej, a wśród akademii regionalnych te z Berlina (Prusy), Getyngi (Hanower), Lipska (Saksonia) i Monachium (Bawaria) pozostały ważnymi punktami sprzedaży. Ponadto ogólne lub dyscyplinarne czasopisma informacyjne, takie jak Nature (założone w 1871 r.), La Nature (1873 r.) i Physikalische Zeitschrift (1899 r.) rozpowszechniały raporty badawcze i dobre nowiny. Ponadto szeregiem lokalnym (uniwersytety, politechniki, rząd i laboratoria przemysłowe) i regionalnym/krajowym (stowarzyszenia zawodowe, akademie) stały, w skali inkluzywności, krajowe stowarzyszenia na rzecz rozwoju nauki i organizacje międzynarodowe o różnym stopniu specjalizacji i trwałości. Krajowe stowarzyszenia gromadziły naukowców, zwolenników nauki i zainteresowaną publiczność na dużych corocznych spotkaniach, które zabiegały o inkluzywność, zmieniając miejsce z roku na rok. Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte było najstarsze (1822), zaraz za nim British Association for the Advancement of Science (1831), a później podobne organy we Francji, Stanach Zjednoczonych i Włoszech. Internacjonalizm był równie charakterystyczną cechą półwiecza poprzedzającego I wojnę światową, jak nacjonalizmy, które próbował złagodzić. Zachęczone kosmopolitycznymi lub humanitarnymi podszeptami, umożliwiające przez sprawny system komunikacji i transportu w Europie oraz wspierane przez rządy dążące do międzynarodowych porozumień w sprawach technicznych, międzynarodowe konferencje na temat różnych gałęzi fizyki potrojiły się, z 1,7 rocznie około 1875 r. do 5,5 rocznie około 1905 r. Logicznym szczytem międzynarodowego ruchu w fizyce była organizacja koordynująca światową pracę w naukach fizycznych zgodnie z wielkim planem badawczym. W 1912 r. Solvay częściowo wypełnił tę logiczną przestrzeń, zakładając Institut international de physique. W 1914 r. Charles Edouard Guillaume, dyrektor Bureau international des poids et mesures (1875), zaproponował utworzenie międzynarodowego stowarzyszenia towarzystw fizycznych. Jego czas nie był dobry.

Ze starego świata do nowego

Historycy, filozofowie, teologowie, popularyzatorzy i komitety Nagrody Nobla zajmujące się fizyką XX wieku zwykle kierują swoją uwagę na TOE i mikrofizykę kosmogonii. Nacisk kładzie się na rozwijające umysł koncepcje teorii względności, fizyki kwantowej i systematykę cząstek elementarnych. Drugorzędny temat podkreśla kontrolę natury za pomocą teorii fizycznej, co zostało zademonstrowane przez uwolnienie energii jądowej. Po tej demonstracji wielkie laboratoria, krajowe i międzynarodowe,

zatrudniające maszyny tak drogie jak pancerniki, mnożyły „elementarne” cząstki, a także fizyków wysokich energii i armię techników, skanerów, specjalistów komputerowych, inżynierów, urzędników ds. dotacji, księgowych, sekretarzy i wykonawców, od których teraz zależą zadania TOE. Symbolem i szczytem tego przedsięwzięcia w krótkim amerykańskim stuleciu jest Fermilab. Niemniej jednak romantyczne badanie najmniejszych i największych rzeczy we wszechświecie zatrudnia mniej niż 20 procent dzisiejszych fizyków, jeśli podział wydziałowy Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego odpowiednio reprezentuje cały zawód. Większość fizyków pracuje nad materią skondensowaną, plazmą, komputerami, optyką, laserami, polimerami, dynamiką płynów, materiałami, problemami atomowymi, molekularnymi i jądrowymi, zagadnieniami o znaczeniu wojskowym i tematami granicznymi, nakładającymi się na siebie chemią, naukami o Ziemi, biologią, medycyną i inżynierią. Uprawiają również najnowsze gałęzi tego starego pnia fizyki, meteorologii: klimatologii, tektoniki płyt, jonosfery, oceanografii i sejsmologii.

Dziedzictwo I wojny światowej

Podczas dryfowania na zachód w kierunku Stanów Zjednoczonych w latach 30. XX wieku, centrum ciężkości fizyki doświadczyło szarpnięć ze strony Związku Radzieckiego i Japonii. Kilka liczb zilustruje siłę tej ekspansji. Liczba zasług podwajała się co dekadę między 1920 a 1940 rokiem. Tak było w USA w przypadku corocznego zbioru doktorów z fizyki (50 do 200) i fizyków w przemyśle (400 do 1600). W Japonii liczba doktorów podwajała się co siedem lat, członkostwo w Japońskim Towarzystwie Fizycznym i Matematycznym co jedenaście lat (osiągając 1100 w 1940 r.), a laboratoriów badawczych co dwadzieścia lat (do 325). Szybki rozwój fizyki w Związku Radzieckim można wskazać na ośmiokrotny wzrost liczby uniwersytetów i szkół wyższych, sześciokrotny wzrost liczby pracowników naukowych i dwudziestokrotny wzrost liczby pracowników Akademii Nauk. Mechanizmem sprzężenia zwrotnego dla tego wybuchowego wzrostu i wolniejszych wzrostów w ośrodkach europejskich było odkrycie znaczenia fizyki dla obrony narodowej, rozwoju przemysłu i tego, co włoscy faszyci i japońscy militaryści nazywali „autarkią”. Wielka Wojna pokazała, że determinacja i technologia mogą uniezależnić naród od innych pod względem produktów i surowców. Tak było z nawozami azotowymi w Niemczech oraz z produktami farmaceutycznymi, chemikaliami, urządzeniami elektrycznymi i szkłem optycznym w mocarstwach Ententy. Wśród pierwszych placówek badawczych założonych w Japonii i Związku Radzieckim znajdowały się instytuty optyczne odpowiedzialne za udoskonalanie szkła do celów wojskowych. Pod koniec lat dwudziestych Włochy poszły w ich ślady, tworząc instytut optyki, jeden z niewielu udanych, wspieranych przez państwo przedsięwzięć badawczych w dziedzinie zaawansowanych technologii w czasach reżimu Mussoliniego. Dwie inne gałęzie przemysłu, praktycznie stworzone podczas wojny, lotnictwo i radio, dały zatrudnienie fizykom we wszystkich krajach rozwiniętych po jej zakończeniu. Rządowe i przemysłowe laboratoria radiowe i telefoniczne mnożyły się, udoskonalając lampy próżniowe, odbiorniki, przekaźniki i nadajniki, promując miniaturyzację i rozwijając nagrywanie i odtwarzanie dźwięku. Fizycy zatrudnieni w ten sposób pomogli zaprojektować kilka równoczesnych rewolucji, dostarczając sprzęt do badań na dużą skalę, radia do użytku domowego i głośniki dla polityków i propagandystów. Faszyci i naziści żerowali na wielkim kłamstwie, masowych wiecach i wzmacniaczach. Nauka i retoryka I wojny światowej nadal konfrontują nas w raportach pogodowych, które rejestrują wizję Vilhelma Bjerknesa (Bergen) i jego szkoły klimatologów. Odcięci od informacji meteorologicznych z Zachodu podczas wojny, wypełnili lukę teorią frontów między walczącymi masami powietrza. Wybrali swoją terminologię z myślą o wojnie okopowej. Ogromne dane o górnych warstwach atmosfery, zebrane w celu kierowania lotami samolotów i pocisków, były gotowe do testowania i rozszerzania ich teorii po wojnie. Oprócz dziedzictwa sprzętu i praktycznie nastawionych naukowców, I wojna światowa skonfrontowała fizyków demobilizujących się z odkryciami dokonanymi w osłoniętych niszach podczas jej trwania. Einstein rozważał ciekawy fakt, że opór ciała wobec ruchu ma taką samą miarę jak jego przyspieszenie pod

wpływem grawitacji. Wynikało z tego, że wszyscy obserwatorzy mogą uważać się za spoczywających w swoich układach odniesienia, jeśli przypisują jakiegokolwiek przyspieszenie, które odczuwają, grawitacji. Ta równoważność pozwoliła Einsteinowi zgeometrizować grawitację 300 lat po tym, jak Galileusz intuicyjnie wyczuł taką możliwość. Sztuczka polegała na użyciu geometrii nieeuklidesowej. Koło obracające się z prędkościami relatywistycznymi ma inną geometrię niż w stanie spoczynku, ponieważ obwód ulega skróceniu Lorentza, a promień nie. Ze względu na równoważność przyspieszenia (w tym przypadku ruchu okrężnego) i grawitacji Einstein wywnioskował, że masywne ciała grawitacyjne zakrzywiają przestrzeń wokół siebie, aby pochwycić inne ciała. W zależności od prędkości i kierunku, z jakim obiekt niebieski zbliża się do osnowy, może zostać połknięty jak jabłko, nabyty jako planeta lub odchylony jako kometa. Zupełnie jak kartezjański wir słoneczny! Einstein ukończył swoją „ogólną teorię względności” w listopadzie 1915 r., w roku, w którym jego przyjaciel i współpracownik Fritz Haber wzbogacił sztukę wojenną o gaz trujący. Zgodnie z ogólną teorią względności światło powinno skręcać, przechodząc przez zdeformowaną przestrzeń. Einstein zasugerował przetestowanie przewidywania poprzez porównanie kierunku promieni gwiazdnych, które musnęły Słońce podczas całkowitego zaćmienia Słońca, z ich kierunkiem sześć miesięcy wcześniej. W 1918 r. amerykańscy astronomowie próbowali wykryć oczekiwaną zmianę. Nie udało im się. Rok później znalazła ją angielska ekspedycja. Potwierdzenie wzbudziło ogromne zainteresowanie opinii publicznej w świecie pragnącym podnieść wzrok ku gwiazdom. Teoria kwantowa atomu Bohra rozwijała się znakomicie w czasie wojny. W neutralnej Danii on i jego holenderski student, Hendrik Kramers, opracowali zasadę korespondencji, a w neutralnej Szwecji Manne Siegbahn (Sztokholm) i jego studenci przeprowadzili precyzyjne pomiary widm o wysokiej częstotliwości, które umożliwiły dostęp do głębokiej struktury atomów. Pomiary te wykorzystywały dwa kapitalne odkrycia przedwojenne. W latach 1911–1912 Max von Laue (Monachium), William Lawrence Bragg (Cambridge) i William Henry Bragg (Leeds) wykazali, że promienie X mogą być załamywane i odbijane przez kryształy, co umożliwiło spektroskopię rentgenowską i przechyliło dualizm korpuskularno-falowy w stronę fal; a w latach 1913–1914 Henry Moseley (Manchester, wówczas Oksford) zainaugurował spektroskopię rentgenowską, wykrywając widma linii o wysokiej częstotliwości charakterystyczne dla pierwiastków, z których pochodzą. Moseley odkrył, że najsilniejsza linia z pierwiastka Z miała częstotliwość zgodną z prostym wzorem podobnym do Balmera, $\nu = K(Z-1)^2 \times (1-1/2^2)$. Zinterpretował ten wzór jako potwierdzenie koncepcji liczby atomowej i drogowskaz do najgłębszego obszaru atomu. Arnold Sommerfeld (Monachium), który był za stary, by walczyć i niepraktyczny w pracy wojennej, rozwinął teorię Bohra, wprowadzając dodatkowe liczby kwantowe. Za ich pomocą uwzględnił widma rentgenowskie i złożone widma optyczne. Jego systematyczna prezentacja jego postulatów i wyników, *Atombau und Spektrallinien* (1919), dała fizykom demobilizującym partyturę tego, co nazywał „atomową muzyką sfer”. Muzyka Sommerfelda, choć wspaniała, była zbyt formalna dla smaku Bohra, ponieważ wprowadzała liczby kwantowe i doraźne ograniczenia przejść elektronicznych bez większego uzasadnienia fizycznego. Bohr preferował swoją metodę intuicji i domysłów, którą tylko on, podążając za tym, co Einstein podziwiał jako jego „niezawodny takt”, potrafił wykorzystać. Trzecia fundamentalna nowość wojenna w fizyce podstawowej pojawiła się, gdy Rutherford, wyrывая czas ze swojej pracy obronnej, zapytał, jak blisko jądra znajduje się prawo Coulomba. Odkrył kilka osobliwych odchyłeń w spotkaniach twardych promieni alfa z cząsteczkami powietrza: zamiast zostać odepchniętym, alfa zniknęła, a pojawiła się szybsza, pozornie lżejsza cząstka. Rutherford przypuszczał, że był świadkiem gry w kulki, w której alfa weszła do obwodu jądrowego i wybiła jądro wodoru („proton”), i przypuszczał, że jądra składają się z cząstek alfa, protonów i neutralnych cząstek, z których każda składa się z promienia beta i protonu.

Od elektronów do gwiazd

Latem 1922 roku Bohr wygłosił inspirujące, zagadkowe wykłady w Getyndze, w których twierdził, że zasada korespondencji określa, ile pierwiastków przypada na każdy rząd układu okresowego. Zadowolili

się dwiema liczbami kwantowymi. Wśród jego słuchaczy był nagrodzony student Sommerfelda, Wolfgang Pauli, który trzy lata później przypisał każdemu elektronowi dwie kolejne liczby kwantowe, aby wyprowadzić długości rzędów układu okresowego: 2, 8, 18, 32. Wymagał „zasady wykluczenia”, zgodnie z którą żadne dwa elektrony atomowe nie mogą mieć takich samych wartości wszystkich czterech liczb kwantowych. Jej implikacja, że wśród elektronów panuje antypatia, pokazała, że niektóre koncepcje greckiej *physis* pozostały użyteczne; a jej szybka akceptacja zmierzyła, jak dalece fizycy atomowi przyzwyczaili się do nieracjonalności mikroświata. W tym samym roku, 1925, inny produkt wychowania Bohra-Sommerfelda, Werner Heisenberg, świeżo po pobycie u ścisłego teoretyka matematycznego Maxa Borna (Getynga), odkrył rachunek łączący wyłącznie obserwowalne cechy linii widmowych. Rachunek przedstawiał częstotliwości i natężenia w kwadratowych tablicach („macierzach”), których wpisy (natężenia) były zlokalizowane za pomocą liczb kwantowych definiujących możliwe przejścia elektronowe. Heisenberg, jego były kolega ze studiów Pascual Jordan i ich nauczyciel formalista Born szybko tak skutecznie rozwinęli wgląd Heisenberga, że niewielu fizyków mogło go zrozumieć. Na szczęście dla ich poczucia własnej wartości i zdrowego rozsądku, Erwin Schrödinger (Zurych), potomek szkoły Boltzmann, znalazł inny rachunek bez odwoływania się do macierzy. Zamiast tego, zaczerpnął wskazówkę z rozprawy doktorskiej Louisa de Broglie (Paryż), który stosował teorię względności w sposób osobliwy, aby powiązać falę stojącą z elektronem poruszającym się w stanie stacjonarnym. Schrödinger opracował równanie dla tej fali (następnie „fala ψ ” lub „funkcja falowa”), które zależało od energii elektronu. Kalkulatory wkrótce odkryły, że mogą uzyskać liczby w macierzach Heisenberga, używając fal Schrödingera. Prawie równoczesne odkrycia mechaniki falowej i macierzowej podążały dwiema różnymi ścieżkami z tej samej demonstracji: że promień rentgenowski może uderzyć w elektron tak samo, jak jedna kula bilardowa uderza w inną. Ten „efekt Comptona” (1922, na cześć Arthura Holly Comptona, St. Louis) zmusił fizyków do poważnego potraktowania koncepcji cząstki światła („fotonu”), którą Einstein zasugerował jako „hipotezę heurystyczną” w 1905 r. w celu wyjaśnienia efektu fotoelektrycznego. Sprzężenie fali z cząstką przez De Broglie’a akceptowało foton, podczas gdy Bohr, który odrzucił kwanty światła, próbował uniknąć teorii Comptona o kuli bilardowej. Jego nieudana próba pomogła Heisenbergowi wynaleźć mechanikę kwantową. Po eksperymentach rozstrzygniętych na korzyść Comptona, Bohr nadał równą wagę własnościom falowym i cząstkowym. Bohr dodał zastrzeżenie, że żaden możliwy do zrealizowania eksperyment nie może wymagać opisu wykorzystującego te sprzeczne cechy jednocześnie („komplementarność”, 1927). Schrödinger próbował zinterpretować falę ψ realistycznie jako miarę gęstości elektrycznej w każdym punkcie atomu. Nie udało mu się. Fizycy niechętnie zaakceptowali wyjaśnienie Borna, że ψ^2 w dowolnym miejscu daje prawdopodobieństwo znalezienia tam całego elektronu. Heisenberg wyciągnął następnie z formalizmu matematycznego wniosek, że mikrofizyk nigdy nie może zrobić nic lepszego niż obliczyć prawdopodobieństwo, że nawet demiurg nie mógłby określić dokładnego położenia i odpowiadającego mu pędu elektronu („zasada nieoznaczoności”, 1927). Dla Einsteina i innych starszych fizyków wniosek ten był odstępstwem od obowiązku. Kilkakrotnie Einstein konstruował eksperymenty myślowe, które gromadziły więcej informacji, niż pozwalała mechanika kwantowa, a za każdym razem Bohr unikał, znajdując niespójność lub pominięcie w przykładach Einsteina. Porażka jego ostatniej próby, podjętej z dwoma kolegami w 1935 r., przekonała niemal wszystkich fizyków, którzy nadal interesowali się argumentem, że mechanika kwantowa daje kompletną, choć probabilistyczną fizykę atomową i molekularną. Do 1935 roku mechanika kwantowa elektronów i promieniowania opierała się na teorii relatywistycznej wymyślonej przez Paula Diraca (Cambridge, 1928). Jej wyniki były tak zaskakujące i satysfakcjonujące, jak fale radiowe niespodziewanie generowane przez równania Maxwella. Narzucenie wymogu niezmienniczości relatywistycznej sprawiło, że funkcja falowa elektronu opisywała cząstki o czwartym stopniu swobody i dodatniej lub ujemnej energii. Dirac zinterpretował dodatkowy stopień jako wewnętrzny (ale niemechaniczny) spin, racjonalizując w ten sposób liczby kwantowe Pauliego i koncepcję spinu elektronu zaproponowaną w celu ulepszenia

systematyki widmowej przez Samuela Goudsmita i George'a Uhlenbecka (Lejda) w 1925 roku. Rozwiązania o ujemnej energii wydawały się opisywać cząstkę o ładunku dodatnim. Jedna, która pasowała do opisu („pozyton”), szybko pojawiła się w kontekście, który wkrótce miał zostać opisany. Tymczasem kilku badaczy, w tym syn J. J. Thomsona, George Paget Thomson (Aberdeen), wykryło „falę de Broglie'a” elektronów. Późniejsze przyznanie Thomsonowi Nagrody Nobla za wykazanie, że elektron jest falowy, w dziwny sposób uzupełniło nagrodę, którą jego ojciec zdobył za wykazanie, że jest on cząstkowy. Relatywistyczna teoria Diraca zakładała, że foton o wysokiej energii może stworzyć parę elektron–pozyton, która w wyniku późniejszej wzajemnej anihilacji może stworzyć kolejny foton. Włączając ten demiurgiczny pomysł, teoretycy opracowali elektrodynamikę kwantową, opis rzeczywistych i wirtualnych elektronów i fotonów, który przewidywał wartości wielu mierzalnych parametrów z niezwykłą dokładnością, gdy tylko opracowali zasady usuwania nieskończoności, które nękały ich obliczenia. Stało się to dopiero po II wojnie światowej. Skromny strumień wysokoenergetycznych cząstek alfa ze źródeł radioaktywnych nie uzyskał wystarczającej liczby trafień, aby skutecznie zbadać architekturę jądrową. Kilku fizyków zaproponowało zwiększenie strumienia poprzez przyspieszenie wiązek protonów do wielu setek keV (1000 elektronowoltów) uznanych za niezbędne do wbicia jednego z nich w lekkie jądro. Tutaj subtelności mechaniki kwantowej, przyniesione do laboratorium Rutherforda w Cambridge przez pomysłowego rosyjskiego fizyka i humorystę George'a Gamowa, przysły z pomocą strzelcom kulek. Gamow zauważył, że probabilistyczny rachunek ψ przewidywał, że proton może czasami wejść („tunelować”) do jądra z mniejszą energią, niż by potrzebował, gdyby zachowywał się jak kulka, a jądro jak ściana z cegieł. Porucznik Rutherforda, John Cockcroft, we współpracy z Ernestem Waltonem i głównym producentem urządzeń elektrycznych Metropolitan Vickers, wykorzystał tunelowanie, aby zredukować atomy litu do cząstek alfa za pomocą protonów o napięciu 300 kV. Do 1932 roku nauczyli swój aparat utrzymywać 700 keV i rozbić lit w dużych ilościach. Tymczasem Ernest Lawrence (Berkeley) opracował sposób dodawania energii małymi krokami do spiralnie naładowanej cząstki, tak aby cały potencjał przyspieszający nigdy nie musiał być utrzymywany w żadnej części aparatu. Kluczem do jego „cyklotronu” jest to, że przy prędkościach nierelatywistycznych częstotliwość, z jaką naładowana cząstka krąży, gdy jest ograniczona przez pole magnetyczne, nie zależy od jej energii. Lawrence i jego studenci umieścili dwie puste elektrody w kształcie litery D w przysadzistym cylindrze ze źródłem protonów w środku, wyczerpali przestrzeń, przyłożyli oscylujące pole elektryczne w poprzek szczeliny między „dees”, posmarowali lakiem do pieczętowania, podłożyli podkłady pod magnes i pod koniec 1932 roku mieli maleńką wiązkę o energii 1 MeV (milion eV). W tym samym roku James Chadwick (Cambridge) wykrył neutralną cząstkę jądrową Rutherforda („neutron”). Najprostsza kombinacja ją zawierająca, deuteron, jądro ciężkiego wodoru („deuter”), została wyizolowana, ponownie w 1932 r., roku pełnym cudów dla fizyków, jeśli nie dla nikogo innego w samym środku Wielkiego Kryzysu. Wraz ze wzrostem dostępnych energii, rosła również liczba pierwiastków przekształcanych lub rozpadających się. Model marmurowy przetrwał jednak do 1934 r., kiedy córka Marii Curie, Irène i jej mąż Frédéric Joliot (Paryż) zaobserwowali opóźnienie między absorpcją a przyjęciem. Wkrótce fizycy jądrowi i chemicy wykonywali „czynności” w całym układzie okresowym, strzelając protonami, deuteronami, cząstkami alfa i neutronami do każdego pierwiastka, jaki mogli zdobyć. Do 1939 r. stale powiększający się cyklotron w Berkeley produkował ogromne prądy deuteronów o energii 16 MeV. Często pracował całą dobę, aby wytwarzać radioizotopy o pożądanych właściwościach jako wskaźniki (zwłaszcza węgiel-14) i środki terapeutyczne (fosfor-32). Cyklotron był przede wszystkim i ze swoją dużą liczbą pracowników, kosztami kapitałowymi i wydatkami operacyjnymi, symbolicznie amerykański. Na początku II wojny światowej istniało ich tylko osiem poza Stanami Zjednoczonymi. Trzeba było wezwać mężczyznę z Berkeley, aby rozpoczął kilka z nich. Podobnie jak analogia z marmurem zaślepiła fizyków na sztuczne działania, tak oczekiwanie, że produkty przekształconego pierwiastka będą znajdować się blisko niego w układzie okresowym, zaślepiło ich na rozszczępienie

jądra atomowego. Enrico Fermi i jego grupa (Rome) dostrzegli to i przegapili w trakcie napromieniowywania uranu neutronami. Lise Meitner i jej koledzy chemicy Otto Hahn i Fritz Strassmann (Berlin) przez lata upierali się przy identyfikowaniu produktów napromieniowania uranu jako „transuranowych”. Ostatecznie dowody chemiczne przekonały kolegów Meitner, że jądro uranu można rozdzielić na dwa pierwiastki o umiarkowanej masie atomowej. Meitner, wówczas emigrantka w laboratorium Siegbahna, i jej bratanek Otto Frisch, wówczas pracujący w instytucie Bohra, zaproponowali mechanizm rozszczepienia, który Bohr wyjaśnił i ogłosił światu w 1939 roku. Każdy, kto miał wiedzę, zdawał sobie sprawę, że neutrony uwalniane podczas rozszczepienia w dużej próbce uranu mogą wywołać reakcję łańcuchową. Po ekscytacji z 1920 roku, zainteresowanie stabilnym, prawie płaskim, zamkniętym wszechświatem Einsteina osłabło na dekadę. Jednak jego równania dopuszczały również rozszerzanie się, kurczenie i oscylowanie wszechświatów. Pierwszym, który traktował rozszerzanie jako prawdziwy stan rzeczy, był Georges Lemaître, belgijski ksiądz, który studiował w Cambridge i Harvardzie, gdzie dowiedział się o kapitalnym odkryciu Edwina Hubble'a (Caltech), że inne „wszechświaty wyspowe” (galaktyki) oddalają się od naszego z prędkościami proporcjonalnymi do ich odległości od nas. W 1931 roku Lemaître zaproponował, że ekspansja rozprzestrzeniająca galaktyki rozpoczęła się, gdy wszechświat zamknięty w pojedynczym atomie eksplodował. Zaraz po eksplozji wszystko było promieniowaniem i być może elektronami. Skąd więc wzięła się woda Thalesa? Pytanie o pochodzenie pierwiastków wciągnęło George'a Gamowa, jego węgierskiego kolegę Edwarda Tellera (Waszyngton, DC) i czołowego na świecie teoretyka jądrowego Hansa Bethego (Cornella), wszystkich imigrantów do USA, w rozszerzający się wszechświat. Gamow przypuszczał, że wnętrza gwiazd dostarczały pieców, które gotowały protony na pierwiastki, a jego mechanizm tunelowania utrzymywał wymaganą temperaturę na niskim poziomie. W 1938 roku Bethe'owi udało się zdefiniować syntezy jądrowe, które zasilają gwiazdy, co nie wymagało ani nie osiągało temperatury, w której można było tworzyć jądra cięższe od jąder helu. Gamow przeniósł więc swoje piece (jak się okazało, niepotrzebnie) do cieplejszego reżimu wczesnego rozszerzającego się wszechświata. W 1942 r., na ostatnim spotkaniu w Waszyngtonie zorganizowanym przez Gamowa i Tellera, które pomogło ustalić program amerykańskiej fizyki teoretycznej w latach 30. XX wieku, uczestnicy zgodzili się, że „pierwiastki powstały w procesie o charakterze wybuchowym, który miał miejsce „na początku czasu” i doprowadził do obecnej ekspansji wszechświata”. Tak więc fizyka laboratoryjna, w której można było zmierzyć energie wymagane do dodania nukleonu do jądra, nawiązała kontakt ze spekulacjami na temat stanu wszechświata w całkowicie niedostępnych czasach i miejscach. W tym momencie Gamow przerwał spekulacje na temat wielkiej eksplozji u początku czasu, aby pomóc marynarce wojennej USA ulepszyć jej artylerię tu i teraz.

Gorąco i zimno

Odkrycie radioaktywności tchnęło nowe życie w temat elektryczności atmosferycznej stworzonej przez teorię piorunów Franklina. Substancje radioaktywne w pobliżu powierzchni Ziemi emitują promieniowanie, które jonizuje dolną atmosferę i zapobiega ochładzaniu się Ziemi w tempie obliczonym przez Lorda Kelvina. Zgodnie z oczekiwaniami promieniowanie jonizujące malało wraz z wysokością nad powierzchnią Ziemi. W konsekwencji odkrycie, że na większych wysokościach jonizacja wzrasta, zaskoczyło Victora Hessa (Wiedeń, 1912) i innych odważnych fizyków, którzy mierzyli promieniowanie z balonów. Problem Arystotelesa pojawił się ponownie: czy przyczyna znajdowała się pod czy nad Księżycem? Hess uznał, że leży on poza Układem Słonecznym, ponieważ działał z równą siłą w dzień i w nocy. Po I wojnie światowej Millikan zajął się tym zagadnieniem, używając nadwyżek wojennych balonów sondażowych. Jego zdaniem nadchodzące „promienie kosmiczne” to fotony wytworzone w przestrzeni podczas połączenia czterech protonów. Pomiary absorpcji i obliczenia uwolnionej energii (poprzez $E = mc^2$) początkowo sprzyjały fantazji Millikana, że promienie kosmiczne były „krzykami narodzin” atomów. W 1929 r. Walther Bothe i Werner Kohlhörster (Berlin) odkryli, że

większość naładowanych promieni na poziomie morza może przeniknąć 10 cali złota, a zatem nie mogą być fotonami. Sama Ziemia dostarczyła instrumentu potrzebnego do podjęcia decyzji, czy promienie kosmiczne są naładowanymi cząstkami. Bruno Rossi (Florencja), Lemaître i Manuel Vallarta (MIT) — adaptując obliczenia Carla Størmera (Oslo) dotyczące ścieżek cząstek powodujących zorzę polarną — wykazali, że pole magnetyczne Ziemi będzie wyginać trajektorie nadchodzących naładowanych cząstek o wartość zależną od szerokości geograficznej. Międzynarodowy zespół kierowany przez Comptona i wykorzystujący standaryzowane, ciężkie elektroskopy dostarczone przez Wydział Magnetyzmu Ziemskiego Carnegie Institution potwierdził, że promienie były zgodne z obliczeniami. Badanie szerokości geograficznej zliczyło wszystkie promienie kosmiczne, które przeniknęły przez jego instrumenty. Bothe i Kohlhörster prześledzili ścieżkę jednego i tego samego promienia przez ich złotą cegłę. Rozważali tylko zdarzenia, w których liczniki Geigera umieszczone nad i pod cegłą wystrzeliły razem. Ich metoda pobudziła Rossiego i jego kolegę ze studiów we Florencji, Giuseppe Occhialiniego, do lepszego działania. Wykorzystując lampy próżniowe dostępne dla radia, wykrywali elektronicznie koincydencje liczników. W ten sposób odkryli, że promień kosmiczny może przepłynąć przez metr lub więcej ołowiu, co oznacza energie kilku GeV (1000 MeV). Elektroniczne liczniki, gdy były ustawione tak, aby uruchomić komorę mgłową, umożliwiały skuteczne autoportretowanie promienia kosmicznego. Komora ta, wynaleziona przed wojną przez C. T. R. Wilsona (Cambridge) i ulepszona po niej przez P. M. S. Blacketta (również Cambridge), rejestrowała ślady poprzez kondensację kropelek wody wokół jonów utworzonych przez przepływ naładowanych cząstek energetycznych. Intensywność jonizacji i krzywizna śladów w polu magnetycznym dostarczały informacji o ładunku, masie, pędzie i energii cząstek. Grupa Blacketta zbadała 400 000 śladów w 1924 r. i znalazła sześć pokazujących grę w kulki jądrowe Rutherforda. Jednak podłączając obwód koincydencji Rossiego do komory mgłowej, szybko uzyskali wiele doskonałych zdjęć śladów dodatnich elektronów. Było to wkrótce po tym, jak Carl Anderson (Caltech) przypadkiem znalazł piękny przykład na jednym z 3000 naświetleń, które wykonał bez obwodu koincydencji. Pozyton pojawił się w 1932 r., roku neutronu, deuteronu, cyklotronu i Cockcrofta-Waltona. Pięć lat później Anderson i inni z Caltech, Harvardu i Tokio znaleźli ślady tego, co nazwali „mezotronami” lub „mezonami” — cząstek o masie około 200 elektronów. Masa zgadzała się z masą hipotetycznego „Jukona”, który Hideki Yukawa, pierwszy ważny japoński teoretyk wykształcony w kraju, zaproponował w 1935 r. jako mediatora „silnej siły” między neutronami i protonami. Fizycy zaakceptowali już istnienie „słabej siły”, aby uwzględnić rozpad beta i nieważkie nienaładowane „neutrino”, aby zachować energię w tym procesie. Naturalnie zidentyfikowali mezotron Andersona z Jukonem. W 1943 roku Rossi, przesiedlony do USA, określił okres półtrwania mezotronu w spoczynku, mierząc opóźnienie między jego przybyciem na Ziemię a emisją elektronu, na który się rozpada. Wynik, dwie mikrosekundy, nie był wystarczająco długi, aby sprowadzić mezotrony w dół przez atmosferę w liczbie obserwowanej na powierzchni. Ponieważ jednak poruszają się z relatywistyczną prędkością, żyją wykrywalnie dłużej w ruchu niż w spoczynku, i w ten sposób dostarczyli pierwszego bezpośredniego potwierdzenia dylatacji czasu Einsteina. Fizycy zdobyli klucze do innego nowego królestwa w tym samym czasie, gdy odkryli promieniowanie kosmiczne. W 1911 roku Heike Kamerlingh Onnes (Lejda) i jego współpracownicy odkryli, że opór elektryczny czystych metali gwałtownie spada do zera w temperaturach ciekłego helu. To zjawisko, któremu nadał nazwę „nadprzewodnictwo”, nie było jego największym zaskoczeniem w królestwie zimna. Ciekły hel miał anomalnie niską gęstość i nie zamarzał. Wskazówki te stymulowały badania po wojnie, które przebiegały według schematu podobnego do fizyki jądrowej. Nowe laboratorium świata, rzucające wyzwanie staremu przywódcy, wynalazło nowy, kosztowny aparat, który potęgował efekty stokrotnie. Wkrótce wyszły na jaw dziwniejsze zjawiska. Teoretycy rywalizowali ze sobą, aby je wyjaśnić, stosując mechanikę kwantową do dziedzin założonych na dekadę przed I wojną światową. Miejscem nowego świata, które rzuciło wyzwanie staremu (w tym przypadku Lejdzie), było ponownie Berkeley. Odpowiednik Lawrence'a, William Francis Giaque, osiągnął temperatury w granicach stopnia zera absolutnego w 1933 r., stosując „adiabaticzne

rozmalesowanie". Ta technika chłodzi kryształ paramagnetyczny do temperatur ciekłego helu, w których niewielka energia cieplna, którą zatrzymuje, znajduje się w drganiach jego sieci i nieuporządkowanych spinach jego atomów. Giauque użył silnego pola magnetycznego, aby wyrównać spiny, a ciekły hel, aby odprowadzić ciepło w ten sposób wytworzone, jak w izotermicznej kompresji silnika parowego. Po zaizolowaniu próbki termicznie wyłączył pole, spiny odzyskały swój nieporządek kosztem drgań sieci, a temperatura spadła, jak w adiabatycznym rozprężaniu silnika, do pół stopnia absolutnego. Do 1938 r. dotarł do 0,004° Celsjusza od zera absolutnego. Eksperymentatorzy zdobyli w ten sposób narzędzie do badania nadprzewodnictwa i innych dziwnych zjawisk w obszarach znacznie poniżej punktu skraplania helu. Dziwne zjawiska, które obejmowały nagły, milionkrotny skok w przewodnictwie cieplnym i nagłe zanikanie lepkości w helu, dały początek koncepcji nadciekłości (1938). Skuteczne teorie nadprzewodnictwa i nadciekłości opierały się na kwantowej reformulacji starej teorii elektronów metali zsyntetyzowanej przez Sommerfelda i Bethego w 1933 roku. Opierając się na spostrzeżeniach studenta Heisenberga, Felixa Blocha (Lipsk, wówczas Stanford), traktowali oni niezwiązane elektrony w kryształach w niskich temperaturach jako wolne, z wyjątkiem zasady wykluczenia, która zmusza je do wypełniania najniższych dostępnych stanów kwantowych. Tylko te znajdujące się blisko szczytu tego morza elektronów mogą pobierać dodatkową energię w miarę wzrostu temperatury i swobodnie żeglować wzdłuż lub ponad nim. Nowy model zgadzał się ze starą teorią tam, gdzie działał, i wyjaśniał swoje niepowodzenia (jak w przypadku ciepła właściwego), gdzie nie działał. Te wyniki, uzyskane przez europejskich teoretyków, dotyczyły idealnych ciał stałych. Począwszy od 1933 roku Eugene Wigner i jego student Frederick Seitz (Princeton) rozpoczęli trudne obliczenia tego, co Pauli nazwał „brudnymi efektami” (spowodowanymi przez zanieczyszczenia), a inne amerykańskie grupy, zwłaszcza Johna Slatera w MIT, wkrótce się w to włączyły. Model swobodnych elektronów nie uwzględniał nadprzewodnictwa. Stało się to jeszcze bardziej żenujące, gdy w latach 30. XX wieku narosło o nim więcej informacji. Były dwa główne ośrodki badawcze: Oksford, gdzie Franz Simon, Fritz London i inni niemiecko-żydowski fizycy-uchodźcy, intelektualnie potomkowie Nernsta, a w przypadku Simona, Giauque, założyli prężnie działające laboratorium niskich temperatur z pomocą brytyjskiego przemysłu; i Moskwa, gdzie Peter Kapitza, były współpracownik Rutherforda, i teoretyk Lev Landau pracowali w instytucie przekazanym Kapitza jako pocieszenie za niechętnie rozstanie z Cambridge. Chociaż niektórzy z tych ludzi dostrzegli naturę praktycznej teorii nadprzewodnictwa, pozwolili Amerykanom ją wymyślić.

Amerykanizacja

Podczas II wojny światowej nauki fizyczne i inżynieria stworzyły radar, który doprowadził do powstania technologii mikrofalowych i lasera; bomby atomowe, które przyniosły energię jądrową; rakietę V-2, która zapoczątkowała przemysł lotniczy i kosmiczny; oraz „bombę”, niezbędne urządzenie do łamania kodów Enigmy, które wraz z analizatorami elektronicznymi skonstruowanymi do obliczania trajektorii balistycznych zapoczątkowało rozwój komputera elektronicznego. To inwazyjne urządzenie pojawiło się pod koniec lat 40. XX wieku w materializacji koncepcji Alana Turinga „maszyny uniwersalnej”, która odnosiła się do komputera tak, jak teoria Carnota odnosiła się do silnika parowego. ENIAC, pierwszy powojenny komputer elektroniczny, był bogaty w lampy próżniowe (około 17 468), ubogi w pamięć i programowalny tylko poprzez zmianę okablowania. Opracowany na Uniwersytecie Pensylwanii w ramach kontraktu wojskowego na obliczanie tabel ogniowych, wkrótce przeszedł na pracę nad bombą wodorową. Jego następcą, MANIAC, zbudowany na architekturze stworzonej głównie przez Johna von Neumanna (Princeton), zawierał własne instrukcje i mógł być przeprogramowany bez ponownego okablowania. Architektura von Neumanna przetrwała rewolucyjne postępy, które stały się możliwe dzięki tranzystorom, mikroprocesorom i pamięciom gigabajtowym. Jako jedyna główna strona konfliktu, która wyszła z wojny bogata i stosunkowo nietknięta, USA były najlepiej przygotowane do wykorzystania komputera i innych wynalazków. Aby zwiększyć przewagę w wykorzystywaniu

alianckich wynalazków wojennych, USA wysłały zbieraczy za swoje nacierające armie, aby przechwycić informacje o wydarzeniach w Niemczech. Podczas transferu rakiet i techników Wernera von Brauna do Alabamy („Operacja Paperclip”) USA przejęły ludzi, a także sprzęt, nie pytając gorliwie o ich stopień nazizmu. Francuzi, Brytyjczycy i Rosjanie również wzięli, co mogli. Amerykanizacja oznaczała nie tylko nacisk na duże maszyny i duże współprace oraz pospieszną konkurencję podsycaną przez ambicje i federalne agencje finansujące, ale także zaniedbanie spraw, które pokolenie Bohra i Einsteina uważało za ważne. Podobnie jak zwolennicy Newtona w XVIII wieku porzucili jego skrupuły dotyczące sił odległości i zignorowali jego zasady filozofowania, tak powojenni Amerykanie nie zawracali sobie głowy zagadkami fizyki kwantowej ani ogólnie wysoką kulturą przedwojennych Europejczyków. Nieskomplikowana niewiedza Lawrence'a była bliższa normie niż udręczona kultura Roberta Oppenheimera. Amerykanizacja fizyki teoretycznej zadebiutowała po wojnie na konferencji zorganizowanej w czerwcu 1947 r. na Shelter Island, aby odizolować uczestników od wymagań, jakie społeczeństwo stawiało „genialnym młodym” fizykom — jednemu typowi, jakiego znało, oprócz Einsteina. Planiści skonsultowali się z Paulim, wówczas w Princeton, i zignorowali jego sugestię, aby ponownie zwołać twórców mechaniki kwantowej. Wybrali małe spotkanie specjalistyczne z udziałem przyszłych Amerykanów, rodzimych teoretyków ze szkoły Oppenheimera w Berkeley i Caltech oraz innych młodych ludzi, których nauka została wyostrzona przez wojnę. Plan spotkania, opracowany przez Johna Wheelera (Princeton), czyta się jak program szybkiego ataku na problem wojenny. Genialne młode osoby miały zacząć od pytania, czy istnieje logiczna, spójna i kompleksowa teoria kwantowa; jeśli tak, to ją ująć; jeśli nie, to określić ograniczenia istniejącej teorii i zaproponować sposoby jej rozszerzenia. Dwie trzecie uczestników było Amerykanami z urodzenia, a większość pozostałych to emigranci z lat 30. XX wieku. Były współpracownik Bohra, Kramers (Lejda), na próżno nalegał na rozważenie staroświeckiego poglądu Kopenhagi, że problemów elektrodynamiki kwantowej („QED”) nie da się przewyciężyć bez lepszej klasycznej teorii elektronów, do której można by zastosować zasadę korespondencji. Intelktualnym liderem spotkania był Oppenheimer. Działając tak, jak robił to, gdy był dyrektorem Los Alamos, przeszedł prosto do bieżących problemów, takich jak demotywuujące nieskończoności elektrodynamiki kwantowej i zagadkowy mezotron, który żył zbyt długo, by być Jukonem. Robert Marshak (Rochester) wysunął hojną sugestję, wkrótce potwierdzoną, że Jukon nie był jedynym mezonem na świecie. Jeśli chodzi o nieskończoności, pragmatyczna „renormalizacja” elektrodynamiki kwantowej przez Richarda Feynmana i Juliana Schwingera (oraz niezależnie przez kolegę z klasy Yukawy, Sin-Itiro Tomanago) zapisała zjawiska do tyłu miejsc po przecinku, ile ktokolwiek mógł zmierzyć. Druga konferencja, która odbyła się w 1948 r. z większością tych samych uczestników, ale z Bohrem na miejscu Kramersa, zainspirowała pouczające starcie nowego ze starym. Feynman (Cornell) naszkicował swoją wersję elektrodynamiki kwantowej za pomocą diagramów, które wkrótce stały się niezbędne. Bohr ich nie lubił: naruszały zasadę nieoznaczoności, przypisując cząsteczkom określone ścieżki i niezrozumiale przedstawiały pozytony jako elektrony poruszające się wstecz w czasie. Nieważne. Feynman i Schwinger (Harvard) byli nowymi teoretykami światowej klasy. Stany Zjednoczone nauczyły się produkować nie tylko teoretyków typu żydowsko-kosmopolitycznego-ekstrawertycznego, takich jak Oppenheimer, Feynman i Schwinger, ale także introwertycznych, skromnych, gojowskich. John Bardeen nie zaczynał ani jako fizyk, ani jako Nowojorczyk, ale jako inżynier naftowy na Środkowym Zachodzie. Młodości z ropy, zapisał się na studia podyplomowe w Princeton i pracował nad ciałami stałymi pod okiem Wignera. Zaczął jako fizyk w Bell Labs, gdzie pod koniec wojny dołączył do małej grupy pod przewodnictwem Williama Shockleya (ucznia Slatersa z MIT) poświęconej stworzeniu wzmacniacza przy użyciu półprzewodników krzemu i germanu, znanych z ich zastosowania w detektorach radarowych. Mistrzostwo Bardeena w kwantowej teorii ciał stałych wraz z eksperymentalną pomysłowością Waltera Brattaina i wsparciem Shockleya zaowocowało w 1947 r. wynalezieniem tranzystora i rewolucją w elektronice. Podczas gdy Bardeen przebywał w Sztokholmie w 1956 roku, aby odebrać Nagrodę Nobla przyznaną jemu, Brattainowi i

Shockleyowi, jego koledzy teoretycy Robert Schrieffer i Leon Cooper (wszyscy wówczas na Uniwersytecie Illinois) kontynuowali pracę nad jego ideą, że oddziaływania między drganiami sieci krystalicznej a elektronami muskającymi powierzchnię morza elektronów Sommerfelda dostarczały mechanizmu nadprzewodnictwa. Bardeen wrócił do Sztokholmu, jedyny dwukrotny laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki.

Nowy biznes

W 1944 roku, opracowując plany na okres powojenny, Lawrence obliczył, że jego laboratorium będzie wymagało około 85 000 dolarów rocznie i darowizn w naturze od Manhattan Engineer District, aby dobrze prosperować w czasie pokoju. Rok później, wiedząc, że projekt bomby odniesie sukces, podniósł swoje oczekiwania stokrotnie. W ostatnich dniach, zanim Dystrykt stał się cywilną Komisją Energii Atomowej (AEC, 1947), przekazał Lawrence'owi elektronikę wartą setki kilo dolarów do wbudowania w trzy główne akceleratory, którymi dysponowało jego laboratorium. Jeden z nich, 184-calowy synchrocyclotron, został uruchomiony tuż przed AEC, z domniemaną zdolnością wytwarzania mezonów. Próby uchwycenia ich na emulsjach fotograficznych nie powiodły się, nawet po tym, jak Cecil Powell (Bristol) i jego grupa zajmująca się promieniami kosmicznymi potwierdzili przypuszczenie Marshaka, fotografując narodziny Jukona (patrz rysunek 25). Jego rodzic, „pi-mezon” lub „pion”, jest mediatorem silnego oddziaływania. Giulio Lattes (Brazylia), który pracował z Powellem, przyjechał do Berkeley i pokazał cyklotronowcom, jak fotografować piony. Podobnie jak w przypadku indukowanej radioaktywności i rozszczepienia jądrowego, akcelerator Berkeley stworzył środki, ale nie ludzi, aby dokonać odkrycia zrealizowanego w Europie przy użyciu znacznie prostszego sprzętu. Ale przyszłość należała do wielkiej maszyny. AEC, niepewne, czy lepsze poznanie pionu nie będzie konieczne dla następnej generacji bomb jądrowych lub energii, zatwierdziło maszynę w zakresie 2–3 GeV do swojego laboratorium w Brookhaven na Long Island. Berkeley wyprzedziło ją wersją 6 GeV, która miała produkować antyprotony. Ogromne energie, które były zaangażowane, wymagały nowego projektu, w którym protony mogłyby być przyspieszane do prędkości relatywistycznych nie poprzez spiralne wychodzenie pod biegunami dużego magnesu, ale poprzez ograniczanie ich przez małe szybko działające magnesy w wąskiej rurze ułożonej w okręgu o średnicy ponad 36 metrów. Po ukończeniu w 1954 r. „Bevatron” był cudem inżynierii, który mógł przyspieszać protony przez cztery miliony obrotów (300 000 mil) w 1,85 sekundy do 6,2 GeV. W następnym roku grupa kierowana przez byłego studenta Fermiego Emilio Segrè (Berkeley) wykryła antyproton. Wykrycie było godne uwagi nie tylko ze względu na potwierdzenie ogólnej teorii antymaterii, ale także ze względu na ujawnienie poważnych trudności w przypisywaniu zasług za odkrycia w fizyce dużych maszyn. Fizycy-budowniczy Bevatronu z pewnością zasłużyli na uznanie. Projektant magnesów skupiających kwadrupol, których używała grupa Segrè, Oreste Piccione, włoski emigrant pracujący w Brookhaven, domagał się tego. Ale tylko Segrè i jego starszy współpracownik Owen Chamberlain otrzymali Nagrodę Nobla. Późniejszy pozew Piccione o udział został odrzucony przez sąd nie ze względu na merytorykę, ale dlatego, że zbyt długo zwlekał z jego wniesieniem. Setki fizyków, od studentów studiów podyplomowych po doświadczonych naukowców, może teraz pracować nad jednym „eksperymentem”. Poczucie bycia kolejnym trybikiem w wielkiej maszynie i pewność, że liderzy projektu otrzymają uznanie za jej wyniki, skłoniły wielu indywidualistów do podjęcia się innych rodzajów pracy. Niemniej jednak laboratoria akceleratorów mnożyły się. Podczas gdy Bevatron zajął się wytwarzaniem dziwnych cząstek, a jego pracownicy opracowali komorę pęcherzykową — detektor, który dorównywał głównej maszynie pod względem kosztów i złożoności oraz opierał się na kriogenice opracowanej dla bomby wodorowej — konkurenci najpierw krajowi, a następnie międzynarodowi zaczęli zagrażać wiodącej pozycji Berkeley w fizyce wysokich energii (HEP). Fermilab, założony w pobliżu Chicago w 1967 roku, objął prowadzenie. Berkeley zrekomensowało to, dywersyfikując się na projekty o bardziej bezpośredniej użyteczności publicznej i współpracując w pełni z innymi laboratoriami. W ten sposób skopiowało Europejczyków,

którzy, nie mogąc po wojnie dorównać inwestycjom USA w HEP, połączyli się, aby utworzyć Centre Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN), który obecnie ma największy akcelerator na świecie. Jego obwód o długości 27 km przecina francusko-szwajcarską granicę w pobliżu Genewy. Chociaż CERN jest pionierem w międzynarodowej współpracy naukowej, jest rogiem obfitości cząstek elementarnych. W 2012 r., miał zaszczyt wykrycia ciężkiej cząstki postulowanej przez Petera Higgsa (Edynburg) w latach 60. XX wieku w celu wyjaśnienia masy innych cząstek. W międzyczasie fizycy zredukowali nukleony i inne ciężkie cząstki do kombinacji „kwarków” tak mocno trzymanyh razem przez „gluony”, że eksperyment nigdy nie będzie w stanie ich rozdzielić. Zgodnie z tym standardowym modelem, którego żartobliwa amerykańska terminologia przyjemnie kłóci się z klasycznym numizmatem Whewella, siły jądrowe, słabe i elektromagnetyczne były takie same w bardzo wczesnym okresie istnienia wszechświata. Bezpośrednio po II wojnie światowej angielscy naukowcy, którzy pracowali nad radarem, skopiowali Galileusza i skierowali swój nadwyzkowy sprzęt wojenny w stronę nieba. Pierwsze ważne grupy powstały w Cambridge (J. A. Ratcliffe, Martin Ryle) i Manchester–Jodrell Bank (Bernard Lovell). Mapowali źródła radiowe w Układzie Słonecznym i zidentyfikowali wiele w innych galaktykach. W jednym ze źródeł Maarten Schmidt (Caltech) znalazł dowody na przesunięcie ku czerwieni, wskazujące na dużą odległość, co przy obserwowanej jasności wskazywało na wpływ energii kilkaset razy większej niż cała nasza galaktyka. Wiele takich „quasi-gwiazdowych obiektów” (kwazarów) pojawiło się później, podobnie jak „pulsary” (Jocelyn Bell i in., 1967), które emitują oszałamiające wybuchy energii w regularnych krótkich odstępach czasu. Te obiekty i inne dziwne gatunki gwiazd odkryte przez obserwacje rentgenowskie, podczerwone, radiowe i wizualne pomogły na nowo rozbudzić zainteresowanie kosmologią. Kiedy Stany Zjednoczone weszły w radioastronomię około 1950 roku, posiadały pierwszy duży teleskop zbudowany w celu wykrywania mikrofal centymetrowych. W tym regionie, w 1965 roku, dwóch fizyków z Bell Telephone Laboratories odkryło irytujące uniwersalne promieniowanie tła podczas badania źródeł szumu radiowego. Dzięki pomocy Roberta Dicke’a i innych naukowców z Princeton, którzy nieświadomie wskrzesili kosmologiczne idee Gamowa, odkrywcy Bella, Arno Penzias i Robert Wilson, zidentyfikowali wszechobecny szum jako promieniowanie pozostałe po pierwotnej eksplozji (lub „Wielkim Wybuchu”) wszechświata. Według Gamowa i jego studenta Ralpha Alpera promieniowanie poszło swoją drogą, odłączyło się od materii, wkrótce po Wybuchu i następnie ostygło, rozszerzając się wraz ze wszechświatem. Hałas, który niepokoił Bell Telephone, miał temperaturę niewiele odbiegającą od tej, której można się było spodziewać na podstawie tempa ekspansji i wzoru Plancka. Społeczność kosmologów przeżywała wówczas spór między zwolennikami Big Bang (Gamowem i grupą z Princeton) a ludźmi ze stanu stacjonarnego, którzy zakładali, że spontaniczne tworzenie się atomów wodoru rekompensuje rozcieńczenie wywołane ekspansją (Fred Hoyle, Hermann Bondi i Thomas Gold, wszyscy z Cambridge). Promieniowanie tła rozstrzygnęło tę kwestię. Ekspertyza radarowa dała początek odkryciu o większym znaczeniu dla większości ludzi niż szum kosmiczny. W 1954 roku Charles Townes, który pracował w Bell Labs od 1939 do 1947 roku nad radarem centymetrowym, połączył nadwyżki wojenne ze starą ideą Einsteina dotyczącą „emisji wymuszonej”, procesu kwantowego, w którym światło wpadające kusi atom w stanie wzbudzonym do promieniowania. Powstałe w ten sposób urządzenie, maser, o którym dwaj laureaci Nagrody Nobla na uniwersytecie (Columbia), do którego Townes przeniósł się z Bell Labs, powiedzieli mu, że nie będzie działać, działało na cząsteczkach. Townes i inni wkrótce znaleźli sposoby na promowanie masera do częstotliwości optycznych. Zastosowania nowego urządzenia, lasera, w fizyce i życiu codziennym są liczne: holografia, koncerty rockowe, chirurgia, sztuka świetlna, odtwarzacze CD, czytniki kodów kreskowych itd. Podręcznik technologii laserowej opublikowany pięćdziesiąt lat po wynalezieniu masera przez Townesa wymagał 2665 stron, aby opisać je wszystkie. Sterowanie pociskami raketowymi, raketami, sondami kosmicznymi i okrętami podwodnymi z napędem atomowym, testowanie materiałów wybuchowych nad i pod ziemią oraz pod wodą, monitorowanie traktatów o zakazie prób oraz poszukiwanie uranu i innych materiałów strategicznych

wymagało dokładnych informacji o Ziemi, oceanie i atmosferze. Odpowiednie specjalności — sejsmologia, jonosfera, meteorologia i oceanografia — otrzymały niewielkie finansowanie lub prestiż między wojnami w porównaniu z fizyką jądrową. Po II wojnie światowej rząd USA rzucił w nie pieniądze i entuzjastycznie przyłączył się do finansowania wartego wiele miliardów dolarów Międzynarodowego Roku Geofizycznego poświęconego ogólnościowemu gromadzeniu stosownych danych. W tym samym czasie, w 1957 r., nauki o Ziemi otrzymały przyjemny wstrząs dzięki wystrzeleniu Sputnika. Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA), powołana w celu zamknięcia „luki kosmicznej” i wysłania człowieka na Księżyc, musiała wiedzieć, co jej rakiety, satelity i statki kosmiczne napotkają w drodze, na orbicie i po przybyciu. Fragmenty skał księżycowych, eksponowane w USA, promowały naukowców zajmujących się Ziemią, tak jak grzyb atomowy promował fizyków jądrowych. Loty meteorów, wiatr słoneczny i magnetosfera Ziemi stały się tak przewidywalne jak pływy i nawet pogoda, którą obecnie meteorologowie zazwyczaj prognozują dokładniej niż astrologowie. Ta poprawa była kolejną korzyścią z inwestycji wojskowych. Przed II wojną światową wielu meteorologów oceniało koncepcję frontów jako „ryzykowną”, a perspektywę dynamicznej teorii pogody jako „nieobiecującą”. Po wojnie Jule Charney (Princeton, MIT) i von Neumann dostosowali modele geostroficzne (wiatry wiejące wzdłuż izobar) do obliczeń za pomocą komputerów elektronicznych. Modele uwzględniające niestabilności barokliny (niedopasowania między gradientami temperatury i ciśnienia) opracowano następnie wraz z możliwościami komputerowymi i zbieraniem danych za pomocą radaru i satelity. Te postępy koncepcyjne i obliczeniowe pomogły zidentyfikować antropogeniczne wkłady w zmianę klimatu. Pobudzenie zainteresowania naukami o Ziemi przez inwestycje rządowe po II wojnie światowej doprowadziło do fundamentalnego odkrycia. Oceanografowie wykryli, że osady dna morskiego i wysokie grzbiety leżące pośrodku wielkich oceanów były stosunkowo młode, a podnóża ogromnych łańcuchów górskich śródoceanicznych cieszyły się zaskakująco łagodną temperaturą. Dalsze badania ujawniły, że reżim umiarkowany powstał z roztopionych skał bulgoczących z pęknięć w dnie oceanu. W 1960 roku Henry Hess (Princeton) przypuszczał, że ciepło i młodość osadów wskazywały, że stopiona magma podnosiła się z wnętrza Ziemi na tych grzbietach i rozprzestrzeniała dno morskie. Nie mogło to trwać zbyt długo, chyba że rozprzestrzeniające się dno gdzieś zniknęło. Oczywistym miejscem takich brutalnych wydarzeń są linie uskoku pokazujące aktywność wulkaniczną. Twórcy tej teorii mieli na myśli hipotezę wysuniętą w 1912 r. przez Alfreda Wegenera (Marburg), który na podstawie rozmieszczenia gatunków, kształtu kontynentów i obecności nadmorskich pasm górskich argumentował, że cała masa lądowa Ziemi kiedyś pasowała do siebie. „Pangea” następnie się rozpadła, a kontynenty dryfowały tam, gdzie je znajdujemy. We współczesnej wersji teorii Wegenera to nie kontynenty, ale „płyty”, na których one i oceany się poruszają, migrują. Ta teoria, „tektonika płyt”, otrzymała terminowe wsparcie od całkowicie odmiennej linii badań nad resztkowym magnetyzmem skał. Geolodzy badający meandry biegunów magnetycznych Ziemi zapisane w zwykłych skałach doszli do zdumiewającego wniosku, że pole Ziemi od czasu do czasu się odwracało, biegun południowy przesunął się na północ, a północ na południe. Ostatnie z tych odwróceń miało miejsce mniej niż milion lat temu. W 1963 roku Fred Vine i Drummond Matthews (Cambridge) oraz Lawrence Morley (Canadian Geological Survey) zasugerowali, że dno morskie zarejestrowało odwrócenia magnetyczne w pasach równoległych do otworów, z których wyłania się stopiona skała. I to właśnie odkrył oceanograficzny statek badawczy *Eltanin*, obsługiwany przez Lamont Geophysical Laboratory z Columbia. Podróże kontynentów, ujawnione za pomocą czułych magnetometrów, spektrometrów masowych, radioaktywnego datowania argonpotasem i innych przyrządów pochodzących z technologii wojskowej, odbywają się w szybkim tempie 4,5 cm rocznie. Zasoby niektórych międzynarodowych placówek — takich jak CERN i Europejska Agencja Kosmiczna, znanych krajowych placówek, takich jak rosyjski program kosmiczny, oraz niektórych przemysłowych laboratoriów badawczych — od dawna kwestionują amerykańską supremację w fizyce. Niedawno Japonia, Chiny i Indie dodały swoją znaczącą wagę do konkurencji.

Niemniej jednak Stany Zjednoczone nadal dominują w badaniach. Nie jest to spowodowane jedynie ilością pieniędzy, które rząd federalny i stanowy, wojsko i przemysł wlały do uniwersytetów i laboratoriów krajowych. Dominacja amerykańska prawdopodobnie utrzyma się przez jakiś czas, nawet jeśli naciski międzynarodowe będą ją stopniowo zmniejszać. Amerykańskie uniwersytety badawcze kształcą zagranicznych studentów studiów podyplomowych i doktorantów, a także krajowych, i robią to sprawnie w przybliżeniu do języka angielskiego, który jest międzynarodowym językiem nauki.

Kwintesencja

Przez ponad dwadzieścia wieków dedukcja miejsca Boga i człowieka we wszechświecie była akceptowaną, a nawet oczekiwaną, działalnością fizyków. Być może ostatni znaczący wyraz tej korporacyjnej odpowiedzialności miał miejsce w Anglii około połowy XIX wieku w ośmiu tomach zamówionych przez Royal Society of London na mocy zapisu testamentowego ostatniego hrabiego Bridgewater. Tom demonstrujący za pomocą fizyki „moc, mądrość i dobroć Boga, objawioną w stworzeniu” był dziełem tego samego Williama Whewella, który wymyślił termin „fizyk”. Wielu indywidualnych fizyków od tamtej pory próbowało zjednoczyć tradycyjne wierzenia ze swoją nauką, na przykład Pascual Jordan, który znalazł miejsce na wolność woli w interpretacji mechaniki kwantowej Bohra. Bohr zastosował komplementarność w kierunku greckim, uzyskując wgląd w kondycję człowieka dzięki swojemu zrozumieniu fizyki. Według niego, tak jak fizycy nie mogą dać pełnego opisu swoich eksperymentów bez odwoływania się do formalnie sprzecznych pojęć, takich jak fala i cząstka, tak filozofowie muszą polegać na przeciwstawnych pojęciach, takich jak wolna wola i determinizm, aby uzyskać wyczerpujący opis świata. I tak jak żaden możliwy do zrealizowania układ eksperymentalny nie może wymagać, aby byt kwantowy zachowywał się jednocześnie jak fala i cząstka, tak nie możemy doświadczyć wolności i determinizmu razem. Wolność obowiązuje w perspektywie, determinizm w retrospekcji, religia wcale. Bohr zamierzał kiedyś napisać książkę przeciwko religii, aby wypełnić moralny obowiązek, jaki nałożyło na niego jego zrozumienie fizyki. Podobnie, stałe wyzwanie Einsteina dla „uspokajającej filozofii lub religii” Bohra odpowiadało na moralny imperatyw. Nie był to reakcyjny sprzeciw wobec nowości, ale obowiązek wobec nauki, aby próbować utrzymać ideał opisu czasoprzestrzeni. Jego Bóg, który nie gra w kości, reprezentował ten ideał: Einstein odrzucił koncepcję osobistego bóstwa i życia pozagrobowego tak stanowczo, jak Bohr. Współczesna ewolucja obrazu świata fizyków kontynuuje starożytny program lokalizowania istot ludzkich w bezkierunkowym wszechświecie. Dowiadujemy się, że eksplozja, która go stworzyła, musiała być dobrze zrównoważona, aby wytworzyć stan odpowiedni dla życia. Gdyby była zbyt silna, pierwotne składniki zostałyby rozproszone zbyt daleko, aby utworzyć gwiazdy i galaktyki; gdyby była zbyt słaba, wszechświat przetrwałby tylko sekundę lub dwie, zanim znów zapadłby się w nicość. Najwyraźniej początkowa moc, którą wykorzystano, oraz siła sił, które następnie działały, zapewniły czas potrzebny (około piętnastu miliardów lat) na rozwinięcie się inteligentnego życia, które obecnie wykorzystuje swoje własne istnienie jako kryterium w projektowaniu opisów kosmosu. Ta „hipoteza antropiczna”, tak nazwana przez Brandona Cartera (Cambridge) w 1970 r., rozbudziła wyobraźnię silnych umysłów spekulatywnych, pocieszyła wierzących, którzy widzieli rękę Boga w precyzyjnym dostrojeniu warunków początkowych i spodobała się ateistom, którzy interpretowali nasz wszechświat jako statystycznie nieprawdopodobny przypadek wszystkich możliwych wszechświatów pochodzących z wielkich wybuchów. Inny wniosek, sugerujący raczej Nieudolnego Demiurga niż Inteligentnego Stwórcę, pochodzi ze zbioru badań znanego jako SETI (poszukiwanie inteligencji pozaziemskiej). Kongres USA przegłosował znaczną sumę na poszukiwanie dowodów na istnienie cywilizacji zdolnych do wytwarzania wiadomości elektromagnetycznych. Nie usłyszano ani jednego pisku, pomimo prawdopodobnego założenia, że wśród miliardów i miliardów możliwych siedlisk, niektóre musiały wyhodować inne istoty w ciągu ostatnich piętnastu miliardów lat zdolne do wynalezienia telewizji. Czy wszechświat nie jest izotropowy? Dlaczego więc cisza? Być może zaawansowane cywilizacje, które

moglibyśmy sobie wyobrazić, miały na tyle dalekowzroczności i umiejętności, aby odgrodzić nasz zakątek wszechświata. Albo, co jest bardziej prawdopodobne, cywilizacje elektromagnetyczne nie przetrwały na tyle długo, abyśmy mogli oglądać telewizję pozaziemską. Wszechświat, tak jak interpretuje go współczesna fizyka, jest zarówno przerażający, jak i inspirujący, niezależnie od tego, czy jesteśmy w nim sami, czy nie. Ziemia, z jej rozbijającymi się płytami, trzęsieniami ziemi, erupcjami, huraganami i tsunami, jest stale narażona na bombardowanie przez duże meteoryty zdolne do unicestwienia większości zaawansowanych form życia, jak to miało miejsce zaledwie sześćdziesiąt sześć milionów lat temu. Jeśli meteor lub kometa nas nie dosięgnie, z pewnością zostaniemy zniszczeni przez nasze własne Słońce. Niebiosa, które Arystoteles przedstawiał jako domenę wiecznego spokoju, okazują się być wypełnione samobójczymi gwiazdami, czarnymi dziurami, superenergetycznymi kwazarami, odstraszającymi temperaturami i śmiertelnościami promieniowaniem. Fizycy uważają, że wszechświat powstał w katastrofalnej eksplozji niewyobrażalnej przemocy z powodu przypadkowej fluktuacji niczego, która rozproszyła gwiazdy w miliardach i ciemną materię w jej zasłonie, przez nieskończenie rozszerzającą się lub pulsującą przestrzeń. Jakie, powtarzając kwintesencję pytania, jest miejsce ludzkości w tym niesamowitym świecie? Steven Weinberg, który zdobył Nagrodę Nobla za swój udział w rozwijaniu TOE, daje oczywistą dorosłą odpowiedź: „Im więcej wiemy o wszechświecie, tym bardziej oczywiste jest, że jest on bezcelowy i pozbawiony znaczenia”. Nie jest to jednak powód, aby nie próbować go zrozumieć. Weinberg ponownie: „Wysiłek zrozumienia wszechświata jest jedną z niewielu rzeczy, które wynoszą ludzkie życie ponad poziom farsy i nadają mu odrobinę wdzięku tragedii”. W tej opowieści celem gigantycznego, precyzyjnie dostrojonego eksperymentu jest danie życiu czasu i środowiska, aby mogło ewoluować w fizyków zdolnych do opracowywania teorii wszystkiego i wynajdywania elektromagnetycznych cywilizacji niezdolnych do przetrwania. Podczas oczekiwania na koniec fizycy zajmujący się współczesnymi wersjami greckich spekulacji mają ekscytujące problemy do rozwiązania. David Gross (Santa Barbara) sporządził ich listę. Oto pierwszy: „czy możemy faktycznie powiedzieć, co wydarzyło się na początku wszechświata?”. Raczej nie. Nie możemy nawet powiedzieć, co dzieje się teraz, ponieważ w dużej mierze nie znamy natury ciemnej materii, która rzekomo stanowi większość masy wszechświata. Być może ulepszony Wielki Zderzacz Hadronów CERN wytworzy gluina i neutralina, supercząstki, które supersymetria oferuje jako potencjalne składniki ciemnego wypełnienia nieba. Fizycy, którzy pamiętają Arystotelesa, nazywają to wypełnienie „kwintesencją”. Grawitacja wciąż wymyka się próbom połączenia jej z trzema innymi podstawowymi siłami. Niemniej jednak teoria może być na dobrej drodze. W 2016 r. amerykańskie Advanced LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) wykryło fale grawitacyjne, które ogólna teoria względności przewidywała jako wynik łączenia się czarnych dziur. Dlaczego (kontynuował Gross) podstawowe parametry obrazu świata fizyków mają wartości, które znajdujemy? Żaden Pitagoras nie powstał, aby wyjaśnić, dlaczego kwark szczytowy (którego istnienie ustalono w Fermilab po zbadaniu 500 bilionów zderzeń) waży 100 000 razy więcej niż kwark górny, a proton prawie 2000 razy więcej niż elektron, albo dlaczego natura była tak hojna, że zapewniła fizykom po trzy rodziny kwarków i leptonów (elektrony, lekkie mezony, neutrino). Dlaczego proton jest stabilny? Dlaczego wszechświat zawiera tak mało antymaterii? Czy stałe uniwersalne są naprawdę stałe? Czy koncepcja czasoprzestrzeni jest fundamentalna? Czy najnowszy trend — teoria strun — ma odpowiedzi? Być może. Ale, niestety, Gross pisze, „naprawdę nie rozumiemy, czym jest teoria strun”.

Czy jest czas, aby się uczyć?

Odbóstwienie i deantropomorfizacja natury wytworzyły fizykę, a fizyka obecnie rości sobie prawo do kontroli nad dużymi obszarami terytorium, którymi wcześniej rządziły kapryśne bóstwa i zorganizowana religia. Jeśli wynikający z tego obraz natury niepokoi ludzkość, może to odzwierciedlać zdrowe rozpoznanie, że świat nie został zaprojektowany dla nas. Odkrycia, że żadna siła nie stworzyła wszechświata dla naszej przyjemności, eksploatacji lub strachu i że nie ma boskiego planu w historii,

mogą być wyzwalające dla ludzi, którzy mają odwagę je zaakceptować. Fizyka nadała cywilizacji ponury, niepokojący i wymagający obraz świata, wiele płodnych i kilka przerażających wynalazków oraz świadomość odpowiedzialności za wynik ludzkiej historii. Jeśli ludzkość zaakceptuje odpowiedzialność i towarzyszącą jej utratę opatrznościowych bóstw i świętych dyktatów, gatunek ludzki może pokonać szanse przetrwania cywilizacji elektromagnetycznej, zachować Ziemię i, w pełni czasu, dojść do kilku zadowalających teorii wszystkiego.