

KRÓTKA HISTORIA ROZMÓW Z OBCYMI

W 1961 roku dziewięć najmądrzejszych osób w Stanach Zjednoczonych otrzymało pocztą dość nietypowy list. Składał się z długiego ciągu cyfr binarnych i krótkiej wiadomości: „Oto hipotetyczna wiadomość otrzymana z kosmosu. Zawiera 551 zer i jedynek. Co to znaczy?” Ani nadawca, ani jego odbiorcy nie wiedzieli o tym w tamtym czasie, ale ten list później posłużył jako prototyp pierwszej wiadomości dla pozaziemskiej inteligencji, kiedykolwiek wysłanej w kosmos. Jego początkowy test na Ziemi zakończył się jednak całkowitą porażką. Prototyp wiadomości międzygwiazdowej został stworzony przez astronoma planetarnego Franka Drake’a w następstwie konferencji, którą zorganizował w National Radio Astronomy Observatory w Green Bank w Zachodniej Wirginii, gdzie zakończył projekt Ozma, pierwsze mikrofalowe poszukiwanie pozaziemskiej inteligencji (SETI), zaledwie kilka miesięcy wcześniej. Trzydniowa konferencja była poświęcona ocenie wykonalności naukowego SETI i uczestniczyła w niej niewielka grupa czołowych fizyków, chemików, biologów i inżynierów, którzy wykazali zainteresowanie możliwością istnienia życia pozaziemskiego. Było to przełomowe wydarzenie, które ukształtowało trajektorię SETI na dziesięciolecia. Jednak w miesiącach następujących po historycznym spotkaniu Drake zdał sobie sprawę, że jeśli SETI odniesie sukces i wykryje sygnał z kosmosu, spowoduje to poważny problem, który został zaniedbany na konferencji: jak zaprojektować reakcję. Zaczął więc projektować eksperymentalną międzygwiazdową wiadomość, która składała się z ciągu 551 cyfr binarnych, które można było ułożyć tak, aby ich wartości bitowe tworzyły obrazy. Liczba 551 jest półpierwsza, cecha projektowa, którą Drake miał nadzieję, że nie umknie uwadze istoty pozaziemskiej - ani jego ludzkich obiektów testowych. Liczba służyła jako rodzaj instrukcji obsługi, jak ułożyć ciąg bitów tak, aby tworzył tablicę 19×29 bitów, która ujawniłaby kilka obrazów bitowych. Obrazy te przedstawiały takie rzeczy, jak liczby i postać ludzka, ale wiele z nich wymagało wiele pomysłowej interpretacji. Drake chciał wiedzieć, czy istnieje jakakolwiek szansa, że istota pozaziemska zrozumie znaczenie jego przesłania, więc wysłał ją każdemu z uczestników konferencji Green Bank jako test. Gdyby ktokolwiek mógł rozszyfrować kod, można by przypuszczać, że to dziewięciu naukowców poświęciło najwięcej uwagi wyzwaniom związanym z komunikacją międzygwiazdową. Drake otrzymał pojedynczą odpowiedź na swoją wiadomość. To było od Barneya Olivera, dyrektora Hewlett Packard Labs, który odpowiedział swoim własnym ciągiem binarnym półpierwszym. Kiedy Drake przetłumaczył odpowiedź Olivera na tablicę bitów, stwierdził, że zawiera ona „prostą i inspirującą” wiadomość: zdjęcie kieliszka martini z oliwką. Chociaż Oliver znał format wiadomości Drake’a, nie udało mu się zinterpretować nawet prostego schematu numeracji zakodowanego w wiadomości. Niezdolność uczestników Green Bank do rozszyfrowania międzygwiazdowego, eksperymentalnego przekazu Drake’a nie wynikała jednak z braku intelektu. Drake wysłał później wiadomość do kilku laureatów Nagrody Nobla, z których wszyscy albo w ogóle jej nie rozszyfrowali, albo doszli do błędnych interpretacji. Na przykład pewien fizyk zinterpretował ciąg binarny jako bliskie przybliżenie liczb kwantowych, które opisują układ elektronów w atomie żelaza. Dopiero gdy Drake przesłał wiadomość do magazynu dla amatorów łamaczy kodów, inżynier elektryk z Brooklynu napisał do niego i wykazał, że poprawnie odszyfrował większość wiadomości. Biorąc pod uwagę trudności, jakie napotkali niektórzy z najjaśniejszych Ziemiaków, próbując rozszyfrować bitmapę, wydaje się mało prawdopodobne, aby pozaziemska inteligencja poradziła sobie lepiej. Dziś nieudany eksperyment Drake’a w zakresie przesyłania wiadomości międzygwiazdowych pozostaje pouczającą lekcją dla współczesnych wysiłków METI (wysyłania wiadomości pozaziemskiej inteligencji), ponieważ zwraca uwagę na wiele ukrytych konwencji, które nawiedzają ludzkie poznanie i komunikację. Jeśli międzygwiazdowa wiadomość ma jakkolwiek nadzieję na zrozumienie przez pozaziemskiego odbiorcę, konwencje te muszą zostać zidentyfikowane i usunięte z wiadomości oraz zastąpione elementami, które można przypuszczać, że są powszechnie zrozumiałe dla każdego inteligentnego umysłu. Projekt uniwersalnego systemu komunikacyjnego drażnił niektóre z największych umysłów w historii, ale

dopiero stosunkowo niedawno dostępne stały się środki technologiczne umożliwiające wprowadzenie tych systemów w życie poprzez rozpowszechnianie ich w kosmosie.

PRZEDNOWOCZESNA METI

Przed Oświeceniem problem pozaziemskiej komunikacji był w większości formułowany w kategoriach kościelnych, kiedy filozofowie walczyli o odtworzenie doskonałego języka Boga. Niemniej jednak kilka prac renesansu bezpośrednio dotyczyło trudności w komunikowaniu się z życiem pozaziemskim. Być może najbardziej godnym uwagi przykładem jest *Man in the Moone*, powieść napisana przez biskupa angielskiego Frances Godwin. Książka, opublikowana pośmiertnie w 1638 r. pod pseudonimem Domingo Gonsales, opowiada o przygodach autora, który jest przenoszony na Księżyc przez gęsi i spotyka pozaziemską rasę, która mówi językiem muzycznym. Gonsales zauważa, że „trudność tego języka nie jest do pomyślenia, a jej powody są szczególnie dwa: po pierwsze, ponieważ nie ma on żadnego powiązania z żadnym innym, o czym kiedykolwiek słyszałem. Po drugie, ponieważ zawiera nie tyle słów i liter, ile melodii i nieokrzęsanych dźwięków, których żadne litery nie mogą wyrazić. Masz bowiem niewiele słów, ale są to tylko melodie, tak jakby wymawiali, wypowiadają swoje myśli melodiami bez słów”. Powieść Godwina jest niezwykła ze względu na przewidywanie trudności związanych z przesyłaniem wiadomości międzygwiazdnych na ponad trzysta lat przed wysłaniem pierwszej wiadomości do kosmosu, a także roli muzyki w ułatwianiu pozaziemskiej komunikacji. W XIX wieku garstka matematyków zaczęła opracowywać programy przeznaczone specjalnie do komunikowania się z istotami pozaziemskimi, o których sądzono, że istnieją na Księżycu lub Marsie. Pierwszy program naukowy do wysyłania wiadomości do istot pozaziemskich jest powszechnie przypisywany matematykowi Carlowi Friedrichowi Gaussowi, który podobno zasugerował stworzenie ogromnego wizualnego dowodu twierdzenia Pitagorasa w syberyjskiej tundrze. Ten wizualny dowód miał składać się z trójkąta prostokątnego otoczonego z każdej strony kwadratami i powstałby przez posadzenie rzędów drzew na granicach i wypełnienie wnętrza przestrzeni pszenicą. Pomimo minimalizmu projektu, propozycja Gaussa była bogata w informacje. Pokazałoby to, że nasz gatunek opanował rolnictwo na dużą skalę, a także podstawy matematyki, geometrii i logiki. Wydaje się, że pomysł Gaussa wywarł wpływ na austriackiego astronoma Josepha Johanna von Littrowa, który później opracował własny plan nawiązania kontaktu z mieszkańcami Księżyca, który obejmował kopanie ogromnych rowów na Saharze o różnych kształtach. Te rowy byłyby wypełnione wodą i pokryte naftą, która została podpalona, aby wysłać płonące wiadomości geometryczne do naszych kosmicznych sąsiadów. Dość powiedzieć, że ani dziwaczne schematy komunikacyjne Gaussa, ani von Littrowa nigdy nie zostały poddane próbie. Podobnie jak geometria nieeuklidesowa i wiele innych idei, do których Gauss próbował przypisać sobie zasługę, przypisanie tego międzyplanetarnego systemu komunikacji Gaussowi jest kwestionowane. Wiele dziewiętnastowiecznych źródeł, które wspominają o tym pomysle, różni się znacznie szczegółami i żadne z nich nie podaje, gdzie Gauss faktycznie pisał o tym planie. Jednak osobiste listy wskazują, że matematyk był zafascynowany ideą komunikowania się z kosmitami, którzy mieli żyć na Księżycu. Rzeczywiście, pragnienie Gaussa do komunikowania się z istotami pozaziemskimi było czynnikiem motywującym do zaprojektowania heliotropu, lustra, którego można by używać do komunikowania się na duże odległości za pomocą odbitego światła. W swoim projekcie Gauss planował użyć szeregu szesnastu luster „do nawiązania kontaktu z naszymi sąsiadami na Księżycu”, wyczyn, który ocenił, „byłby większym odkryciem niż Ameryka”. Księżycowa atmosfera wyklucza możliwość nawet życia drobnoustrojów, Gauss miał rację w swojej ocenie znaczenia pozaziemskich kontaktów. Pod koniec XIX wieku entuzjazm związany z perspektywą nawiązania kontaktu z istotami pozaziemskimi osiągnął szczyt gorączki w Europie, a Paryż ugruntowała swoją pozycję intelektualnego kapitału komunikacji międzyplanetarnej. W 1874 roku ekscentryczny francuski poeta i wynalazca Charles Cros zwrócił się do rządu francuskiego o fundusze na budowę gigantycznego lustra, które wykorzystywałoby skupione światło słoneczne do wypalania wiadomości na pustyniach

Marsa i Wenus komunikowania się z istotami pozaziemskimi, które według niego zamieszkiwały te planety. Alternatywnie, Cros zasugerował później, że lustra mogą być używane w połączeniu ze światłami elektrycznymi w celu ustanowienia międzyplanetarnej sieci komunikacyjnej. Wyobraził sobie system w stylu alfabetu Morse'a, który pozwoliłby Ziemiakom przekazywać podstawowe idee dotyczące liczb, aby ustanowić wspólny język z Marsjanami. Mniej więcej w tym samym czasie Nicolas Camille Flammarion, francuski astronom, który jest szczególnie zainteresowany możliwością życia pozaziemskiego, również zalecał używanie dużych lusterek do komunikowania się z życiem na innych planetach. Zamiast jednak przyjąć system telegraficzny Crosa, Flammarion wyobraził sobie system komunikacji międzyplanetarnej oparty na wielkoskalowych macierzach rekonfigurowalnych lamp elektrycznych. Według Flammariona możliwość zmiany kształtu światła była krytyczna, ponieważ pokazałaby Marsjanom, że sygnał jest sztuczny. Nic dziwnego, że te egzotyczne plany kontaktu z istotami pozaziemskimi były pożywką dla humorystów tamtej epoki, takich jak francuski dramaturg Tristan Bernard, który napisał historię o astronomach, którzy jako pierwsi otrzymali wiadomość z Marsa. Po otrzymaniu wiadomości astronomowie zasypali Saharę odpowiedzią, która brzmi: „Słucham?” tylko po to, by Marsjanie odpowiedzieli: „Nic”. Zirykowani Marsjanami za ich zwięzłą odpowiedź, astronomowie piszą na Saharze kolejną wiadomość, która brzmi: „Po co więc robicie znaki?” na co Marsjanie odpowiadają: „Nie rozmawiamy z wami, rozmawiamy z Saturnami”. Jednak pomimo satyrycznych szturczyńców, wielu uważało nawiązanie kontaktu z istotami pozaziemskimi za uprawniony pościg, choć zależało od patronatu bogatych ksenofilów. Na dowód siły tej wiary w życie pozaziemskie, bogata francuska socjalistka Anne Gouget ustanowiła nagrodę dla pierwszej osoby, która ustanowiła komunikację międzyplanetarną w 1891 roku. Konkurs został włączony do jej testamentu za namową jej syna Pierre'a Guzmána, który był głęboko zainteresowany pracą Flammariona nad istotami pozaziemskimi. Zgodnie z wolą Gogueta, Prix Guzman przyznałby 100 000 franków (dziś równowartość około 500 000 USD) za pierwszą demonstrację komunikacji międzyplanetarnej. Warto zauważyć, że nawiązanie kontaktu z Marsjanami nie kwalifikowało się do nagrody, ponieważ Gouget uważał istnienie istot pozaziemskich na Czerwonej Planecie za „wystarczająco dobrze znane”. Na dobre lub na złe, żadna z wczesnych francuskich propozycji komunikacji międzyplanetarnej nigdy nie została zrealizowana, ale są one niezwykle, ponieważ wyraźnie rozwiązują wiele problemów koncepcyjnych związanych z nowoczesną komunikacją pozaziemską, nawet jeśli wiele wczesnych planów koncentrowało się na praktycznych kwestiach międzyplanetarnych. systemy komunikacji, a nie treść wiadomości. Pierwsza próba stworzenia pełnego programu komunikacji międzyplanetarnej została opracowana w 1896 roku przez angielskiego znawcę Francisa Galtona, który przedstawił teorię konstruowania pozaziemskich wiadomości w oparciu o alfabet Morse'a. Zainspirowany szaleństwem na Marsa, które ogarnęło Europę pod koniec XIX wieku po włoskim astronomie Giovannim Schiaparellim, który ogłosił, że odkrył kanały na powierzchni planety, Galton zaczął bawić się ideą komunikacji z Marsjanami. W przeciwieństwie do wyzwania związanych z komunikowaniem się z niewidomymi lub głuchymi na Ziemi, zauważył Galton, komunikacja międzyplanetarna nie ma luksusu sprzężenia zwrotnego, co oznaczało, że „należy opracować sygnały, które są z natury rzeczy zrozumiałe”. Galton opisał swoje plany pozaziemskiej komunikacji w zabawnej opowieści o pierwszych ludziach, którzy otrzymali sygnały z Marsa, na którą składałyby się „drobne iskry światła pochodzące z pojedynczego, dobrze zdefiniowanego miejsca na powierzchni Marsa”. Marsjański wzorzec sygnalizacyjny wyobrażony przez Galtona składał się z błysków światła o trzech różnych czasach trwania, które można było łączyć w litery i słowa, podobnie jak kod Morse'a. W bajce Galtona wiadomość marsjańska zaczyna się od serii linii wskazujących początek wiadomości, zanim przejdziemy do pojęcia tożsamości i operatorów arytmetycznych. Następnie wiadomość opisuje „pięć głównych planet” poprzez ich średnią odległość od Słońca, okres rotacji i obwód. Dzięki tym podstawowym słowom składającym się z grup trzech lub więcej sygnałów można by użyć do „zapisu obrazu”, aby rozszerzyć system na bardziej skomplikowane koncepcje.

Chociaż opierał się w dużej mierze na konwencjach alfabetu Morse'a, który prawdopodobnie nie byłby znany pozaziemskej inteligencji, system Galton do komunikowania się z istotami pozaziemskimi jest niezwykle ze względu na to, że uznaje, że optymalna pozaziemska wiadomość byłaby autinterpretacją, a także systematyczne wyjaśnianie faktów astronomicznych poprzez „język” podstawowej arytmetyki i obrazów. Rzeczywiście, pomysł Galtona na przesyłanie obrazów otrzymał drugie życie dwie dekady później w propozycji, która wykorzystywała kropki i kreski alfabetu Morse'a jako podstawę międzyplanetarnego systemu przesyłania wiadomości obrazkowych. W tej propozycji grupy dwudziestu sygnałów (kropka lub myślnik) posłużyłyby jako linia obrazu, tworząc odpowiednik mapy bitowej. Pomysł wykorzystania luster w celu nawiązania kontaktu z Marsjanami trwał jeszcze na początku XX wieku, ale pionierskie prace Guglielmo Marconiego nad komunikacją radiową obiecywały skuteczniejszy sposób komunikowania się w kosmosie. W 1899 r. dziwna zbieżność wydarzeń położyła podwaliny pod nowoczesny METI, nawet jeśli nie był on wówczas rozpoznawany. W tym samym roku Marconi zdołał przesłać przez radio jeden list przez kanał La Manche, podczas gdy Nikola Tesla, niesławny z własnych wypraw do eksperymentalnych technologii radiowych, zapisał w swoich notatkach, że wykrył sygnał radiowy z Marsa w swoim laboratorium w Kolorado. „Zaobserwowałem działania elektryczne, które wydawały się niewytłumaczalne” - napisał Tesla w liście do Czerwonego Krzyża w Nowym Jorku. „Choć byli słabi i niepewni, dali mi głębokie przekonanie i uprzednią wiedzę, że niedługo wszyscy ludzie na tym globie, jako jeden, zwrócą swoje oczy na sklepienie powyżej, z uczuciem miłości i czci, zachwyceni radosną wiadomością: „Bracia! Mamy wiadomość z innego świata, nieznanego i odległego. Brzmi: jeden... dwa... trzy...””. Pomimo przekonania Tesli, że otrzymał pierwszą międzyplanetarną wiadomość - a warto zauważyć, że ta rzekoma marsjańska wiadomość zaczęła się od liczenia - prawdopodobnie słyszał emisje radiowe z burz na Jowiszu, co jest ważną lekcją dotyczącą trudności związanych z rozróżnianiem sztucznej i naturalnej emisji radiowej. Chociaż nic nie wskazuje na to, że Tesla kiedykolwiek otrzymał kolejną wiadomość z Marsa, pozostał zajęty ideą komunikacji międzyplanetarnej do końca swojej kariery. W 1909 roku odrzucił różne francuskie propozycje wykorzystania luster do ułatwienia pozaziemskich kontaktów na rzecz wykorzystania jednego ze swoich bezprzewodowych nadajników radiowych, którego używał do wysyłania „potężnego prądu na całym świecie”. Według Tesli te same zasady można wykorzystać, aby wysłać wiadomość do naszych planetarnych sąsiadów. Rzeczywiście, twierdził, że „już wywołał zakłócenia na Marsie nieporównywalnie silniejsze niż mogłyby być osiągnięte przez jakiegokolwiek reflektory światła” podczas swoich eksperymentów w latach 1899 i 1900. „Elektrotechnika jest obecnie tak zaawansowana, że nasza zdolność wysyłania sygnału do planety została wykazana eksperymentalnie” - napisał Tesla w artykule dla New York Times. „Pytanie brzmi, kiedy ludzkość będzie świadkiem tego wielkiego triumfu. Na to łatwo odpowiedzieć. W momencie, gdy otrzymamy absolutne dowody na to, że w jakimś innym świecie podejmuje się w tym celu inteligentny wysiłek, międzyplanetarną transmisję inteligencji można uznać za fakt dokonany. Prymitywne zrozumienie można szybko i bez trudności osiągnąć. Pełna wymiana pomysłów to większy problem, ale dający się rozwiązać”. Możliwość wykorzystania radia do bezprzewodowego kontaktu z mieszkańcami innych planet również pobudziła wyobraźnię Marconiego, który rzekomo przeprowadził w tym celu kilka eksperymentów. W 1919 roku New York Times poinformował, że Marconi był pionierem komunikacji międzygwiazdnej w 1909 roku, kiedy wysłał sygnał radiowy do wszechświata w nadziei, że ułatwi on kontakt z pozaziemską inteligencją w innych układach słonecznych („Radio to the Stars, Marconi's Hope”). Jeśli Marconi rzeczywiście podjął ten eksperyment z zamiarem skontaktowania się z istotami pozaziemskimi, jest mało prawdopodobne, aby jego nadajnik nadawał na wystarczająco wysokiej częstotliwości, aby przeciąć jonosferę, nie mówiąc już o wystarczająco dużej mocy, aby dotrzeć nawet do naszego najbliższego gwiazdowego sąsiada. Nadal, Marconi nie miał wątpliwości co do wykonalności komunikacji międzyplanetarnej. „Za 10 lat, prawdopodobnie znacznie krócej, świat będzie mógł wysłać wiadomości na Marsa bezpośrednio i bez wahania, bez żadnych problemów, zatrzymania czy słowa zagubionego w

kosmosie” - powiedział Marconi. „To, że możliwe jest przesyłanie sygnałów na Marsa, wiem z taką pewnością, jakbym miał broń wystarczająco dużą lub wystarczająco silny proch, aby tam strzelać; co więcej, w rzeczywistości broń może nie trafić w cel, podczas gdy moja bezprzewodowa wiadomość trafi w cały układ słoneczny bez celowania” („Ethergrams to Mars”, 1906). W latach dwudziestych XX wieku prasa amerykańska zaczęła rozpowszechniać informacje, że Marconi prawdopodobnie wykrył inteligentne sygnały radiowe z Marsa i aktywnie próbował nawiązać komunikację z planetą. Sam Marconi pozostawał niejasny co do tego, czy próbował komunikować się z Marsem i nie wydaje się, aby bezpośrednio odniósł się do żadnych eksperymentów radiowych z Czerwoną Planetą poza hipotetycznymi. Zapytany o teoretyczną możliwość komunikowania się z istotami pozaziemskimi, Marconi przyznał jednak, że jest to technicznie wykonalne, ale bariera językowa byłaby przeszkodą w komunikacji. „Widzisz, ktoś może przejrzeć takie wiadomości, jak 2 plus 2 równa się 4 i powtarzać je, aż nadejdzie odpowiedź oznaczająca „Tak”, co byłoby jednym słowem” - powiedział Marconi jednemu z ankieterów. „Matematyka musi być taka sama w całym fizycznym wszechświecie. Trzymając się matematyki przez wiele lat, można by mówić. Jest to z pewnością możliwe” („Inter-Stellar Wireless a Possibility to Marconi”, 1919). W wydarzeniu, które zapowiadało współczesne obawy związane z nadawaniem międzygwiazdowych wiadomości, na pierwszej stronie New York Timesa ukazał się komentarz wymieniający szaleństwa propozycji Marconiego dzień po opublikowaniu artykułu o jego rzekomych eksperymentach na Marsie. Anonimowy autor artykułu redakcyjnego przekonywał, że skoro „całkiem możliwe, że jest jeszcze więcej rzeczy na niebie i na ziemi, niż marzy się w naszej filozofii, i lepiej byłoby znaleźć je na nasz własny, powolny, nieudolny sposób, niż mieć wiedzę na które nie jesteśmy przygotowani, rzuca się na nas przez wyższe inteligencje”. W artykule dalej pisze, że nawiązanie komunikacji z pozaziemską inteligencją „wkrótce stałoby się irytujące”, gdyby ta inteligencja wzięła na siebie poprawianie błędów w ziemskiej nauce i matematyce. „Możemy się mylić co do tego, że dwa i dwa równa się cztery, ale zbyt nagłe stwierdzenie tego spowodowałoby wstrząs w całym procesie ludzkiego myślenia” - podsumowuje artykuł. „Nasza wiedza o wszechświecie jest biedna, ale nasza własna” („Let the Stars Alone”, 1919).

NOWOCZESNA METI

W 1932 roku Karl Jansky nieoczekiwanie zaobserwował promieniowanie pochodzące z Drogi Mlecznej w Bell Labs, inaugurując w ten sposób naukę radioastronomii. W tym momencie było coraz więcej dowodów na to, że ludzie są jedynym inteligentnym gatunkiem w Układzie Słonecznym, ale przełom Jansky'ego zmienił całą galaktykę w żyzne tereny łowieckie dla życia pozaziemskiego. W ciągu dziesięcioleci od odkrycia Jansky'ego radioastronomowie jeszcze nie wykryli nawet prostego światła ostrzegawczego wskazującego, że gdzie indziej w naszej galaktyce istnieje inteligentne życie, ale to nie powstrzymało naukowców przed aktywnym zajęciem się niepokojącym problemem przewidzianym przez Teslę: jak wymieniać pomysły z istotami pozaziemskimi po nawiązaniu kontaktu. W 1952 roku zoolog eksperymentalny Lancelot Hogben stanął przed Brytyjskim Towarzystwem Międzyplanetarnym i przedstawił swój plan stworzenia kosmicznego języka zwanego Astraglossa. Chociaż później przyznał, że projekt był „jeu d'esprit na wieczorną rozrywkę”, zauważył, że mimo to „miał podtekst poważnych intencji” (Hogben 1961). Rzeczywiście, prezentacja Hogbena zapoczątkowała „symboliczny zwrot” w dziedzinie komunikacji międzygwiazdowej, która dominuje na tym polu do dziś. Podczas gdy wiele przednowoczesnych propozycji METI było ikonicznych lub wywodzących się z konwencjonalnych systemów komunikacji, takich jak kod Morse'a, nowa generacja symbolicznych wiadomości międzygwiazdowych starała się stworzyć wyrafinowane systemy, które umożliwiłyby przekazywanie nie tylko matematyki, ale także złożonych informacji naukowych, psychologicznych i socjologicznych. Biorąc pod uwagę, że nie można domniemywać, że odbiorca pozaziemski wie cokolwiek o konwencjach systemów komunikacyjnych na Ziemi, nowe systemy METI przyjęły autointerpretację jako zasadę przewodnią. Wiadomości musiałyby niejako wyjaśniać się same, co wymagałoby rozpoczęcia od

wiedzy, którą można rozsądnie założyć jako uniwersalną, zakodowania tej wiedzy w systemie symboli i wykorzystania tego systemu symboli do budowania coraz bardziej złożonych stwierdzeń. Na przykład Astraglossa Hogbena starała się zbudować leksykon radiowy i składnię, używając liczb jako podstawy do dyskusji o zjawiskach astronomicznych znanych zarówno nadawcy, jak i odbiorcy, takich jak względne położenie planet w układzie słonecznym odbiorcy. W 1960 roku, w tym samym roku, w którym Frank Drake zainaugurował nowoczesne SETI z Projektem Ozma, pierwszym badaniem mikrofalowym pobliskiego systemu gwiazdowego pod kątem oznak inteligentnego życia, holenderski matematyk Hans Freudenthal opublikował Lincos: Design of a Language for Cosmic Intercourse. Chociaż system Freudenthala wykazuje niezwykle podobieństwo do Astraglossy Hogbena, żaden z nich nie zdawał sobie sprawy z jego pracy przed publikacją, a Lincos jest ogólnie uważany za pierwszy w pełni rozwinięty system komunikacji symbolicznej do komunikacji międzygwiazdowej. Lincos, będące połączeniem lingua cosmica, zostało pomyślane jako ćwiczenie dydaktyczne i odzwierciedlało pragmatyczne podejście Freudenthala do nauczania matematyki. Rozpoczynając od podstawowych cyfr, tekst buduje język, który próbuje opisać pojęcia z nauk fizycznych, a także bardziej abstrakcyjne pojęcia, takie jak miłość i śmierć. Lingua Freudenthala jest wyjątkowa, ponieważ jej składnia opierała się w dużej mierze na logice symbolicznej, ale odrzucała pełną formalizację. Czternaście lat po tym, jak Freudenthal opublikował Lincos, Frank Drake i Carl Sagan wysłali pierwszą międzygwiazdową wiadomość z teleskopu Arecibo w Puerto Rico do gromady gwiazd znajdującej się około 22 000 lat świetlnych od Ziemi. Zamiast przyjąć Lincos Freudenthala, które Drake uważał za „raczej ryzykowną metodę komunikacji międzygwiazdowej, ponieważ zakładano, że odbiorcy mają mózg i logikę bardzo podobną do naszego”, Drake i Sagan wybrali to, co uważali za „prostsza i jednoznaczna method” Wiadomość Arecibo była wzorowana na prototypowej wiadomości Drake zaprojektowanej w 1961 roku i składała się z 1679 cyfr binarnych ułożonych w prostokątną bitmapę. Powstały obraz przedstawia liczby od jeden do dziesięciu oraz liczby atomowe pięciu elementów tworzących DNA, a także wzory na cukry i zasady w nukleotydach DNA, surowy rysunek człowieka, graficzną reprezentację układu słonecznego oraz zdjęcie teleskopu Arecibo. Chociaż była to najpotężniejsza transmisja radiowa, jaką kiedykolwiek wysłano w kosmos w celu komunikacji międzygwiazdowej, przesłanie z Arecibo dotyczyło bardziej zademonstrowania możliwości technologicznych nowych instrumentów na teleskopie Arecibo niż poważnej próby nawiązania łączności międzygwiazdowej. Niemniej jednak wiadomość została zoptymalizowana pod kątem zrozumiałości i transmisji, więc chociaż jest mało prawdopodobne, aby kosmici kiedykolwiek ją otrzymali, transmisja jest nadal uważana za naukową próbę komunikacji międzygwiazdowej.

Trzy lata po tej historycznej transmisji dwie sondy opuściły Ziemię w podróż na skraj Układu Słonecznego. Misje Voyager rozpoczęły się w 1977 roku w odstępnie około dwóch tygodni, a każda z nich zawierała złotą płytę, zaprojektowaną jako rodzaj kapsuły czasu, przedstawiającej życie na Ziemi. Stworzone przez komitet pod przewodnictwem Sagana, płyty zawierają różnorodną kolekcję treści wizualnych i dźwiękowych, w tym 115 obrazów z Ziemi, nagrania terenowe wszystkiego, od fal oceanu po śpiew ptaków, wybory muzyczne od Bacha po Chucka Berry'ego, warte godziny fal mózgowych zebranych od dyrektora kreatywnego komitetu Ann Druyan, diagramu cząsteczki wodoru i nagrania śmiechu Sagana. Zapisy były inspirowane małymi tabliczkami przymocowanymi do sond Pioneer wystrzelonych w 1972 i 1973 roku, które przedstawiały nagiego mężczyznę i kobietę, a także mapę naszego słonecznego systemu pokazujący pochodzenie statku kosmicznego. Złote płyty zawierają znacznie więcej informacji niż tablice Pioniera, ale żaden statek prawdopodobnie nigdy nie zostanie przechwycony w kosmosie. Nawet jeśli tak, jest mało prawdopodobne, aby ich treść została zrozumiana, z powodów, które omówimy później. Tak więc, jak zauważył później Sagan, chociaż jest mało prawdopodobne, aby Voyagery kiedykolwiek nawiązały kontakt z pozaziemską inteligencją, zapiski nadal „dawały nam wyjątkową okazję do obejrzenia naszej planety, naszego gatunku i naszej

cywilizacji jako całości oraz wyobrażenia sobie moment kontaktu z inną planetą, gatunkiem i cywilizacją”. Na początku lat 90. programy SETI finansowane ze środków publicznych były martwe dzięki wysiłkom kilku kongresmanów w USA, którzy sprzeciwiali się wykorzystywaniu dolarów podatników do poszukiwania „małych zielonych ludzików z zniekształconymi głowami”, ale to nie zatrzymało badań nad projektami wiadomości międzygwiazdowych. W 1990 roku matematyk Carl DeVito i lingwista Richard Oehrle opublikowali swoje badania nad nowatorskim systemem komunikacji opartym na „fundamentalnych faktach naukowych”, które pokazały, że możliwe jest zbudowanie systemu komunikacyjnego zdolnego do przekazywania dużej części naszej wiedzy naukowej opartej na podstawach arytmetyki. Krótco przed nowym tysiącleciem dwóch kanadyjskich fizyków nadało pierwszą naukową wiadomość międzygwiazdową od ćwierć wieku z radioteleskopu Eupatoria na Ukrainie. 24 maja 1999 r., pierwsza z dwóch wiadomości „Kosmicznego Zewu” została nadana do gwiazdy oddalonej o 70,5 lat świetlnych w konstelacji. Projekt wiadomości był bezpośrednio inspirowany Lincos Freudenthala, chociaż pod pewnymi względami odbiegał od projektu Freudenthala. Cała wiadomość składała się z dwudziestu trzech „stron” 127 × 127 bitów, które wykorzystywały unikalny system symboli do przekazywania szerokiego zakresu tematów, od podstawowych arytmetyki po fizyczny skład skorupy ziemskiej. W następnym miesiącu ta sama wiadomość została wysłana do trzech innych gwiazd znajdujących się między 51,8 a 68,3 lat świetlnych od Ziemi. W 2001 r. z radaru Eupatoria wysłano pierwszą międzygwiazdową muzyczną wiadomość w formie „koncertu kosmitów” na thereminie. Dwa lata później, w 2003 r., z Eupatorii do pięciu różnych gwiazd w odległości czterdziestu sześciu lat świetlnych od Ziemi wysłano drugą, nieco zmodyfikowaną wiadomość Zewu Kosmicznego. Ta druga transmisja Kosmicznego Zewu zawierała również kod binarny podstawowego chatbota o imieniu Ella. Stworzona przez programistę komputerowego Kevina Copple w 2000 roku, Ella reprezentowała ówczesne uosobienie przetwarzania języka naturalnego. Potrafi żartować, grać w blackjacka, a jeśli Copple postawi na swoim, będzie również pierwszym międzygwiazdowym ambasadorem Ziemi, zakładając, że istoty pozaziemskie na końcu wiadomości mogą dowiedzieć się, jak uruchomić oprogramowanie. Chociaż jest to oczywiście otwarte pytanie, Ella reprezentowała dramatyczne i twórcze odejście od typowego międzygwiazdowego projektowania wiadomości i wstępnie skonfigurowanych projektów wiadomości opartych na sztucznej inteligencji. Jeśli chodzi o symboliczne systemy komunikacji międzygwiazdowej, najbardziej znaczącym postępowaniem w tej dziedzinie w ciągu ostatniego półwiecza była publikacja Astrolingwistyki przez holenderskiego matematyka Alexandra Ollongrena w 2013 roku. rozwój informatyki do problemu komunikacji międzygwiazdowej. Poprzez zmianę przeznaczenia rachunku lambda i rachunku konstrukcji, Ollongren zaprojektował metajęzyk, który pozwoliłby pozaziemskim odbiorcom rozszyfrować teksty w języku naturalnym za pomocą logiki wyższego rzędu. Oprócz Lincos jest to jedyny inny pełnoprawny język (to znaczy składający się z solidnej składni i semantyki), który został zaprojektowany wyłącznie w celu komunikowania się z istotami pozaziemskimi. Od luster słonecznych zaprojektowanych do komunikowania się z Marsjanami kodem Morse’a po zapisy fonograficzne i sztuczne inteligencje, które mają przemierzać kosmos przez tysiąclecia, każdy system komunikacji międzygwiazdowej odzwierciedla wiedzę naukową i wrażliwość kulturową epoki, która go stworzyła. Wybrane medium do komunikacji międzygwiazdowej wiele mówi o zaawansowaniu technologicznym przekazującej cywilizacji, ale prawdziwym materiałem przekazu są informacje zawarte w samym przekazie. W następnych rozdziałach rozważymy, w jaki sposób filozofia, językoznawstwo, matematyka, nauka i sztuka wpłynęły na projekt wielu międzygwiazdowych wiadomości opisanych powyżej.

OD CETI DO METI

W 1971 r. dziesiątki astronomów i astrofizyków zebrało się w sali konferencyjnej w Byurakan Astrophysical Observatory w Armenii na pierwszej wspólnej amerykańsko-radzieckiej konferencji poświęconej komunikacji z pozaziemską inteligencją. Amerykańscy i sowieccy naukowcy spotkali się

niezależnie, aby omówić ten temat na początku lat sześćdziesiątych, ale napięcia zimnej wojny uniemożliwiły wówczas wspólne spotkanie, co było zniechęcającą rzeczywistością dla badaczy rozważających życie pozaziemskie w kosmosie. Wczesne prace dały jasno do zrozumienia, że zdumiewający zakres wiedzy naukowej byłby niezbędny, aby odpowiednio zająć się kwestią pozaziemską, ale większość tej wiedzy była odgradzona żelazną kurtyną. W tym sensie konferencja byurakańska dotyczyła zarówno istot pozaziemskich, jak i łagodzenia napięć między dwoma światowymi supermocarstwami. Jak zauważył radziecki radioastronom Josif Szkolwski przed konferencją, perspektywa komunikowania się z istotami pozaziemskimi wydawała się niewyraźna, gdyby komunikacja między narodami ziemskimi na ten temat była zabroniona. Konferencję przewodniczył młody Carl Sagan, który trzy lata później zapisał się w historii, wysyłając pierwszą międzygwiazdną wiadomość w kosmos z radioteleskopu Arecibo w Puerto Rico. Tytuł i temat spotkania brzmiał: Komunikacja z pozaziemską inteligencją (CETI), czyli użycie języka, którego znaczenie nie umknęło Saganowi. „Słowo CETI, które zostało wymyślone na potrzeby tego spotkania, jest moim zdaniem odpowiednie pod trzema różnymi względami” - zauważył Sagan w swoim wystąpieniu otwierającym w Byurakanie. „Po pierwsze, jest to skrót od komunikacji z pozaziemską inteligencją. Po drugie, jest to łaciński dopełniacz określający wieloryba, który jest interesujący w tej dyskusji; walenie są niewątpliwie kolejnym inteligentnym gatunkiem zamieszkującym naszą planetę i argumentowano, że jeśli nie możemy się z nimi komunikować, nie powinniśmy być w stanie komunikować się z cywilizacjami pozaziemskimi. I wreszcie jedna z dwóch gwiazd, którą po raz pierwszy zbadał Frank Drake w Projekcie Ozma, pierwszym eksperymentalnym przedsięwzięciem w tym kierunku, był Tau Ceti”. Sagan poruszył kilka bardziej palących tematów, jeśli chodzi o komunikowanie się z ETI, w tym wykorzystanie zwierząt jako pozaziemskich analogów oraz wybór gwiazdnych celów. Warto jednak zastanowić się, czy „komunikacja z pozaziemską inteligencją” to odpowiedni termin określający działalność polegającą na wysyłaniu informacji w przestrzeni międzygwiazdnej w nadziei na nawiązanie kontaktu z cywilizacją pozaziemską.

KTO ZABIŁ CETI?

Podczas trzech dni w 1971 roku, kiedy Sagan i jego koledzy zajmowali Obserwatorium w Byurakanie, rozważali kilka propozycji latarni nawigacyjnych, które mogłyby początkowo przyciągnąć uwagę pozaziemskich, aby rozpocząć komunikację. Astronom James Elliot, który później odkrył pierścienie Urana, zasugerował, że broń jądrowa może być realnym mechanizmem sygnalizacyjnym. W swojej analizie Starfish Prime, test z 1962 r. 1,4-kilotonowej głowicy nuklearnej zdetonowanej na wysokości 250 mil - najpotężniejszej detonacji w kosmosie - Elliot doszedł do wniosku, że promienie rentgenowskie z tej eksplozji można wykryć nawet z odległości 400 astronomicznych jednostek, czyli około dziesięć razy większa odległość Plutona od Słońca. Chociaż nie jest to wystarczająco daleko, aby wykryć je inny układ słoneczny, zasugerował Elliot, że jednoczesne zdetonowanie całej ziemskiej broni jądrowej po drugiej stronie Księżyca może załatwić sprawę. Opierając się na szacunkach wielkości zapasów jądrowych w USA i Radziecku oraz założeniu, że można by opracować urządzenie, które mogłoby skupić promieniowanie rentgenowskie powstałe w wyniku detonacji, Elliot obliczył, że podmuch tej wielkości można wykryć z odległości do 190 lat świetlnych od Ziemia. Były to piekielny sposób przywitania się, ale istoty pozaziemskie musiałyby obserwować Ziemię w czasie wybuchu, co, jak przyznał Elliot, czyniło to mniej niż praktyczną propozycją. Poza egzotyczną propozycją kontaktu przedstawioną przez Elliota, uczestnicy konferencji skupili się głównie na mikrofalach jako przyziemnym, ale zdecydowanie bardziej praktycznym środkiem komunikacji międzygwiazdnej. Było wiele pragmatycznych problemów, którymi należało się zająć, jeśli chodzi o transmisje radiowe, takich jak idealna częstotliwość transmisji i wybór gwiazdnych celów, ale jedno z bardziej palących pytań dotyczyło natury treści wiadomości. Spośród różnych propozycji przesłań międzygwiazdnych wysuwanych w Byurakanie jedna wyróżnia się szczególnie. Marvin Minsky, jeden z protoplastów

sztucznej inteligencji, zasugerował, że najlepiej będzie wysłać kota. Nie opis kota, ale samego kota. Jak zobaczymy później, humor Minsky'ego kryje się za poważną propozycją, ale chodzi o to, że w czasie konferencji w Byurakanie czynna próba nawiązania komunikacji z istotami pozaziemskimi była uznawana za uprawnioną pogoń i propozycje, w jaki sposób można to osiągnąć były tak obfite, jak fantazyjne. Chociaż pogoń za komunikowaniem się z istotami pozaziemskimi jest daleka od śmierci, w ciągu dziesięcioleci od konferencji CETI została podporządkowana poszukiwaniom pozaziemskiej inteligencji, czyli SETI. To, że międzynarodowa społeczność łowców obcych zamieniła „komunikację” na „poszukiwanie”, wskazuje na fundamentalną zmianę jej priorytetów. Po początkowym nawrocie naukowego zainteresowania problemem, w jaki sposób moglibyśmy nawiązać kontakt z pozaziemską cywilizacją, wydawało się, że niewielkie szanse na wybranie właściwego gwiazdowego celu spośród milionów możliwych kandydatów sprawiły, że wysłanie wiadomości stało się w najgorszym przypadku głupim zadaniem, a w najlepszym przypadku kosmiczną bzdurą. U swoich podstaw problem polegał na skali i braku informacji o kosmicznym środowisku. Przed odkryciem pierwszej egzoplanety w 1992 roku, każdy układ słoneczny, którego gwiazda mieściła się w pewnym zakresie parametrów, można było uznać za równie prawdopodobne, że będzie gospodarzem życia pozaziemskiego. W czasie konferencji w Byurakanie wysłanie wiadomości do pojedynczego gwiazdowego celu wymagało ogromnych zasobów, jeśli chodzi o ilość energii wymaganej do wytworzenia wykrywalnego sygnału na duże odległości. Ponadto komunikaty były ograniczone do wąskiego pasma skupionego na jednej częstotliwości, co również ograniczało ilość informacji, które można było przesłać podczas transmisji. Poszukiwanie sygnałów wymagało jednak znacznie mniej energii. Co więcej, duże radioteleskopy na Ziemi mogą skanować tysiące częstotliwości na stosunkowo szerokim obszarze nieba. Obecnie odbiorniki na Ziemi są znacznie bardziej wyrafinowane niż te, których używał Drake podczas pierwszych poszukiwań mikrofalowych w 1960 r., ale koszty transmisji są praktycznie takie same. Po historycznej transmisji Arecibo Sagana i Drake'a w 1974 roku praktyka tak zwanego aktywnego SETI zanikła pomimo mnożenia się pasywnych eksperymentów SETI. W latach 1974-1999 przeprowadzono ponad pięćdziesiąt poszukiwań SETI na tysiącach gwiazd. W tym samym okresie miała miejsce tylko jedna transmisja w kosmos. W 1986 roku artysta Joe Davis użył radaru Millstone z MIT do wysłania dźwięków skurczów pochwy w kosmos. Transmisja ta trwała tylko kilka minut i została przerwana przez pułkownika Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych po tym, jak dowiedział się o treści audycji Davisa. W 1999 roku transmisja kosmicznego wezwania z radaru Evpatoria na Ukrainie stała się pierwszą naukową transmisją międzygwiazdową od ćwierćwiecza. Po ułatwieniu transmisji Kosmicznego Zewu, rosyjski radioastronom Aleksander Zajcew zdał sobie sprawę, że termin „aktywna SETI” jest nieodpowiedni dla odrodzenia się obcych wysiłków komunikacyjnych. Zamiast tego ukuł termin „wysyłanie wiadomości do pozaziemskich inteligencji” - METI. W porównaniu z aktywnym SETI, który, jak argumentował Zeitsev, transmitował tylko po to, by przyciągnąć uwagę pozaziemskich inteligencji i zmusić ich do wysłania wiadomości na Ziemię, METI dąży do „bardziej globalnego celu - przewyciężenie Wielkiej Ciszy we Wszechświecie, przynosząc naszym pozaziemskim sąsiadom długo oczekiwane zwiastowanie „Nie jesteś sam!” ”. Pouczające jest to, że Zeitsev czuł się zmuszony do stworzenia nowego akronimu dla tego wysiłku, zamiast rehabilitacji CETI, co podkreśla ważną różnicę między komunikacją a wiadomościami, jeśli chodzi o transmisje międzygwiazdne

MÓWIENIE O KOMUNIKACJI

W 1632 r. Galileo Galilei opublikował Dialog dotyczący dwóch głównych systemów światowych, tekst poświęcony głównie porównaniu Kopernikańskiej i Ptolemejskiej koncepcji Układu Słonecznego. Jednak Dialog bierze również pod uwagę mnogość „zdumiewających wynalazków” tworzonych przez ludzi na przestrzeni wieków. Ponad nimi wszystkimi, według oceny Galileusza, góruje język, który wyposaża ludzkość w „środky do przekazywania najgłębszych myśli każdej innej osobie, choć odległej o potężne odstęp czasu i miejsca” jedynie „przez różne układy dwudziestu znaków strona!” Prawie

czterysta lat później ta wyjątkowa ludzka zdolność jest nie mniej cudowna, zarówno ze względu na jej wyjątkowość w królestwie zwierząt, jak i niezrównaną zdolność przekazywania innym naszych „najgłębszych myśli”. Twierdzenie, że ludzie są jedynym zwierzęciem używającym języka, jest kontrowersyjne. Było wiele różnych schematów rozgraniczenia języka ludzkiego i komunikacji ze zwierzętami. Na przykład językoznawca Charles Hockett wśród szesnastu „cech konstrukcyjnych”, które, jak twierdził, odróżnia je od komunikacji zwierząt, uwzględnił nieskończony zakres języka, twórcze wykorzystanie, zdolność do przemieszczania się i umiejętność odwoływania się do przemieszczonych odniesień. Niemniej jednak niektóre z tych rzekomo unikalnych właściwości ludzkiego języka rzekomo znaleziono również w królestwie zwierząt. Na przykład „język tańca” pszczoł miodnych zawiera ograniczoną wersję przemieszczenia, a delfiny wydają się być w stanie odnosić się do nieobecnych obiektów. Jednak, jak zauważył lingwista Noam Chomsky przy kilku okazjach, różnica między komunikacją zwierząt a językiem ludzkim jest nadal bardziej fundamentalna, ponieważ „język nie jest właściwie traktowany jako system komunikacji”. Chomsky argumentował raczej, że język jest środkiem wyrażania myśli i chociaż język może być używany do komunikowania się, „nie jest to funkcją języka i może nie mieć żadnego wyjątkowego znaczenia dla zrozumienia funkcji i natury języka”. W tym sensie język jest lepiej rozumiany jako podzbiór komunikacji, co jest łatwo widoczne, gdy weźmie się pod uwagę zdumiewającą różnorodność systemów komunikacyjnych. Postawa osoby siedzącej na krześle, styl ubioru, syk kota lub ptasie upierzenie - wszystko to można uznać za sposoby komunikacji, o ile każdy z tych przypadków przekazuje informacje obserwatorowi. Mimo to, większość z nas prawdopodobnie wahałaby się przed stwierdzeniem, że „język ciała” jest czymś innym niż nominalnie związanym z językami naturalnymi, takimi jak francuski czy angielski. Rozróżnienie między CETI i METI jest teraz wyraźniejsze. Rozważ jeszcze raz propozycję Elliota, że możemy zdetonować arsenały nuklearne świata po drugiej stronie Księżyca, aby przyciągnąć uwagę pozaziemskiej inteligencji. Gdybyśmy spróbowali tego, mogłoby to zakomunikować pozaziemskiemu obserwatorowi wybuchu, że w Drozdzie Mlecznej istnieje cywilizacja, która wykorzystwała rozszczepienie jądrowe, jest w stanie przemierzyć swoje lokalne kosmiczne środowisko i tak dalej. Jednak prawdopodobnie nie uważalibyśmy tego za przesłanie dla istot pozaziemskich, ponieważ przesłanie to oznacza użycie języka, a tym samym przekazanie myśli. Biorąc pod uwagę, że METI dotyczy tworzenia wiadomości dla pozaziemskich inteligencji, jego głównym zadaniem jest zaprojektowanie systemu językowego, który jest zoptymalizowany tak, aby myśli jego projektantów były zrozumiałe dla pozaziemskiego podmiotu.

CZY OBCY MÓWIĄ PO ANGIELSKU?

Jest takie wspaniałe opowiadanie Roberta Silverberga (1974), które opowiada o marzeniach uznanego profesora Schwartza, zafascynowanego ideą podróży międzygwiazdnych. W swoich fantazjach Schwartz spotyka gadzią pozaziemską rasę z „dziwnie ludzkimi, smutnymi lewantyńskimi oczami”, która jest znana z oddawania się psychodelicznym i dziwnym rytualnym tańcom. „Schwartz rozmawiał z nimi kilka razy” - pisze Silverberg. „Zrozumieli angielski dostatecznie dobrze - wszystkie rasy galaktyczne rozumiały”. Schwartz wyobrażał sobie, że stanie się to międzygwiazdną lingua franca, tak jak na Ziemi - ale konstrukcja ich organów głosowych była taka, że nie mogli mówić, a zamiast tego polegali na małych maszynach tłumaczących zawieszonych na ich szyjach, które przekształcały ich cichy szept. Syczy w bursztynowe słowa pulsujące na ekranie. Puszczenie oka przez Silverberga do anglojęzycznej zarożumiałości jest dowcipne ze względu na swój absurd, ale rodzi również interesujące pytanie o komunikację międzygwiazdną. Intuicja sugeruje, że jakkolwiek naturalny język na Ziemi byłby niewystarczający do komunikowania się z pozaziemską inteligencją, ponieważ nasze języki są zależne od zdarzeń losowych historii społecznej Ziemi. Ale czy to koniecznie oznacza, że istota pozaziemska nie byłaby w stanie ich zrozumieć? Zadanie komunikowania się z pozaziemską inteligencją jest uderzająco podobne do eksperymentu myślowego postawionego przez filozofa Willarda Van Ormana Quine'a (1960) w celu wykazania nieokreśloności odniesienia. W tym eksperymencie

myślowym językoznawca jako pierwszy kontaktuje się z odległym plemieniem. Biorąc pod uwagę, że ani członkowie plemienia, ani językoznawca nigdy nie zetknęli się z językiem drugiego, jak mają rozpocząć znaczącą komunikację? Intuicja sugeruje, że znalezienie punktu wzajemnego odniesienia byłoby owocnym początkiem wysiłków tłumaczeniowych lingwisty. Pewnego dnia lingwista obserwuje królika wyskakującego z krzaka, a jeden z członków plemienia wskazuje na królika i mówi „gavagai”. Lingwista uważa, że dokonał przełomu. Oczywiście „gavagai” oznacza „królik”. Jednak sprawy nie są takie proste. W końcu „gavagai” można przetłumaczyć na „nieodłączną część królika” lub „stadium królika”, a wskazywanie nie wystarczy, aby określić, które z tych konkurujących znaczeń oznacza „gavagai”. Rozważ próbę rozróżnienia między „królikiem” a „nieodłączną częścią królika”, wskazując na różne części królika oddzielnie, pytając „gavagai?” To niewiele robi, aby rozwiązać odniesienie, ponieważ za każdym razem, gdy wskazana jest część królika, oznacza to również wskazanie całego królika. Chociaż nie rozwiązuje to nieokreśloności odniesienia, praktyczne rozwiązanie Quine’a dla zagadki lingwistycznej polega na stworzeniu działającego systemu tłumaczeń dla wszystkich „gramatycznych części i konstrukcji”, które pozwalają nam wyodrębnić pozycje w języku angielskim: końcówki w liczbie mnogiej, zaimki, liczebniki, „jest” tożsamości i tak dalej. Dzięki temu procesowi tłumaczenia językoznawca w końcu dociera do punktu, w którym może wskazać dwa króliki i zapytać „Czy ten królik jest taki sam jak ten królik?” co w praktyce postawi go na drodze do ustalenia, czy „gavagai” oznacza „królik”, „nieodłączną część królika” czy „stadium królika”. Oczywiście tak intensywny proces tłumaczenia nie zadziała w komunikacji międzygwiazdowej, gdzie ekstremalne opóźnienia między wysłaniem wiadomości a otrzymaniem odpowiedzi wykluczają iteracyjny proces sprzężenia zwrotnego stosowany przez językoznawcę Quine’a. Pod tym względem problem komunikacji międzygwiazdowej bardziej przypomina problem, z którym borykają się lingwiści, którzy próbują rozszyfrować starożytne pisma w nieznanymi językach, takich jak Linear B. tylko przez te teksty jest niemożliwe. Na przykład znaczenie egipskich hieroglifów prawdopodobnie pozostałoby nieodgadnione, gdyby nie Kamień z Rosetty, który odwzorował symbole na znany język. Jeśli do komunikacji międzygwiazdowej używany jest język naturalny, musi istnieć sposób, aby powiązać dowolne symbole, które stanowią słowa naszych języków naturalnych, z ich odpowiednikami w świecie. Jednak, jak argumentował Quine, jest to problem potencjalnie nierozwiązywalny, ponieważ opisana przez niego nieodgadniona referencja dotyczy również osób mówiących w tym samym języku. Niemniej jednak ludzie są w stanie nauczyć się języka i porozumiewać się z innymi osobami mówiącymi. Sugeruje to, że język naturalny mógłby być w zasadzie nauczony pozaziemskiej inteligencji, pod warunkiem, że istniałby mechanizm łączenia tekstu w języku naturalnym z jego odpowiednikami w świecie, być może poprzez metajęzyk lub obrazy. Badanie procesu przyswajania ludzkiego języka może zatem ujawnić cechy, które pozaziemska inteligencja musi posiadać, aby rozsądnie przypuszczać, że można ich nauczyć języka naturalnego. Krótko mówiąc, analiza ta wymaga traktowania ludzkich dzieci jako prototypowych obcych inteligencji. Jednym z najbardziej niezwykłych faktów na temat przyswajania języka naturalnego jest to, że dzieci mogą władać dyskretną nieskończonością, rozumianą jako „użycie skończonych środków do wyrażenia nieograniczonej tablicy myśli”. Do lat sześćdziesiątych XX wieku wyjaśnienie tego zjawiska było jednym z najbardziej kłopotliwych problemów językoznawstwa. W pierwszej połowie XX wieku językoznawstwo było zdominowane przez paradygmat, w którym język - w sensie langue, abstrakcyjny system reguł określających, w jaki sposób społeczność językowa używa języka - był przedmiotem społecznym, który stał się znany dzięki ekspozycji. Podstawową ideą było to, że dzieci rodzą się jako pusta karta i układają w całość zasady języka, abstrahując od przykładów z życia codziennego. Jednak ta teoria nabywania języka nie może wyjaśnić, w jaki sposób dzieci są w stanie generować i rozumieć nieskończoną liczbę wyrażen językowych, jeśli w życiu codziennym miały kontakt tylko ze stosunkowo niewielkim podzbiorem wypowiedzi. Wgląd ten był podstawą tak zwanej rewolucji poznawczej w językoznawstwie, która podkreślała neurokognitywne podstawy języka. Pierwszą salwą drugiej rewolucji poznawczej była

teoria gramatyki generatywnej, która wyjaśniała, w jaki sposób jednostki mogą rozumieć i tworzyć nieskończoną liczbę wypowiedzi. Teoria ta zakładała, że znajomość języka sprowadza się do zastosowania rekurencyjnej procedury generatywnej i że procedura ta może być formalnie zdefiniowana dla danego języka. Większość z nas uczy się swojego pierwszego języka, nie ucząc się nigdy wyraźnie generatywnych reguł, które umożliwiają mówienie w tym języku. Pytanie zatem brzmi: skąd się biorą te procedury generatywne? Biorąc pod uwagę, że dziecko jest w równym stopniu zdolne do uczenia się dowolnego języka na Ziemi i że każdy człowiek na tej planecie używa języka, sugeruje to, że nasza zdolność językowa jest wyposażeniem biologicznym. Teoria, że każdy z nas rodzi się z „organem językowym” jest znany jako gramatyka uniwersalna. Jak sama nazwa wskazuje, gramatyka uniwersalna zajmuje się właściwościami języka, które można znaleźć w każdym języku. Co ważne, gramatyka uniwersalna obala empiryczną hipotezę tabula rasa, zgodnie z którą ludzki mózg rodzi się jako pusta karta, która zaczyna używać języka poprzez zbieranie przykładów. Zamiast tego ludzki mózg musi być już wyposażony w wysoce ustrukturyzowany system, który umożliwia przyswojenie dowolnego języka. Teorie dotyczące związku między gramatyką uniwersalną a gramatykami szczegółowymi ewoluowały przez dziesięciolecia. XX wieku było jasne, że poszczególne języki są znacznie bardziej podobne, niż wcześniej sądzono. W ten sposób gramatyka uniwersalna została zdefiniowana jako system parametrów, a poszczególne języki zostały zdefiniowane przez unikalne wartości parametryczne w ramach tego systemu. Począwszy od lat 90. Chomsky i jego akolici udoskonalili zasady i teorię parametrów za pomocą minimalistycznego programu, który starał się odpowiedzieć na pytanie, dlaczego wydział językowy ma takie właściwości. Mocno minimalistyczna teza zaproponowana przez Chomsky’ego sugerowała, że ludzka zdolność językowa jest optymalnym rozwiązaniem dla narzuconych z zewnątrz warunków, które muszą być spełnione, aby w ogóle można było używać języka. Należy zauważyć, że użyte tutaj określenie „zewnętrzne” oznacza systemy, które są zewnętrzne w stosunku do zdolności językowej (np. System sensomotoryczny), a nie osoby. Ten pogląd zakłada, że jest to zbiór modułów o określonych właściwościach, które są realizowane na plastikowym podłożu neuronowym. Aby władza języka w ogóle była użyteczna, musi być w stanie komunikować się z innymi systemami języka (np. z modułami sensomotorycznymi i koncepcyjno-myślowymi). Ponieważ każdy z tych modułów ma swoje własne unikalne właściwości, nakładają one „minimalne specyfikacje projektowe” na wydział językowy, które są niezbędne, aby umożliwić tym modułom komunikowanie się ze sobą i umożliwić jednostce wyrażanie myśli (Chomsky 2000). Minimalistyczny program stara się wyjaśnić naturę tych minimalnych specyfikacji i czy te specyfikacje są również optymalnym rozwiązaniem ograniczeń nałożonych na wydział językowy. Co ważne, wszystkie te moduły poznawcze są realizowane na podłożu biologicznym składającym się z miliardów neuronów, co sugeruje, że powinny istnieć fizyczne sygnatury odpowiadające unikalnym cechom zdolności językowej. Kiedy Chomsky po raz pierwszy wysunął teorię na temat gramatyki generatywnej pod koniec lat pięćdziesiątych XX wieku, technologia tworzenia wysokiej jakości obrazów mózgu była jeszcze za trzy dekady. Teraz jednak neurolingwiści mają dostęp do wyrafinowanych technologii obrazowania mózgu, które zapewniają okno na funkcjonujący mózg w czasie rzeczywistym, umożliwiając im badanie związku między neurobiologią a językiem. Istnieją mocne dowody na to, że jedną z definiujących cech wszystkich języków naturalnych jest hierarchia, składnia rekurencyjna. W co najmniej trzech różnych eksperymentach wykorzystano techniki neuroobrazowania, aby zidentyfikować fizyczną sygnaturę tej unikalnej cechy języka, wystawiając ludzi na działanie zdań o normalnej i zniekształconej składni. Wyniki tych eksperymentów były jednoznaczne: rekurencyjna i hierarchiczna składnia w języku naturalnym jest wyraźnie reprezentowana w aktywności naszego mózgu. Oprócz umocnienia idei, że struktura języka jest zdeterminowana biologicznie, Moro) zauważa, że eksperymenty te „obalają również popularne przekonanie, że języki są formami oprogramowania działającymi na pasywnej podstawie sprzętowej; jeśli już, to są one wyrazem działania sprzętu, jakby ciało stało się językiem, logo”. Druga rewolucja poznawcza w językoznawstwie i rosnący zbiór

dowodów neuronauki, które ją potwierdzają, ma poważne konsekwencje dla METI, ponieważ „te same struktury, które umożliwiają naukę ludzkiego języka, uniemożliwiają nam naukę języka, który narusza zasady gramatyki uniwersalnej. Jeśli Marsjanin wylądował z kosmosu i mówił językiem, który naruszył gramatykę uniwersalną, po prostu nie powinniśmy być w stanie nauczyć się tego języka tak, jak uczymy się języka ludzkiego”. Zamiast tego musielibyśmy „pochodzić do języka obcego powoli i pracowicie - tak, jak naukowcy badają fizykę, gdzie potrzeba pokolenia po pokoleniu pracy, aby zdobyć nowe zrozumienie i dokonać znaczących postępów”. O ile zdolność języka jest powiązana ze strukturą naszego mózgu, międzygwiazdowe komunikaty zawierające język naturalny zakładają, że pozaziemski odbiorca posiada funkcjonalnie równoważną neurobiologię. Co więcej, jeśli cechy naszej zdolności językowej są w minimalnym stopniu determinowane przez wymagania systemów zewnętrznych, to wyjaśnienie tych minimalnych cech pomoże wyjaśnić inne ukryte założenia dotyczące natury pozaziemskiej inteligencji. Na przykład, jeśli istota pozaziemska ma radykalnie inny system sensomotoryczny, może to zmienić naturę jej zdolności językowej poprzez zmianę jej minimalnych wymagań projektowych. Ciekawym pytaniem w tym względzie jest to, jakie aspekty zdolności językowej są niezbędne dla języka jako takiego, a które są przypadkami narzucanymi przez inne systemy sensomotoryczne.

Poznanie pozaziemskie

Pogląd, że obcy mogą myśleć tak jak my, jest uzasadniony tym, że oboje podlegamy podobnym ograniczeniom środowiskowym. Nie tylko prawa fizyki są takie same w całym wszechświecie, ale całe życie podlega niedoborom zasobów. Nawet jeśli pozaziemskiej inteligencji udało się skolonizować swój układ słoneczny lub zbudować sfery Dysona, aby efektywnie zbierać energię z gwiazdy macierzystej, tym samym znacznie zwiększając jej energię i zasoby materialne, zasoby te są wciąż ograniczone. Argumentowano, że postęp technologiczny pozwala na efektywne traktowanie zasobów jako nieograniczone, ale zakłada to, że postęp technologiczny zawsze wyprzedza ich zubożenie z powodu presji ekonomicznej. Ponieważ jednak nie można zagwarantować rozwiązań technicznych, można rozsądnie przypuszczać, że wszystkie cywilizacje pozaziemskie będą ostrożnie zarządzać swoimi dostępnymi zasobami. Ten argument ekonomii również silnie wspiera pogląd, że inteligencja ET będzie nam znana. Po raz pierwszy zostało to rozpoznane przez dwóch pionierów uczenia maszynowego, Johna McCarthy'ego i Marviną Minsky'ego. Zdali sobie sprawę, że poszukiwania pozaziemskiej inteligencji mają wiele podobieństw z ich własnymi poszukiwaniami sztucznej inteligencji, o ile była to „próba badania mechanizmów intelektualnych możliwie niezależnie od konkretnych sposobów, w jakie ludzka aktywność intelektualna jest prowadzona”. Ten paradygmat badawczy opierał się na założeniu, że „mechanizmy inteligencji są obiektywne i nie zależą od tego, czy myśli człowiek, maszyna czy istota pozaziemska”. Zamiast tego, metody wywiadowcze zależą od natury problemu. Na przykład umiejętność grania w gry takie jak szachy i Go wymaga opanowania procesów, takich jak poszukiwanie rozwiązań i rozbicie sytuacji na elementy składowe. Chociaż ludzie stworzyli te gry, podstawowe procesy związane z grą zostały z powodzeniem zaimplementowane w komputerach, które nie tylko nauczyły się grać w gry, ale przewyższyły możliwości ich ludzkich przeciwników. Ekstrapolując z obiektywnych mechanizmów inteligencji i uniwersalnej zasady ekonomii, argumentował, że będziemy w stanie rozmawiać z pozaziemską inteligencją, ponieważ będą myśleć tak jak my. Jeśli wszystkie inteligentne istoty borykają się z tymi samymi fundamentalnymi problemami (tj. Ograniczeniami w przestrzeni, czasie i materiałach), a metody inteligencji są zdeterminowane naturą problemu, Minsky rozumował, że pozaziemskie inteligencje dojdą do rozwiązań podobnych do naszych własnych, a mianowicie systemy symboliczne do przedstawiania tych problemów i procesów manipulacji systemami, które można również opisać symbolicznie. Powodem, dla którego pozaziemskie inteligencje rozwiną systemy symboliczne, jest to, że jest to ekonomiczne. Silne rozwiązania problemów wynikających z ograniczeń przestrzeni, czasu i materiałów wymagają umiejętności

efektywnego zarządzania zasobami psychicznymi i fizycznymi. Minsky argumentował, że ta umiejętność może się pojawić tylko wtedy, gdy zasoby te zostaną przedstawione symbolicznie, co pozwala na sprawne przekazywanie i gromadzenie wiedzy. W zasadzie obiektywny charakter procesów intelektualnych oznacza, że uczeń jest w stanie ponownie odkryć całą fizykę od zera, ale byłoby to dość nieefektywne. Podobnie byłoby szalenie niepraktyczne, gdybyśmy byli zmuszeni wyczarować fizyczny kawałek owocu lub silnik rakietowy, ilekroć chcielibyśmy omówić jabłko lub napęd międzyplanetarny. Oczywiście można argumentować, że nawet jeśli pozaziemskie inteligencje mają systemy symboliczne, to może być tak różny od naszego, że nigdy nie moglibyśmy się nawzajem zrozumieć. Minsky odrzucił ten argument, odwołując się do swojej zasady rzadkości, która zakłada, że istnieją specjalne pomysły, z którymi „każda rozwijająca się inteligencja w końcu się spotka”, ponieważ są one prostsze niż inne pomysły, których wynikiem jest ten sam produkt. Dwa przykłady tych specjalnych pomysłów to liczby i arytmetyka, dlatego mogą służyć jako mocna podstawa dla międzygwiazdowego przekazu. Minsky wysunął jednak jeszcze mocniejsze twierdzenie, kiedy argumentował, że wiele aspektów ludzkiego języka może być „nieuniknionych” i prawdopodobnie można je znaleźć również w pozaziemskich systemach symboli. Twierdził, że pewne fundamentalne części naszego języka, szczególnie idee „rzeczy” i „przyczyny”, odzwierciedlają nasze procesy umysłowe, które rozwinęły się u naszych prelingwistycznych przodków. Nawet jeśli ci przodkowie nie mieli języka, mieli mentalne reprezentacje obiektów i różnice między nimi. Pojęcie „rzeczy” lub „przedmiotu” implikuje trwały zbiór właściwości i relacji między tymi właściwościami. To skutecznie oddziela przedmiot od wszystkiego innego, umożliwiając rozpoznanie obiektu, nawet jeśli na przykład zostanie przeniesiony w inne miejsce. Co ważne, pojęcie „rzeczy” odnosi się nie tylko do przedmiotów fizycznych, ale także do pojęć i innych niematerialnych bytów (np. Piosenki). Pojęcie „rzeczy” jest krytyczne dla pojęcia „przyczyny”, ponieważ gdyby nie było rzeczy, wydawałoby się, że wszystko, co się dzieje, zależy od wszystkiego innego, co się dzieje. Świat jest niewyobrażalnie złożonym miejscem, ale pojęcia „rzeczy” i „przyczyny” pozwalają nam tworzyć podstruktury, które mogą radzić sobie ze zlokalizowanymi skutkami rzeczy, bez konieczności rozważania wszystkiego innego. Istota pozaziemska bez tych podstawowych pojęć „rzeczy” i „przyczyny”, która wchłonęłaby świat jako jedną, niezróżnicowaną całość, nie byłaby w stanie rozwinąć fizyki niezbędnej do zbudowania radioteleskopu, ponieważ wydaje się, że wszystko powoduje wszystko inne. Co więcej, jeśli chodzi o komunikację, idea „rzeczy” daje także ludziom możliwość osadzenia jednej klauzuli w drugiej. Minsky argumentował, że jest to prawdziwy klucz do naszej inteligencji, ponieważ pozwala nam reprezentować wcześniejsze myśli jako obiekty innej myśli, mentalny trik, który objawia się jako rekurencja w języku naturalnym. „O ile obcy też tego nie zrobią” - napisał Minsky - „nie mogą skierować swoich myśli na wcześniejsze produkty swoich myśli. Bez tej sztuczki polegającej na odwróceniu symboli na siebie nie mogą mieć ogólnej inteligencji - jakkolwiek doskonały może być repertuar innych umiejętności”. Zatem wydaje się, że ekonomia zrodzona z pewnych uniwersalnych ograniczeń - praw fizyki i niedoboru zasobów - daje nam dobry powód, by przypuszczać, że pozaziemskie poznanie będzie na tyle podobne do naszego, aby umożliwić znaczącą komunikację. Oczywiście jest to tylko hipoteza, ale jak dotąd nie opracowano żadnego systemu komunikacji międzygwiazdowej, który nie zakładałby przynajmniej pewnego podobieństwa między ludzkimi i pozaziemskimi procesami psychicznymi. Nawet jeśli w zasadzie powinno być możliwe porozumiewanie się z istotami pozaziemskimi, to jednak prowadzi to do pytania, jaką formę powinna przyjąć ta komunikacja. Aby wyjaśnić tę kwestię, przyjrzymy się nieludzkim systemom komunikacji na Ziemi jako prototypowym systemom komunikacji międzygwiazdowej.

OBCY NA ZIEMI

Współczesne SETI zaczęło się właściwie w kwietniu 1960 roku wraz z Projektem Ozma, kiedy dwudziestopięcioletni astronom z Cornell Frank Drake wyszkolił osiemdziesięciometrowy radioteleskop w National Radio Astronomy Observatory w Green Bank w Zachodniej Wirginii, w

kierunku Tau Ceti i Epsilon Eridani, dwie gwiazdy oddalone o jedenaście lat świetlnych i mniej więcej w tym samym wieku co nasze Słońce. Przez dwieście godzin rozłożonych na trzy miesiące Drake używał teleskopu do skanowania w poszukiwaniu oznak inteligentnego życia wokół tych dwóch gwiazd. Teleskop radiowy został dostrojony do 1420 MHz, częstotliwości promieniowania obojętnego wodoru, którą uznano za najbardziej prawdopodobną częstotliwość transmisji pozaziemskiej, ponieważ jest to najbardziej rozpowszechniony pierwiastek we wszechświecie. Rzeczywiście, wydawało się, że natura nadeszła gotowa, mając własny międzygwiazdny system telekomunikacyjny. Drake ustawił radioteleskop z dwoma zasilaczami, tak aby wiązka teleskopu mogła na przemian kierować się bezpośrednio na gwiazdy i na puste niebo obok gwiazd. Naprzemienne przesyłanie między tymi dwoma źródłami było sposobem na odfiltrowanie zakłóceń naziemnych, które pojawiałyby się w obu źródłach, podczas gdy sygnał pozaziemski pojawiałyby się tylko w jednym. Jak mógłby wyglądać ten pozaziemski sygnał? Drake postawił hipotezę, że sygnał prawdopodobnie składałby się z podstawowego wzoru liczenia, być może z kilku pierwszych liczb pierwszych. Fizyk Edward Purcell, laureat Nagrody Nobla i pierwszy, który odkrył emisję radiową neutralnego wodoru, pomyślał, że sygnał będzie jeszcze prostszy i składał się z podstawowego wzorca włączania i wyłączania. Chociaż Tau Ceti i Epsilon Eridani nie są najbliższymi Ziemi gwiazdami, w tamtym czasie uważano je za najbliższe Ziemi, które miały jakiegokolwiek szanse na utrzymanie życia. Znalezienie inteligentnego życia w najbliższym nadającym się do zamieszkania układzie słonecznym byłoby albo niezwykłym zbiegiem okoliczności, albo oznaczałoby, że inteligentne życie we wszechświecie występuje znacznie częściej, niż ktokolwiek przypuszczał. Jednak zanim Drake zamknął Projekt Ozma w lipcu, nie wykryto żadnych sygnałów pierwszych ani żadnych innych. To wywołało poważne pytanie dotyczące przyszłości SETI: jak powszechne jest inteligentne życie we wszechświecie? Wkrótce po zakończeniu Projektu Ozma, Narodowa Akademia Nauk poprosiła Drake'a o spotkanie z innymi naukowcami w celu ustalenia przyszłości SETI - lub, jeśli o to chodzi, czy SETI w ogóle powinno mieć przyszłość. Trzydniowe spotkanie zaplanowano na 1 listopada 1961 r. Green Bank, a kilka dni przed konferencją Drake ułożył program, który miał dotyczyć „wszystkich elementów potrzebnych do przewidzenia trudności w wykrywaniu życia pozaziemskiego”. Lista, którą wymyślił, obejmowała średnie tempo powstawania gwiazd, procent gwiazd posiadających planety, średnią liczbę planet nadających się do zamieszkania na gwiazdę, procent planet, na których pojawia się życie, procent planet z życiem, na których ewoluuje inteligencja, procent inteligentnych społeczeństw zdolnych do komunikacji międzygwiazdnej i liczby lat, które wysyła cywilizacja. Drake zdał sobie sprawę, że pomnożenie wartości tych przedmiotów razem dało zgrubne oszacowanie liczby komunikujących się cywilizacji pozaziemskich w Drodze Mlecznej – i dzięki tej świadomości narodziło się słynne równanie Drake'a. Jeśli chodzi o uczestników konferencji, Drake współpracował z funkcjonariuszem rady naukowej National Academy of Sciences J. Peterem Pearmanem, aby sporządzić listę zaproszonych „każdego znanego naukowca, który nawet myślał o poszukiwaniu życia pozaziemskiego”. Okazało się, że to tylko dziesięć osób, w tym Pearman i Drake. Chociaż lista była krótka, zaproszeni byli „kim jest” naukowców wykonujących nowatorskie prace w swoich dziedzinach. Był tam chemik Melvin Calvin, który został powiadomiony podczas trzydniowej konferencji, że zdobył Nagrodę Nobla; młody planetolog Carl Sagan; entuzjasta krótkofalarstwa i przedsiębiorca elektroniczny Dana Atchley; astrofizyk Su-Shu Huang, który ukuł termin „strefa nadająca się do zamieszkania”; wynalazca Barney Oliver, dyrektor laboratoriów Hewlett Packard, który później napisał pierwszy raport NASA na temat SETI; Otto Struve, dyrektor National Radio Astronomy Observatory Green Bank, który był jednym z pierwszych naukowców, którzy podjęli próbę oszacowania rozpowszechnienia życia pozaziemskiego we wszechświecie; oraz fizycy Giuseppe Cocconi i Philip Morrison, którzy są autorami pierwszej pracy naukowej na temat wykonalności SETI w 1959 roku. Gdy Drake i Pearman przygotowywali listę gości, Drake żartował, że „teraz potrzebujemy tylko kogoś, kto rozmawiał z istotą pozaziemską” ale Pearman, ignorując humor, miał sugestię: John Lilly. W czasie konferencji Green Bank Lilly pracowała w Communication Research Institute na Wyspach Dziewiczych,

gdzie usilnie próbował porozumiewać się z delfinami. Rok po konferencji w Zielonym Banku Lilly zyskał szerokie uznanie za swoją pracę dzięki publikacji *Man and Dolphin*, w której argumentował, że delfiny mogą być tak inteligentne jak ludzie i że komunikowanie się z nimi powinno być możliwe. W końcu Lilly bardzo się starał rozmawiać z delfinami, włączając w to wątpliwą praktykę wstrzykiwania LSD swoim waleniom, ale jego próby komunikacji międzygatunkowej nigdy nie zakończyły się sukcesem. W 1961 r. spuścizna naukowa Lilly nie była jeszcze skażona rażącymi błędami etycznymi, które miały zdefiniować jego karierę i, jak zauważył Sagan (1973), „istniało wrażenie, że ten wysiłek komunikowania się z delfinami był w pewnym sensie porównywalny do zadaniem, które stanie przed nami w komunikacji z inteligentnym gatunkiem na innej planecie, powinno być ustanowienie międzygwiazdowej łączności radiowej”. Rzeczywiście, prezentacja Lilly na konferencji Green Bank na temat komunikacji delfinów wywarła na pozostałych uczestnikach takie wrażenie, że grupa przyjęła nieformalny pseudonim „Zakon Delfina”. Chociaż Sagan później wyrzekł się swojego przekonania, że praca Lilly ma klucz do zrozumienia lub zaprojektowania komunikacji międzygwiazdowej, badania Lilly nad komunikacją międzygatunkową głęboko ukształtowały kierunki badawcze METI, przyjmując komunikację międzygatunkową jako model komunikacji międzygwiazdowej.

PORZĄDEK I DELFIN

W książce *The Mind of the Dolphin*, opublikowanej kilka lat po konferencji w Green Bank, Lilly zauważył, że „obecnie mamy do czynienia z innymi gatunkami prawdopodobnie tak inteligentnymi jak my”, ale „jeszcze nie rozpoznajemy ich inteligencji”. Lilly z pasją argumentował, że jeśli mamy mieć jakąkolwiek nadzieję na zrozumienie pozaziemskiej inteligencji, musimy najpierw rozwiązać trudności związane z komunikowaniem się z nieludzkimi inteligencjami na Ziemi. Przeczucie Zakonu Delfina, że problemy komunikacji międzygatunkowej są analogiczne do problemów związanych z komunikacją międzygwiazdową, wydaje się intuicyjnie poprawne: mamy tutaj dwa radykalnie różne organizmy, każdy z własnym sposobem komunikacji specyficznym dla gatunku, który próbuje przekazać informacje jednemu innemu. Jednak ta analogia jest niewystarczająca z dwóch powodów. Po pierwsze, zakłada, że język jest jedynie formą komunikacji. Po drugie, zakłada, że przynajmniej niektóre systemy komunikacji zwierząt - szczególnie te stosowane przez delfiny i szympansy - nie różnią się zasadniczo od ludzkich języków. Jak Chomsky i inni argumentowali w innym miejscu, ludzki język może być używany do komunikacji, ale najwyraźniej nie jest to jego głównym celem. Języki naturalne są najczęściej używane wewnątrz do porządkowania myśli i tylko stosunkowo rzadko do przekazywania tych myśli innym. Dlatego Chomsky odnosi się do języków naturalnych jako języków wewnętrznych lub języków I, które należy odróżnić od języka jako systemu obliczeniowego składającego się z małego zestawu dyskretnych reguł - gramatyki uniwersalnej. Istnieje prawie nieskończona różnorodność systemów komunikacyjnych, od sposobu ubioru i ptasiego upierzenia po „język” ciała i chemiczne wydzieliny roślin. Chociaż języki naturalne mogą spełniać te funkcje komunikacyjne, nie można ich do nich sprowadzać. Według Lilly czynności delfinów wskazywały, że są zdolne do myślenia, a ich wokalizacje sugerowały, że myśli te były przekazywane sobie nawzajem za pomocą podstawowego języka, który Sagan nazwał kiedyś „delfinim”.

Współczesne badania sugerują, że Lilly przecenił złożoność języka delfinów, ale jego przemyślenia na ten temat są nadal pouczające dla międzygwiazdnych wiadomości, ponieważ wyjaśniają granice języka. Lilly zdefiniowała komunikację jako „wymianę informacji między umysłami”, która obejmowała pewien stopień abstrakcji, ponieważ „informacja nie istnieje jako informacja, dopóki nie znajdzie się na wyższych poziomach abstrakcji każdego z umysłów i nie zostanie obliczona jako taka. Aż do tego momentu, gdy zostanie odebrany jako informacja, jest to sygnał”. Rozważmy przypadek pulsara CP1919, który został odkryty w Obserwatorium w Arecibo w 1967 roku i został błędnie uznany za sygnał

pozaziemski. W tym przypadku mamy sygnał - promieniowanie elektromagnetyczne emanujące z określonego obszaru nieba - ale jego zawartość informacyjna jest niejednoznaczna. Może przekazywać informacje o szybko wirującej gwiazdzie lub o obecności pozaziemskiej cywilizacji. Dopiero po zebraniu większej ilości danych naukowcy mogli wyodrębnić te dane, aby ostatecznie ustalić, że była to gwiazda, a nie pozaziemska latarnia morska. Gdyby jednak ten sygnał okazał się być pozaziemską latarnią morską, która również zawierałaby wiadomość, istniałby jeszcze inny poziom abstrakcji poza informacją zawartą w sygnale. Następnym poziomem abstrakcji poza czystą informacją polega na rozszyfrowaniu systemu symbolicznego lub języka zakodowanego w sygnale w celu zrozumienia zawartego w nim przesłania. Sprowadzając język do zwykłej komunikacji, Lilly przeoczył kluczowy wniosek: systemy komunikacyjne przekazują tylko informacje, podczas gdy język jest również w stanie przekazywać myśli. Był to wgląd rozpoznany co najmniej już w 1859 r., kiedy Karol Darwin zauważył, że „długi i złożony tok myślenia nie może być dłużej prowadzony bez pomocy słów, wypowiedzianych lub milczących, niż długie obliczenia bez użycia liczby”. Ten wgląd ma głębokie konsekwencje dla międzygwiazdnych komunikacji. Jeśli zwierzęta rzeczywiście są zdolne do języka, to z tego powodu są zdolne do złożonych myśli i można je uważać za inteligentne w taki sam sposób, w jaki określilibyśmy ludzi jako inteligentnych. Podobnie, kiedy mówimy o „pozaziemskiej inteligencji”, milcząco sugerujemy, że istota pozaziemska ma zdolność do posługiwania się językiem, a zatem do złożonych myśli. Najwyraźniej Lilly zakładał, że delfiny są zdolne do złożonych myśli, a inteligencja ta przejawiała się w używaniu przez nie języka specyficznego dla gatunku, który tylko czekał na rozszyfrowanie. Pojawiło się pojęcie delfinów jako pozaziemskiego analogu METI od czasu konferencji Green Bank i nie bez powodu. METI zakłada, że odbiorca pozaziemski jest inteligentny i obdarzony zdolnościami językowymi, a szeroki repertuar kliknięć i gwizdów delfinów wydaje się nosić wiele cech charakterystycznych dla ludzkiego języka. Na przykład delfiny zademonstrowały umiejętność odnoszenia się do siebie za pomocą unikalnych dźwięków, zdolność do przemieszczania odniesień oraz zdolność rozumienia nowych instrukcji składających się z „zdań”, które używają do pięciu słów. Jeśli chodzi o komunikację międzygatunkową z naczelnymi innymi niż ludzie, sytuacja wygląda podobnie. Bonobo są zdolne do przemieszczania odniesień, goryle wykazały zrozumienie i twórcze użycie ponad tysiąca symboli w języku migowym, a szympansy są prawdopodobnie jedynym nieludzkim członkiem królestwa zwierząt, który wykazał zdolność do podstawowego symbolicznego dodawania. Te wyniki eksperymentów rzekomo potwierdzają pogląd, że „podstawowe biologiczne warunki obliczeniowe dla ludzkiego języka, w tym przetwarzanie zdań i dyskursu, są już obecne u naczelnych innych niż ludzie”. Pogląd ten odrzuca pogląd Chomsky'ego, że „język ludzki wymaga bardziej złożonego i jakościowo odrębnego mechanizmu obliczeniowego (tj. dyskretnej nieskończoności wytwarzanej przez rekurencję)”. Raczej „umiejętność łączenia dwóch elementów A i B w sposób wrażliwy na kolejność w celu uzyskania zdania AB stanowi podstawę obliczeniową dla zdolności przetwarzania... w języku ludzkim”. Jeszcze inni twierdzą, że to zasadniczo błędnie przedstawia sposób działania ludzkiego języka (jako systemu obliczeniowego). W języku ludzkim linearny porządek elementów w zdaniu nie jest tym, co czyni je zrozumiałymi; istotna jest raczej struktura hierarchiczna. Rozważmy przykład podany przez Berwicka i Chomsky'ego, aby zilustrować, że porządek liniowy jest niewystarczający dla ludzkiego języka: różnica między ptakami, które latają instynktownie, a ptakami, które latają. Pierwsze zdanie jest niejednoznaczne, ponieważ „instynktownie” może zmienić „latać” lub „pływać”. Jednak w drugim przykładzie „instynktownie” może modyfikować tylko „pływanie”. Jednak „instynktownie” jest bliżej słowa „latać” niż „pływać” w zdaniu. Porządek liniowy nie może wyjaśnić, dlaczego „instynktownie” modyfikuje bardziej odległy czasownik, ale jeśli spojrzeć na hierarchiczną strukturę zdania, wszystko jest jaśniejsze. Jeśli chodzi o odległość strukturalną, „instynktownie” jest bliżej „pływania” niż „latania”. To wzmacnia tezę Chomsky'ego, że składnia języka ludzkiego ma co najmniej trzy unikalne właściwości: „(1) ludzka składnia jest hierarchiczna i ślepa na względy porządku liniowego, z ograniczeniami porządku liniowego

zarezerwowanymi dla eksternalizacji; (2) poszczególne struktury hierarchiczne związane ze zdaniem wpływają na ich interpretację; oraz (3) nie ma górnej granicy głębokości odpowiedniej struktury hierarchicznej". Tych właściwości nie stwierdzono w systemach komunikacyjnych zwierząt z rzędu naczelnych innych niż ludzie. Sugeruje to, że ludzki język w rzeczywistości jakościowo różni się od innych systemów komunikacji zwierząt i, według Berwicka i Chomsky'ego, sprawia, że „mózg naczelnych innych niż człowiek jest kiepskim kandydatem do modelowania wielu aspektów ludzkiego języka". Mimo to utrzymuje się pogląd, że inteligencja nieludzka ma tendencję do zbliżania się do inteligencji podobnej do ludzkiej. W istocie istnieje przewaga dowodów sugerujących, że „konwergencja jest normą". Fakt, że oko wydaje się kilkakrotnie wyewoluować niezależnie na Ziemi, ale w każdym przypadku ewoluowało nieco inaczej ze względu na specyfikę niszy ekologicznej, jest występującym przykładem konwergencji w działaniu. Ekstrapolując z tego, można argumentować, że „liczba ewolucyjnych punktów końcowych jest ograniczona. ... To, co było możliwe, osiągnięto wielokrotnie, co oznacza, że pojawienie się różnych właściwości biologicznych jest faktycznie nieuniknione". Kontrowersje pojawiają się jednak, gdy tylko rozważymy inteligencję podobną do ludzkiej. Trudno zaprzeczyć, że „wysoka inteligencja" i złożone mózgi ewoluowały niezależnie na Ziemi kilka razy, ale równie trudno jest wyjaśnić, dlaczego sami ludzie opracowali systemy komunikacji symbolicznej. Chociaż niektóre badania sugerują, że zwierzęta rozwijają duże, złożone mózgi, aby wspierać coraz bardziej złożone procesy poznawcze, możliwe jest, że złożone mózgi zwierząt nie wskazują w rzeczywistości na jakąkolwiek szczególną zdolność intelektualną. Niemożność wyjaśnienia wyjątkowości języka może również wynikać z przestarzałej teorii ewolucji, w której korzystne cechy zawsze wyłaniają się poprzez serię niewielkich zmian u jednostek na przestrzeni milionów lat. Współczesne teorie ewolucyjne porzuciły to deterministyczne podejście do ewolucji na rzecz ewolucyjnego paradygmatu zdefiniowanego przez procesy stochastyczne (określone losowo). Zgodnie z klasycznym deterministycznym poglądem, naczelne inne niż ludzie muszą mieć trochę aspektów wydziału językowego, ponieważ są naszymi najbliższymi krewnymi. Jednak współczesne teorie ewolucji pozwalają na rozwój „skokowy" w ewolucji, co oznacza, że jest spójne, że ludzie posiadają zdolności językowe, podczas gdy naczelne inne niż ludzie nie posiadają nawet podstawowej wersji tego mechanizmu. Kiedy Sagan odwiedził laboratorium badawcze delfinów Lilly na wyspie St. Thomas, był pod wrażeniem wysiłków Lilly, aby nawiązać komunikację z obiektami będącymi waleniami, ale nie mógł nie zauważyć jednostronnego charakteru rozmów. „Warto zauważyć", Sagan zastanawiał się później nad swoim pobytom w laboratorium Lilly, „że chociaż podobno niektóre delfiny nauczyły się angielskiego - do 50 słów użytych w odpowiednim kontekście - żaden człowiek nie nauczył się delfiniego". Wnikliwa obserwacja Sagana jest dziś tak samo prawdziwa, jak wtedy, gdy Lilly wstrzykiwała swoim delfinom LSD w latach sześćdziesiątych i pomimo swojego dowcipu, oferuje głęboką obserwację na temat ograniczeń komunikacji międzygatunkowej jako modelu komunikacji międzygwiazdowej. Sukcesy w porozumiewaniu się z naczelnymi innymi niż ludzie i waleniami wiązały się z nauczaniem zwierząt systemów symbolicznych, ale nawet po tym wszystkim nadal nie możemy zrozumieć, co zwierzęta mogą komunikować między sobą. Nie wynika to jednak z braku wysiłku. Od 1985 roku Denise Herzing i jej koledzy raz w roku wyjeżdżają na Bahamy, aby badać grupę około dwustu delfinów plamistych i butlonosych. Przez około trzy miesiące w roku ta sama grupa delfinów gromadzi się na płytkich wodach na północ od wyspy Grand Bahama, co pozwoliło Herzing i jej współpracownikom udokumentować zachowanie osobników w ciągu trzech pokoleń, a także nagrywać dane dźwiękowe i wizualne dotyczące delfinów. Z biegiem czasu delfiny przyzwyczyły się do obecności badaczy i wchodziły w interakcje z nimi, gdy znajdowały się w wodzie. W 1997 roku Herzing wdrożyła prototypowy interfejs, który opisała jako „zasadniczo podwodną klawiaturę oznaczającą obiekty, działania i lokalizacje, umożliwiającą dostęp delfinom za pomocą sygnału wizualnego i akustycznego. Projekt sygnału akustycznego obejmował gwizdki o modulowanej częstotliwości, które wykraczały poza normalny repertuar gwizdów delfinów, ale w zakresie ich zdolności do naśladowania." Wstępny

test urządzenia wykazał, że delfiny wykazywały aktywne zainteresowanie urządzeniem po wystawieniu na działanie dźwięków, a oba gatunki delfinów wchodziły w interakcję z systemem podczas sesji. W 2012 roku Herzing wdrożył nową wersję tego interfejsu o nazwie Cetacean Human and Telemetry (CHAT), który jest faktycznie dwukierunkowym komputerem podwodnym, który może odbierać sygnały delfinów i generować odpowiedzi za pomocą małego głośnika. Dźwięki, które mogą być generowane przez urządzenie, nie należą do repertuaru gwizdków delfinów i były używane do oznaczania obiektów w wodzie, takich jak zabawki lub sargassum. Delfiny wykazały niesamowity talent do naśladowania generowanych komputerowo gwizdków, a celem CHAT było nauczenie delfinów „nazw” tych obiektów poprzez nakłonienie ich do wydawania właściwego gwizdka w kontekście (np. naśladowanie gwizdka dla słowa „sargassum” podczas zabawy z sargassum). Jak dotąd sukces tego urządzenia do nawiązywania dwukierunkowej komunikacji był ograniczony, ale wciąż ma to głębokie implikacje dla komunikacji międzygwiazdowej, ponieważ sugeruje, że możliwość komunikacji ma dolną granicę. Innymi słowy, gdy gatunek rozwinięte symboliczne systemy komunikacji, wydaje się, że nie może powrócić do przedsymbolicznych sposobów komunikacji lub myślenia. Chociaż możemy spróbować nadrobić naszą niezdolność do naturalnego naśladowania gwizdków delfinów za pomocą sztucznych środków, takich jak CHAT, pod koniec dnia nadal indoktrynujemy delfiny do symbolicznego reżimu, zamiast uczyć się znaczenia delfinów. Rodzi to również pokrewną, ale przeciwną kwestię, która zawsze nawiedzała badania nad komunikacją międzygatunkową: a jeśli te przypadki naczelnich innych niż ludzie i walenii pozornie rozumiejące symboliczne systemy komunikacji są tylko przykładami rygorystycznego warunkowania? Przecież naczelnice inne niż ludzie, które nauczyły się na przykład podstawowych dodatków, potrzebowały na to dekady, podczas gdy ludzkie dzieci mogą nauczyć się podobnych zadań już po kilku przykładach. Jeśli komunikacja międzygatunkowa naprawdę wskazuje na zrozumienie przez zwierzęta, to uwiarygodnia to hipotezę, że „podstawowe obliczeniowe biologiczne przesłanki języka ludzkiego” są już obecne u naczelnich innych niż ludzie, walenii i być może innych zwierząt o wyższej inteligencji. Badając różnicę między ludzkimi językami a systemami komunikacji zwierząt, odkrywamy minimalne elementy, które musi posiadać język przeznaczony do komunikacji międzygwiazdowej, aby być zrozumiały. W stopniu, w jakim inteligencja implikuje zdolność myślenia, a myśl wymaga zdolności językowej, METI zakłada, że pozaziemskie inteligencje mają język. Bez tych elementów komunikacja z istotami pozaziemskimi może być niemożliwa lub ograniczona do typów podstawowych wymian typowych dla komunikacji międzygatunkowej na Ziemi.

ENTROPIA I DELFIN

Powyższe nie miało sugerować, że badania nad informacjami o zwierzętach i systemach komunikacyjnych nie mają związku z METI, ale były próbą określenia granic odpowiednich zastosowań. Biorąc pod uwagę, że zwierzęta nie będące ludźmi nie mają tego, co nazwalibyśmy językiem, ale mimo to posiadają złożone systemy komunikacyjne, badanie granic między językiem a komunikacją jest szczególnie istotne dla zadania zaprojektowania wiadomości, która zostanie rozpoznana przez istoty pozaziemskie jako inteligentny sygnał. Obiecujące podejście do tego problemu obejmuje analizę systemów komunikacji zwierząt z perspektywy teorii informacji. Niezwykłą cechą każdego ludzkiego języka jest to, że częstotliwość słowa jest odwrotnie proporcjonalna do jego pozycji w tabeli częstotliwości. Innymi słowy, najczęściej występujące słowo występuje dwa razy częściej niż drugie najczęściej występujące słowo, trzy razy częściej niż trzecie najczęściej występujące słowo i tak dalej. Zależność ta dotyczy również liter i fonemów. Kiedy częstotliwości tych jednostek leksykalnych są wykreślane w logarytmicznym porządku rang, daje to nachylenie -1 . Rozmieszczenie jednostek leksykalnych we wszystkich językach ludzkich wydaje się być konieczne, aby niekodowany system komunikacyjny posiadał składnię. Płytsze zbocza wskazywałyby na większą różnorodność i mniej powtórzeń w systemie, ostatecznie kończąc na nachyleniu 0, co wskazywałoby na system całkowicie przypadkowy. Chociaż zbocza Zipf są dobrymi wskaźnikami złożoności wyższego poziomu sygnału, nie

dają pełnego obrazu. Dzieje się tak, ponieważ przypisują równą wagę każdemu punktowi wykreślone poza kontekstem, w którym występują, nawet jeśli będzie znacznie więcej punktów danych dla najczęściej występującej jednostki niż najmniej częstej jednostki informacji w systemie komunikacyjnym. Podobnie jak prawo Zipfa, entropia jest uniwersalną cechą języków ludzkich, więc ilościowe określenie entropii systemu komunikacyjnego poprzez analizę częstotliwości jednostek może pomóc określić złożoność systemu komunikacyjnego i określić, czy kwalifikuje się on jako językowy. Entropia Shannona, która określa ilościowo zawartość informacji systemu komunikacyjnego, może być mierzona na różnych poziomach lub „rzędach”, przy czym każdy rosnący porządek odpowiada większemu stopniowi złożoności pod względem relacji między jednostkami informacji w tym systemie. Na przykład w systemie z entropią zerowego rzędu każda jednostka informacji byłaby niezależna od tej, która ją poprzedzała. Innymi słowy, byłoby to całkowicie przypadkowe. Dla porównania, prawo Zipfa porządkuje jednostki leksykalne według częstotliwości występowania, a tym samym bada relacje entropiczne pierwszego rzędu. Analiza entropii Shannona drugiego rzędu pozwoliłaby ocenić częstość par jednostek leksykalnych; entropia trzeciego rzędu obejmowałaby tryplety jednostek leksykalnych; i tak dalej. Każde rosnące zamówienie zapewnia miarę zawartości informacji na tym poziomie, a liczba poziomów może być wykorzystana do określenia złożoności systemu komunikacyjnego. (Języki ludzkie wydają się być „na dnie” pod względem struktury wokół dziewiątego rzędu entropii; poza tym związek między jednostkami leksykalnymi wydaje się losowy.) Jeśli gwizdki delfinów są traktowane jako dyskretne jednostki znaczeniowe analogiczne do ludzkich słów, związek między częstotliwości wokalizacji delfinów daje nachylenie Zipf $-0,95$, które jest niezwykle zbliżone do ludzkiego języka. Sugeruje to, że komunikacja delfinów ma pewne struktury wyższego rzędu (tj. może posiadać składnię). Przypadek z entropiami Shannona jest jednak znacznie inny. Na przykład pierwsze cztery porządki entropii dla liter angielskich, rosyjskich i arabskich wykazują niezwykłą spójność między językami, generując odpowiednio nachylenia $-0,500$, $-0,566$ i $-0,797$. Rząd zerowy entropia - która wskazuje na różnorodność próbek - gwizdków delfinów ($4,75$) jest podobna do rozmieszczenia liter w trzech językach ludzkich ($5,00$, $4,75$ i $5,00$), ale porządek entropii gwizdków delfinów jest znacznie poniżej zakresu ludzkich języków w pierwszy, drugi i trzeci rząd, dając nachylenie $-1,334$. Możliwym wytłumaczeniem, dlaczego delfiny wykazywały nachylenia Zipf podobne do ludzkich języków, ale szalenie różne wartości dla entropii Shannona wyższego rzędu, jest undersampling, który dostarcza mniej informacji statystycznych w większych grupach jednostek informacyjnych. Dokładniejsza ocena entropii w komunikacji delfinów oraz stopień, w jakim można je uznać za analogię naturalnego języka ludzkiego, będzie zależeć od zebrania bardziej solidnych próbek gwizdków delfinów. Jeśli Shannon ma rację i „podstawowym problemem związanym z komunikacją jest odtworzenie w jednym punkcie dokładnie lub w przybliżeniu wiadomości wybranej w innym miejscu” - charakterystyka, która z pewnością spotka się z sympatią wśród tych projektowanych pozaziemskich wiadomości - wtedy zdolność kwantyfikacji entropii międzygwiazdowego systemu komunikacji ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia jego zrozumiałości dla odbiorcy. Gdybyśmy mieli napisać wiadomość wykazującą na przykład entropię rzędu zerowego, odbiorca nie miałby możliwości stwierdzenia, że jest on z natury inteligentny lub czy odbiera wiadomość zgodnie z zamierzeniami nadawcy. W tym celu Laurance Doyle zasugerował, że prawo Zipfa i entropie Shannona mogą zostać użyte jako rodzaj „filtru inteligencji” SETI do analizy sygnałów przychodzących z przestrzeni kosmicznej w celu ilościowego określenia ich złożoności. I odwrotnie, projektanci wiadomości przeznaczonych dla pozaziemskich inteligencji mogą poddawać swoje własne wiadomości tego rodzaju filtrowi inteligencji. Może to pomóc w jego rozpoznaniu przez dowolnych pozaziemskich odbiorców i ostrzec ich, czy wiadomość ma charakter językowy. Podążając za Doylem, rozważmy dwa przykłady, które są istotne dla komunikacji międzygwiazdowej. Komunikat międzygwiazdowy musi odróżniać się od „uporządkowanych” zjawisk astrofizycznych, takich jak pulsary, aby odbiornik mógł je rozpoznać jako sztuczne. Trudno się dziwić, że pierwszy odkryty pulsar został błędnie uznany za pozaziemską latarnię morską, ale czy pulsar można

wyeliminować jako możliwy inteligentny sygnał na podstawie samej zawartości informacji? Analizując 20000 impulsów zebranych z pulsara Vela w ciągu pół godziny, Doyle i jego koledzy byli w stanie określić, że modulacja amplitudy tych impulsów daje nachylenie Zipf $-0,69$ i nachylenie entropii $-0,28$. Aby zobaczyć znaczenie zastosowania „filtru inteligencji” do komunikacji międzygwiazdnej, rozważmy teraz zawartość informacyjną pierwszej wiadomości wysłanej w kosmos. Wiadomość z Arecibo z 1974 r. daje Zipf nachylenie $-1,64$, co może wskazywać pozaziemskiemu odbiorcy, że wiadomość jest zbyt redundantna, aby być złożonym systemem komunikacyjnym i może pomóc odbiorcy określić, że kod binarny ma być ułożony w tablicę bitmapową. Z drugiej strony, wykres entropii wiadomości od zera do siódmego rzędu dał nachylenie entropii $-0,03$, co sugeruje prawie losowy rozkład cyfr binarnych w wiadomości. Może to spowodować, że pozaziemski odbiorca całkowicie przegapi wiadomość, odrzucając ją jako przypadkowy, pozbawiony znaczenia szum. Wnikliwy obserwator zauważy jednak coś dziwnego w tym porównaniu. Z punktu widzenia teorii informacji, szybko obracająca się gwiazda wydaje się być bardziej systemem komunikacyjnym niż skrupulatnie zaprojektowanym inteligentnym przekazem. Powodem tego jest to, że „teoria informacji polega nie tyle na tym, co mówisz, ile na tym, co możesz powiedzieć”. Żadna analiza opierająca się wyłącznie na teorii informacji nie uchwyci znaczenia sygnału, ale będzie w stanie określić ilościowo zdolność systemu do obsługi komunikacji podlegającej regułom o dowolnej złożoności. Jak zauważają Doyle i jego koledzy, gdybyśmy otrzymali sygnał, który rozpoczął się od szeregu Fibonacciego (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 ...) od razu rozpoznalibyśmy jego znaczenie, ale perspektywa informacyjno-teoretyczna tego sygnału wydaje się być przypadkowa. Inną ważną kwestią jest to, że teorię informacji można wykorzystać do odróżnienia zjawisk astrofizycznych od inteligentnych sygnałów, przyglądając się zmienności zależności strukturalnych systemów komunikacyjnych (lub ich braku). Języki naturalne wykazują stały spadek zależności strukturalnych między jednostkami informacji wraz ze wzrostem rzędów entropii, podczas gdy zależności między jednostkami informacji w „systemie komunikacyjnym” pulsara Vela pozostały takie same, gdy wzrastały porządki entropii. Sugeruje to, że sensowne może być rozpoczęcie międzygwiazdnej transmisji tekstem w języku naturalnym, a nie magiczną liczbą (np. pi lub ciągiem Fibonacciego) lub logicznym metajęzykiem, w celu rozróżnienia sygnału jako z natury językowej dla wszelkich istot pozaziemskich, które mogą używać własnego filtra inteligencji opartego na teorii informacji.

KOMPUTERY KOSMICZNE I KOTY MIĘDZYGWIZDNE

W 2036 roku każdy mieszkaniec układu słonecznego HIP 4872 w Kasjopei otrzyma dziwnego gościa. Nazywa się Ella i lubi grać w blackjacka w Atlantic City, opowiadać dowcipy, przepowiadać fortuny i recytować wiersze. Te hobby nie są wcale takie niezwykłe dla człowieka, ale Ella nie jest dokładnie człowiekiem. Jest chatbotem: algorytmem przetwarzania języka naturalnego, który może odtwarzać ludzką mowę, analizując wzorce w dużych zbiorach tekstu. Oprogramowanie Elli zostało dołączone jako część wiadomości Kosmicznego Zewu z 2003 roku i pozostaje pierwszą i jedyną sztuczną inteligencją wysłaną w przestrzeń międzygwiazdną. Tuż przed transmisją Ella, która została stworzona przez firmę programistyczną EllaZ systems, zajęła pierwsze miejsce w konkursie Loebner Prize Contest, corocznym konkursie testów Turinga, w którym sędziowie próbują odróżnić ludzi od chatbotów poprzez prowadzenie rozmów tekstowych. Według dzisiejszych standardów, kiedy wielu z nas ma w kieszeni telefon z dużo bardziej zaawansowanymi algorytmami przetwarzania języka, Ella wydaje się być bardzo prymitywnym przybliżeniem inteligencji, ale w tamtym czasie program był uważany za jeden z „najbardziej ludzkich komputerów” na świecie. Nie musimy się zbytnio martwić, że nasz pierwszy ambasador AI w gwiazdach może się jednak okazać niespójnym uzależnionym od hazardu. Bez podstaw w składni Visual Basic.NET, języka programowania używanego do pisania oprogramowania Elli, istnieje duża szansa, że istoty pozaziemskie nie byłyby w stanie połączyć się z chatbotem; ale angielski korpus Elli, dołączony do oprogramowania, mógłby być dla nich cennym materiałem referencyjnym. Pomimo

wad „astrobota Elli”, jego przekazanie do Kasjopei było przełomowym wydarzeniem wskazującym na obiecującą przyszłość wykorzystania sztucznej inteligencji w komunikacji międzygwiazdnej. Pomysł wysyłania sztucznych inteligencji lub cyfrowych ludzkich awatarów jako pozaziemskich wysłanników ma długą historię w popularnej science fiction, więc trudno się dziwić, że był to jeden z pierwszych pomysłów na pozaziemskie przesłanie rozważanych przez pionierów współczesnego METI. Podczas szczególnie ożywionej dyskusji na pierwszej radziecko-amerykańskiej konferencji na temat pozaziemskiego wywiadu w 1971 roku w Byurakanie, uczestnicy debatowali, jak pozaziemski wywiad może zinterpretować wiadomość. Wbrew idei komunikowania się za pomocą sztucznych języków, takich jak *lingua cosmica* Freudenthala, która wymaga metody nauczania dekodowania języka, jeden z delegatów sowieckich zasugerował przesłanie oczywistych informacji, takich jak rysunek kota. Kot byłby narysowany w trójwymiarowej przestrzeni geometrii euklidesowej, gdzie każda ze współrzędnych pochodzi z parametrów samego sygnału (np. Częstotliwość dla osi y, czas dla osi x i intensywność sygnału dla osi z). Ten proces można powtórzyć dla praktycznie nieograniczonej liczby pomysłów. Ponadto Kuzniecowa argumentował, że powtarzając ten sam obraz na wielu częstotliwościach, te obciążone informacjami sygnały mogą również służyć jako rodzaj latarni nawigacyjnej, aby przyciągnąć uwagę istot pozaziemskich w pierwszej kolejności. Marvin Minsky miał jednak inny pomysł. „Zamiast wysłać bardzo trudną do rozszyfrowania wiadomość edukacyjną w rodzaju opisanym przez Freudenthala i zamiast wysłać zdjęcie kota, istnieje jeden obszar, w którym możemy wysłać samego kota” - powiedziała Minsky. „Krótko mówiąc, chodzi o to, że możemy przesyłać komputery”. Minsky wyciągnął ten pomysł prosto z science fiction. Jako przykład swojej propozycji zacytował A jak Andromeda, serial telewizyjny napisany przez kosmologa Freda Hoyle'a, w którym Ziemia wykrywa pozaziemski sygnał zawierający instrukcje budowy komputera, który następnie przekazuje instrukcje dotyczące stworzenia organizmu biologicznego o nazwie Andromeda. Pomimo swoich fikcyjnych początków sugestia Minsky'ego była nadal pragmatyczna. Gdyby planeta pozaziemska miała inny współczynnik załamania światła niż Ziemia, przesłanie obrazu za pomocą układu współrzędnych Kuzniecowa spowodowałoby zniekształcenie obrazu z punktu widzenia istot pozaziemskich. Chociaż topologia sygnału została zachowana, zniekształcony obraz podważyłby jego użyteczność, zwłaszcza jeśli obraz byłby próbą przekazania koncepcji naukowej. Sugeruje to, że idealny komunikat byłby całkowicie topologiczny (tj. zawierałby tylko właściwości odporne na zniekształcenia). Minsky spostrzegł, że komputer jest „absolutnym urządzeniem topologicznym” i dlatego można go uznać za idealną treść międzygwiazdnej wiadomości. Aby nauczyć istotę pozaziemską, jak zbudować program lub jeszcze lepiej komputer z wybranym programem, Minsky zaproponował serię obrazków instruktażowych ułożonych jak bitmapy liczb pierwszych Drake'a, które miały zarysować projekt komputera i oprogramowania. Co więcej, diagramy logiki Boole'a mogą być użyte do wyeliminowania wszelkich niewiadomych co do zawartości sygnału. Sam komputer mógłby zostać użyty do uruchomienia oprogramowania podobnego do *lingua cosmica* Freudenthala, które pomogłoby wyeliminować problemy z dekodowaniem w systemie Lincos poprzez sprzężenie zwrotne. Co więcej, program komputerowy mógłby zostać zaprojektowany do interakcji z pozaziemską inteligencją, tak aby mógł na przykład wykorzystywać algorytmy przetwarzania języka naturalnego do nauki języka swoich gospodarzy.

LANGUAGE CORPORA I ETAI

Kiedy Chomsky po raz pierwszy opublikował swoją teorię gramatyki generatywnej, była to częściowo reakcja na dominujący trend w językoznawstwie, w którym język został skutecznie zredukowany do procesów Markowa. Opisują one prawidłowości w systemie, w którym następną jednostką w sekwencji jest probabilistycznie określona przez wartości jednostek, które ją poprzedzały. Słynnym kontrapunktem Chomsky'ego dla stosowania modeli statystycznych do składni języka jest zdanie „Bezbarwne zielone pomysły śpią wściekle”, które jest poprawne gramatycznie, ale

prawdopodobieństwo jego powstania w języku angielskim jest statystycznie pomijalne. W ten sposób lingwiści poszli w pogoń za głębszymi regułami, które pozwalają na takie bezsensowne, ale gramatycznie poprawne zdania, podczas gdy informatycy kontynuowali badanie naturalnych wzorców języka za pomocą statystyk. Znaczenie tego podziału nie umknęło Minskiemu. „Twierdzę, że większość ważnych informacji, które ludzie mają, to nie fakty, ale procesy” - powiedział Minsky na konferencji w Byurakanie. „W szczególności proces, za pomocą którego analizujesz język i rozumiesz gramatykę, jest o wiele ważniejszy niż sama gramatyka”. Minsky zasadniczo opisuje przetwarzanie języka naturalnego (NLP), gałąź uczenia maszynowego, która analizuje ludzki język, aby maszyna mogła „rozumieć” i odpowiadać w języku naturalnym. We wczesnych dniach NLP programiści kodowali w komputerze wyraźne reguły, aby nauczyć go analizowania języka naturalnego. Problem polegał jednak na tym, że ludzie mieli ograniczone możliwości wyraźnego uchwycenia różnorodnych sposobów, w jakie język naturalny jest używany w praktyce. Tak zwana rewolucja statystyczna w przetwarzaniu języka naturalnego, która rozpoczęła się we wczesnych latach osiemdziesiątych XX wieku, przewyciężyła te wczesne ograniczenia, wprowadzając do komputerów duże próbki tekstu, zwane korpusami, i pozwalając algorytmom na wyodrębnienie wielu zniuansowanych reguł używanych języka. Dziś analiza statystyczna nadal dominuje w algorytmach NLP, chociaż ich skuteczność została zwiększona przez klasę algorytmów uczenia maszynowego luźno opartych na strukturze ludzkiego mózgu zwanych sztucznymi sieciami neuronowymi. W przeciwieństwie do dawnych statystycznych modeli NLP, algorytmy głębokiego uczenia mogą kategoryzować dane, których używają do wykonania określonego zadania, takiego jak analiza gramatyki zdania lub wyodrębnienie treści semantycznej z wypowiedzi. Jednak w odniesieniu do algorytmów NLP uczenia głębokiego, podstawowy proces jest nadal taki sam, o ile obejmuje klasyfikację części mowy i analizę statystyczną korpusów języka naturalnego. Kiedy ktoś w codziennych rozmowach odwołuje się do „sztucznej inteligencji”, zwykle odnosi się do uczenia maszynowego, wąskiej formy sztucznej inteligencji, która jest daleka od sztucznej inteligencji ogólnej (AGI) w science fiction. AGI jest ostatecznym celem badań nad uczeniem maszynowym, ale osiągnięcie tego celu okazało się znacznie trudniejsze niż wyobrażali sobie pionierzy sztucznej inteligencji. Biorąc pod uwagę, że wszelkie istniejące cywilizacje pozaziemskie są prawdopodobnie bardziej zaawansowane niż nasza własna, rozsądne jest założenie, że pozaziemska inteligencja rozwinęła własny AGI. Rzeczywiście, istnieje dobry powód, by przypuszczać, że większość istot pozaziemskich we wszechświecie to „postbiologiczne” sztuczne inteligencje. Działanie na tym założeniu stwarza przestrzeń dla wiadomości międzygwiazdowych zaprojektowanych zgodnie z zasadami przetwarzania języka naturalnego na Ziemi, które mają liczne zalety w zakresie wykrywania i dekodowania. Podobnie jak w przypadku przetwarzania języka naturalnego na Ziemi, międzygwiazdowa wiadomość przeznaczona dla pozaziemskiej sztucznej inteligencji (ETAI) zaczęłaby się od wybrania korpusu języka naturalnego. Zawartość tego korpusu byłaby przesyłana binarnie, z ciągami znaków o stałej długości reprezentującymi każdy ze znaków w korpusie zgodnie z pewnym standardem. Jednak pytanie, który korpus wybrać, od razu stwarza problem. W tym celu John Elliott szczegółowo opisał projekt korpusu chóru języka ludzkiego (HuLCC), który obejmowałby wszystkie aspekty typologii w każdym ludzkim języku. Nawet jeśli tylko jeden język ziemski jest zakodowany w transmisji międzygwiazdowej, HuLCC pomógłby w destylacji uniwersalnej mechaniki języków ziemskich na „gramatyczne, poznawcze i strukturalne szablony projektowe do racjonalizacji konstrukcji wiadomości w celu przyspieszenia zdolności odbiorcy do wykrywania i rozszyfrowywania treści wiadomości.” Zgodnie z projektem Elliotta, ten korpus języka ludzkiego byłby w rzeczywistości zbiorem subkorpor w każdym języku ziemskim, obejmujących 20 000 słów tego samego tekstu. Nie ma ani jednego tekstu, który zostałby przetłumaczony na każdy istniejący język. Nawet Biblia, najczęściej tłumaczony tekst w historii, została przetłumaczona tylko na około 10 procent z około 7 000 żywych języków. Dlatego stworzenie HuLCC prawie na pewno będzie wymagało dużego wysiłku tłumaczeniowego. Chociaż teksty religijne, takie jak Biblia czy Koran, wydają się być dobrym punktem wyjścia, naruszają maksymę Elliotta, zgodnie z

którą tekst podstawowy powinien być napisany we współczesnym języku narodowym, więc być może inne szeroko tłumaczone teksty fikcyjne, takie jak Baśnie Hansa Christena Andersena lub Dwadzieścia tysięcy mil podmorskich Juliusza Verne'a byłoby odpowiednią alternatywą. Odpowiednia wielkość korpusu jest tematem spornym wśród lingwistów, chociaż powszechnie uważa się, że jeśli chodzi o korpus, to im większy, tym lepszy. Wiadomości międzygwiazdowe podlegają ograniczeniom energetycznym, które ograniczają ilość informacji, które można przesłać. Dlatego bardziej istotną kwestią jest minimalny rozmiar korpusu potrzebny do uzyskania wiarygodnych wyników. W tym względzie wykazano, że korpusy powyżej 14 000 słów tworzą wiarygodne tłumaczenia maszynowe, ale około 20 000 słów jest niezbędnym progiem do odróżnienia tekstu jako materiału językowego, a nie jako przypadkowy zbiór jednostek leksykalnych. Jak widać w różnych analizach ilościowych zwierzęcych i ludzkich systemów komunikacyjnych rozmieszczenie jednostek leksykalnych w korpusach języka naturalnego ma charakterystyczne sygnatury (np. nachylenie i przewidywalna zmienność w rosnących rzędach entropii). Chociaż prawa mocy podobne do nachylenia Zipfa można zidentyfikować w zjawiskach naturalnych, takich jak dystrybucja molekularna w DNA drożdży, rozkład tych jednostek zwykle zajmuje znacznie większy zakres i wykazuje długie powtarzające się wzorce z dala od siebie w „Corpus”. Ponadto Elliott zauważa, że w dowolnym języku rzeczywista kombinacja symboli w parach i trojczkach jest znacznie mniejsza niż rzeczywista liczba możliwych kombinacji: używa się tylko około 50 procent wszystkich możliwych kombinacji dwuliterowych i tylko 20 procent wszystkich możliwych kombinacji stosowane są trzyliterowe kombinacje, głównie ze względu na ograniczenia w produkcji dźwięku. Elliott porównuje to z losowo generowanym tekstem, który może wykorzystywać wszystkie możliwe kombinacje w ramach odpowiednika około 20 000 słów, co służy jako konserwatywna dolna granica minimalnego rozmiaru korpusów językowych do komunikacji międzygwiazdowej. Podsumowując, te cechy mogą wskazywać, że sygnał ma charakter językowy dla pozaziemskiej inteligencji. Ważną kwestią związaną z wyborem korpusu języka naturalnego do komunikacji międzygwiazdowej jest wybór mechanizmu adnotacji dla danych językowych. Chociaż algorytmy uczenia głębokiego stają się coraz bardziej biegłe w otrzymywaniu dużych, nieoznakowanych zbiorów danych językowych i analizowaniu zawartości tych danych bez nadzoru człowieka, wiele algorytmów NLP nadal opiera się na dobrze opatrzonych adnotacjami danych, aby skutecznie nauczyć się języka. Adnotacje korpusu językowego to metadane opisujące cechy językowe istotne dla zrozumienia tekstu, takie jak części mowy lub nastrój zbioru słów. Wartość tych metadanych dla rozszyfrowania struktury międzygwiazdowego przekazu w języku naturalnym można łatwo dostrzec, biorąc pod uwagę trudności, z jakimi borykają się archeolodzy próbujący zrozumieć utracone języki na Ziemi. W przypadku języków zagubionych, takich jak linearny B, który po raz pierwszy odkryto na Krecie pod koniec XIX wieku, jedną z najbardziej znaczących przeszkód w zrozumieniu jego treści było po prostu parsowanie jednostek leksykalnych. Rozważmy przypadek pozaziemskiej inteligencji otrzymujących międzygwiazdowy sygnał nieznanego pochodzenia. W jaki sposób mają określić skład poszczególnych postaci w tym ogromnym strumieniu binarnych informacji? Jak widzieliśmy powyżej, strukturalne elementy języka naturalnego pozwalają na nienadzorowany algorytm języka naturalnego do identyfikacji znaków poprzez analizę statystyczną. Na przykład, jeśli korpus języka naturalnego zostałby zakodowany zgodnie ze standardami ASCII, gdzie każdy znak jest reprezentowany przez unikalny 8-bitowy identyfikator, pozaziemska inteligencja byłaby w stanie przeanalizować korpus pod kątem entropii związanej z różnymi długościami bitów. Analiza ta ujawniłaby znaczny spadek entropii dla 8-bitowych bloków sygnału, sugerując, że każdy pojedynczy znak lub odpowiada bajtowi informacji. Jeżeli w wiadomości zawarty jest również unikalny identyfikator „spacji”, podobną technikę można by wykorzystać do identyfikacji poszczególnych słów poprzez analizę wiadomości pod kątem znaków spacji. Po wykonaniu tego analiza rozmieszczenia słów w korpusie ujawniłaby zorganizowaną strukturę odpowiadającą prawu Zipfa. Chociaż wszystko to można by osiągnąć bez adnotacji tekstowej, włączenie tych metadanych pomogłoby zapewnić prawidłową interpretację korpusu przez ETI. Jak

zobaczymy w następnym rozdziale, metajęzyk Lincos opracowany przez Alexandra Ollongrena byłby naturalnym wyborem do opisu korpusu międzygwiazdowego. Jego prosta składnia oparta na rachunku lambda sprawia, że jest on łatwy do odczytania, a jego saminterpretujący się projekt jest oparty na rachunku konstruktywnych indukcji, dzięki czemu można sprawdzić poprawność instrukcji Lincos w samym systemie. Tak więc Lincos Ollongrena może służyć jako swego rodzaju algorytmiczny Kamień z Rosetty, pomagający zagwarantować poprawną interpretację międzygwiazdowej wiadomości opartej na korpusie.

COSMIC OS

Chociaż Lincos Ollongrena mógł wyznaczyć algorytmiczny zwrot w projektowaniu języka do komunikacji z istotami pozaziemskimi, nie był on pierwszym, który zastosował informatykę do problemu komunikacji międzygwiazdowej. W rzeczywistości nie był nawet pierwszym, który zastosował zasady tworzenia oprogramowania do METI. Można to słusznie przypisać Paulowi Fitzpatrickowi, informatykowi z MIT, który opracował Cosmic OS, system operacyjny wzorowany na języku programowania Scheme. System operacyjny Fitzpatricka, pierwotnie opracowany pod koniec 2003 r. Przed „ponownym uruchomieniem” w 2014 r., Ma funkcjonować jako samodzielny program komputerowy, który może być zrozumiany przez pozaziemską inteligencję i przekazywać „znaczną część ludzkiego poglądu na świat” w proces. Fitzpatrick napisał Cosmic OS jako pochodną schematu języka programowania z lat 70. Ten funkcjonalny język programowania został pierwotnie opracowany w laboratorium AI MIT przez Guya Steele i Geralda Sussmana jako dialekt Lispa. Poza Fortranem, Lisp jest najstarszym językiem programowania wysokiego poziomu, który jest nadal używany i wyróżnia się tym, że opiera się na rachunku lambda. Schemat, nakreślony w serii notatek opublikowanych w latach 1975–1980, znanych jako Lambda Papers, narodził się z uświadomienia sobie, że „rachunek lambda - mały, prosty formalizm - może służyć jako rdzeń potężnego i wyrazistego języka programowania” (Sussman i Steele 1998a, b). Chociaż zarówno Scheme, jak i Lisp mają wspólną podstawę w rachunku lambda, Scheme oferował zestaw ulepszeń w stosunku do Lispa, szczególnie dzięki wprowadzeniu zakresu leksykalnego. W programie komputerowym zakres powiązania nazwy - powiązanie nazwy ze zmienną - określa, gdzie w tym programie powiązanie jest prawidłowe. Celem Cosmic OS jest wykorzystanie tego języka do opracowania lochów dla wielu użytkowników (MUD), którymi mogłyby kierować istoty pozaziemskie, aby dowiedzieć się więcej o Ziemi i jej mieszkańcach. MUDy to wirtualne światy oparte na tekście, które są czymś pomiędzy grą fabularną a interaktywną fikcją. Dla Fitzpatricka oznaczałoby to rolę odgrywaną przez „sztuki moralne” znalezione w Lincos Freudenthala (bardziej szczegółowe omówienie sztuk moralności Lincosa, patrz dodatek C), ale z lepszym schematem korekty i możliwością przekazywania większej ilości informacji. Transmisja międzygwiazdowa, w tym Cosmic OS, miałaby „silny szkielet rzeczywistego kodu wykonywalnego”, a wykonanie tego kodu pozwoliłoby ETI zinterpretować informacje przekazywane przez MUD. Według Fitzpatricka ma to dwie główne zalety. Po pierwsze, odbiorcy mogą przyjrzeć się kodowi szczegółowo, aby zrozumieć, jak działa, lub potraktować system jako czarną skrzynkę i spróbować dowiedzieć się, jak działa, porównując dane wejściowe i wyjściowe. Co więcej, rozumiejąc szczegóły kodu, odbiorcy mogli go zmienić tak, aby uzyskać więcej informacji z kodu, niż było zawarte w oryginalnej wiadomości, a także stworzyć odpowiedź, korzystając z podobnych zasad. Oczywiście Cosmic OS zakłada, że odbiorca wiadomości ma komputer, który może wykonać kod, ale było to rozsądne założenie przyjęte przez Fitzpatricka po rozważeniu stopnia zaawansowania technologicznego, jakie odbiorca musiałby w pierwszej kolejności odebrać. W ostatecznej postaci wiadomości wysyłane za pośrednictwem Cosmic OS składałyby się z zaledwie pięciu znaków: cyfr binarnych 1 i 0, nawiasów kwadratowych i nawiasów zamkniętych oraz średnika oznaczającego zdania. Prostota jego leksykonu jest głównym dobrodziejstwem dla projektu, ponieważ wymaga minimalnej przepustowości i byłby łatwy do zinterpretowania przez komputer odbiorcy. Początkowy komunikat zaczynał się od nauczenia odbiorcy, jak liczyć, wprowadzenia

operatorów, takich jak równość, większe niż, mniejsze niż i inne logiczne zapisy, takie jak „nie” i „i”. W drugiej iteracji Cosmic OS Fitzpatrick zredukował język do prostszego funkcjonalnego języka programowania składającego się z ośmiu symboli, z których każdy ma odpowiednią liczbę od 0 do 7 i funkcjonalne znaczenie. Na przykład symbol „.” odpowiada liczbie „1”, a jej znaczenie to funkcja, która dodaje jedynekę do swojego argumentu. Cyfry 3 i 4 odpowiadają odpowiednio symbolom nawiasów otwartych i zamkniętych i służą do oznaczania początku i końca wyrażeń. Trzecia iteracja jeszcze bardziej uprościła sprawę, redukując leksykon języka do zaledwie pięciu symboli: kropki i dwukropka odpowiadających cyfrom binarnym 1 i 0, nawiasach otwartych i zamkniętych do oznaczania początku i końca wyrażeń oraz średnika oznaczającego koniec zdania. W tym zapisie liczby są kodowane jako cyfry binarne w nawiasach, tak aby (:::.) Równało się 14, zestawy liczb są zawarte w nawiasach i stanowią wyrażenie, a wyrażenia te można zagnieżdżać. Dzięki tej iteracji Fitzpatrick opracował również zestaw dwudziestu dziewięciu lekcji opartych na matematyce, choć w skondensowanych, szkieletowych formach, które wykorzystywały tę notację do nauczania wszystkiego, od liczenia po proste zmienne struktury. Co ważne, te lekcje wprowadzają notację lambda, która sprawia, że program jest dość trudny do odczytania dla człowieka, ale mimo to jest zapisem wysoce ekspresyjnym, oprócz stosunkowo wyrafinowanego MUD, który jest zasadniczo zbiorem stwierdzeń tworzących świat złożony z rzeczy które zachowują się jak miejsca i ludzie. Na przykład w tej iteracji MUD postać robota przemierza różne pokoje i przestrzenie, takie jak korytarz, kuchnia, trawnik przed domem i sypialnia. W tym momencie program był na tyle wyrafinowany, że „wprowadził język do mówienia o tym, co dzieje się w symulowanym świecie i zaczął odchodzić od [] szczegółowego mechanizmu”, ale jak zauważa Fitzpatrick, nie jest wystarczająco rozwinięty, byłoby to jeszcze bardzo zrozumiałe dla odbiorcy. Ideą Cosmic OS jest to, że zaczynając od prostej matematyki, można zbudować język programowania, który może symulować interaktywne środowisko wirtualne dla pozaziemskiej inteligencji. W zasadzie tak bogate środowisko pozwala istotom pozaziemskim manipulować programem, aby uzyskać lepszy obraz społecznych i behawioralnych właściwości Ziemi, którzy wysłali wiadomość. Poza tym odbiorca mógłby również przyrzeć się kodowi źródłowemu symulacji, który dostarczyłby bogatego tekstu do zrozumienia logicznych imperatywów symulowanych postaci i wglądu w ludzkie poznanie. Cosmic OS reprezentuje unikalne podejście do konstruowania wiadomości międzygwiazdowych, ale kilka trudności w języku nadal wymaga uwagi. Na przykład konieczne jest znalezienie najlepszego sposobu zakodowania wiadomości jako sygnału fizycznego, a także przetestowania jej odporności na zakłócenia. Fitzpatrick wciąż jest w trakcie opracowywania symulacji i alternatywnych wprowadzeń do języka, przy czym idea alternatywnych wyjaśnień komunikatu zwiększa szansę, że odbiorca go zrozumie. W tym celu Fitzpatrick bada zastosowanie dwuwymiarowych obrazów obwodów logicznych, które mogą być zawarte w wiadomości jako alternatywne wyjaśnienia jądra systemu operacyjnego

DNA JAKO KOD WYKONYWALNY

Gdyby kosmici mieli odwiedzić Ziemię i poznać jej mieszkańców, czy byliby zaskoczeni tak różnorodnym życiem, które łączy wspólny kod genetyczny, czy też byłoby to aż nazbyt znajome? Istnieje prawdopodobna przyczyna, by przypuszczać, że struktura materiału genetycznego jest taka sama w całym wszechświecie i że chociaż może to spowodować powstanie form życia niespotykanych na Ziemi, różnorodność gatunków jest zasadniczo ograniczona przez ograniczenia wbudowane w genetykę. mechanizm. Jeśli możemy na chwilę powrócić do tematu wysłania kota przez przestrzeń międzygwiazdową, czy to może być tak, że najlepszą opcją jest przesłanie kodu genetycznego kota? Na Ziemi zsekwencjonowaliśmy tylko genomy niewielkiego odsetka żywych organizmów i dopiero niedawno zakończyliśmy tworzenie ludzkiego genomu. Udało nam się sklonować kilka zwierząt, ale techniczne i etyczne przeszkody uniemożliwiają naukowcom robienie tego samego z ludźmi, chociaż techniczne bariery w tym dążeniu szybko ulegają erozji. Jeśli jednak cywilizacja pozaziemska nie jest obciążona dylematami etycznymi dotyczącymi klonowania, wysłanie kodu genetycznego dla ludzi i

innych gatunków może być najskuteczniejszym sposobem nauczania ich o naszej biologii. Odniesienia do naszego składu genetycznego były cechą przekazów międzygwiazdowych od samego początku. Chociaż pierwsze geny nie zostały zsekwencjonowane przez następne trzy lata, wiadomość z Arecibo z 1974 r. zawierała prymitywną bitmapę helikalnej struktury DNA. Ćwierć wieku później obie wiadomości Kosmicznego Zewu zawierały symbole dla każdego z czterech nukleotydów DNA. Jednak do tej pory tylko jedna transmisja międzygwiazdowa zakodowała jakąkolwiek informację genetyczną. Aby upamiętnić trzydziestą piątą rocznicę przesłania z Arecibo, artysta Joe Davis udał się do Puerto Rico, aby nadać sekwencję genetyczną dużej podjednostki cząsteczki oksygenazy karboksylazy rybulozo-1,5-bisfosforanowej (RuBisCO). RuBisCO jest najbardziej rozpowszechnionym białkiem na Ziemi i odgrywa główną rolę w przekształcaniu atmosferycznego dwutlenku węgla w cząsteczki bogate w energię dla roślin. Aby zakodować tę informację genetyczną w sygnale, Davis najpierw rozważył przedstawienie każdego z 1434 nukleotydów z dwubitowym identyfikatorem (C = 00, T = 01, A = 10, G = 11), aby utworzyć 2868-bitową sekwencję reprezentującą Cząsteczka RuBisCO. Problem z tym oczywiście polega na tym, że nie ma wystarczającej ilości informacji, aby zastosować techniki analizy, takie jak te opisane powyżej przez Elliotta. Zatem żadna ETI, która otrzymała tę wiadomość, nie miałaby możliwości określenia schematu kodowania użytego do utworzenia wiadomości, który byłby zasadniczo niezrozumiałym bałaganem danych. Na dobre lub na złe jest mało prawdopodobne, aby jakiegokolwiek istoty pozaziemskiej kiedykolwiek otrzymały, a tym bardziej zrozumiały, przesłanie Davisa. Żadna z gwiazd wybranych przez Davisa nie została potwierdzona jako gospodarz planet, a dwie z gwiazd docelowych prawdopodobnie nie są w stanie podtrzymywać życia, nawet jeśli tak. GJ 83.1 to rozbłyskowa gwiazda, rodzaj karła znanego z okresowych wybuchów intensywnego promieniowania, a gwiazda Teegardena jest czerwonym karłem, typem gwiazdy, która jest powszechnie uważana za zbyt chłodną, aby podtrzymywać życie, chyba że planeta była tak blisko gwiazdy że zostanie zablokowany pływowo, co oznacza, że połowa planety będzie w wiecznej nocy. Nawet jeśli wokół którejkolwiek z trzech „gwiazd RuBisCO” znajdują się inteligentni mieszkańcy, szanse na to, że byłiby w stanie zinterpretować przesłanie Davisa, są dość niskie, biorąc pod uwagę brak kontekstu lub nadmiarowość, aby skorygować uszkodzenie wiadomości podczas tranzytu. Davis był pierwszym, który przyznał, że jego międzygwiazdowa wiadomość była przeznaczona bardziej dla innych pasażerów statku kosmicznego na Ziemi niż dla istot pozaziemskich, ale ten wyczyn wskazuje drogę do obiecującej przyszłości dla METI. W ciągu ostatnich kilku dekad biolodzy zsekwencjonowali genomy tysięcy gatunków, w tym ludzi. W rzeczywistości są to „plany” dla gatunku, ale dopiero zaczynamy się uczyć, jak czytać kod. Dostatecznie zaawansowana inteligencja pozaziemska mogła rozwinąć inżynierię genetyczną do tego stopnia, że genomy są odpowiednikiem wykonywalnego programu komputerowego, który pozwoliłby im sztucznie odtworzyć człowieka i inne gatunki lądowe we własnych laboratoriach. Zakłada się, że istoty pozaziemskie są zbudowane z tego samego „materiału” genetycznego, co życie na Ziemi, ale jak zobaczymy później, nie jest to tak duże założenie, jak się początkowo wydaje. Jeśli międzygwiazdowej wiadomości DNA zostanie dołączona instrukcja, która wyjaśnia jej zawartość i parametry środowiskowe niezbędne do przetrwania organizmu, marzenie Minsky'ego o wysłaniu kota przez kosmos może równie dobrze stać się rzeczywistością.

CZY ISTNIEJE JĘZYK WSZECHŚWIATA?

Podstawową trudnością, jeśli chodzi o METI, jest znalezienie wspólnej płaszczyzny między nami a innymi inteligentnymi istotami, o których nie możemy nic wiedzieć z absolutną pewnością. Ta wspólna płaszczyzna byłaby podstawą prawdziwie uniwersalnego języka, który mógłby być zrozumiany przez każdą inteligencję, czy to w Drodze Mlecznej, Andromedzie, czy poza kosmicznym horyzontem. Zgodnie z naszą najlepszą wiedzą, prawa fizyki są takie same w całym wszechświecie, co sugeruje, że fakty naukowe mogą służyć jako odpowiednia podstawa do wzajemnego zrozumienia między ludźmi a pozaziemską inteligencją. Pierwszym systemem symbolicznym zaprojektowanym specjalnie do

komunikacji międzygwiazdowej i opartym na faktach naukowych była Astraglossa, po raz pierwszy zaproponowana przez zoologa doświadczalnego Lancelota Hogbena pod koniec lat pięćdziesiątych. Chociaż nasi „pozaziemscy sąsiedzi” prawdopodobnie nie zrozumieją żadnego z naszych naturalnych języków, Hogben argumentował, że jest to sytuacja, która nie jest całkowicie nieznaną Ziemi. Na Ziemi mówi się około siedmiu tysięcy żywych języków i dialektów, co stanowi różnorodność językową, która często utrudnia komunikację. Niemniej jednak, niektóre aspekty języka są szeroko rozpowszechnione w grupach językowych i to właśnie te „wspólne pola semantycznego odniesienia”, jak sugerował Hogben, mogą stanowić podstawę dla międzygwiazdowego przekazu. Najbardziej oczywistym wyborem pod tym względem są liczby naturalne, które można znaleźć w każdej grupie językowej na Ziemi. (Z wyjątkiem Pirahã, języka odizolowanych mieszkańców Pirahã w brazylijskiej Amazonii, który nie obejmuje liczb). Drugi to zdarzenia niebiańskie, takie jak fazy księżyca lub pozycja planet na niebie. Zatem Hogben zasugerował, że międzygwiazdowy przekaz powinien być zaprojektowany w taki sposób, że „liczby będą początkowo naszym wspólnym idiomem wzajemnego rozpoznawania... [i], a astronomia będzie tematem naszych pierwszych faktycznych rozmów”. Hogben sformułował swój projekt Astraglossa jako ćwiczenie ezoteryczne w autodydaktyce. Biorąc pod uwagę wyjątkowe ograniczenia związane z komunikacją międzygwiazdową, eksperyment myślowy postawiony przez Astraglossę może nas wiele nauczyć o tym, jak się uczymy. W rzeczywistości Hogben postrzegał swój kosmiczny język jako próbę nauczania istot pozaziemskich, jak nas uczyć. W przeciwieństwie do „żeglarza rozbitków [który] uczy się żargonu Wysp Karoliny Północnej”, wskazując przedmioty, aby nauczyć się podstaw języka, Hogben zdał sobie sprawę, że astronom próbujący komunikować się z istotami pozaziemskimi musi najpierw opracować system, który pokazuje, jak wskazywać na rzeczy. Hogben porównał dylemat interpretacyjny, przed którym stanął pozaziemski odbiorca wiadomości zakodowanej w Astraglossie, do tego, przed którym stanęli pierwsi Europejczycy, którzy zetknęli się z cywilizacją Majów w XVI wieku. W przeciwieństwie do europejskiego systemu dziesiętnego, Majowie używali systemu liczb dwudziestkowych składających się z ułożonych w stos kropek i myślników. Pomimo obcości tego systemu łączył on jednak kilka podstawowych elementów składniowych, które umożliwiały interpretację: iteracja, kolejność rang i luka. Jak zauważył Hogben, te elementy składniowe można przetłumaczyć na jednowymiarowy (czasowy) środek komunikacji, taki jak sygnał radiowy, i można rozsądnie założyć, że są zrozumiałe niezależnie od konkretnego systemu liczbowego używanego przez pozaziemską inteligencję. Tak więc system notacji Astraglossa używa „kreski i kropki”, analogicznych do długich i krótkich impulsów radiowych, do przekazywania podstawowych zasad matematycznych. Prototypowy przekaz międzygwiazdowy Hogbena rozpoczyna się od wprowadzenia pojęcia tożsamości i podstawowych operatorów arytmetycznych i buduje system od tych podstawowych komponentów do punktu, w którym można je wykorzystać do opisu wydarzeń na niebie i innych złożonych tematów. Aby przekazać te idee, Hogben wprowadza pojęcie „radioglifów” lub grup pojedynczych sygnałów, które są „rozpoznawalne jako gestalt”. Aby omówić niebiańskie wydarzenia z istotami pozaziemskimi, należałoby sporo dowiedzieć się o tym, jak kosmiczne środowisko pojawiłoby się z perspektywy istot pozaziemskich. W czasie, gdy Astraglossa została opublikowana, astronomowie nie odkryli jeszcze żadnych egzoplanet krążących wokół innych gwiazd, więc Hogben uznał komunikację z Marsjanami za hipotetyczny przykład jego systemu w praktyce. Najpierw wymagałoby to od astronomów naziemnych skonstruowania kalendarza odniesienia dla wydarzenia, takiego jak wschód lub zachód słońca na Marsie, w odniesieniu do pewnego stałego punktu. Z tego ustalonego punktu odniesienia można by omówić wydarzenia niebieskie, takie jak koniunkcja Ziemi i Wenus, z punktu widzenia Marsjan. W tym momencie można sobie wyobrazić wykorzystanie tych punktów odniesienia do konstruowania coraz bardziej złożonych pomysłów i ostatecznie Ziemi i Marsjanie mogą przekazywać informacje o swoich planetach, takie jak skład skorupy planety, jej masa lub średnica. Ta sama podstawowa idea miałaby zastosowanie do wszelkich istot pozaziemskich, które mogą istnieć na setkach odkrytych do tej pory egzoplanet. Astronomowie

mogą wiele powiedzieć o wielu z tych egzoplanet, na przykład o ich nachyleniu orbitalnym, masie, a także o następnej generacji teleskopów do polowania na planety w przestrzeni kosmicznej, być może nawet o szczegółach, takich jak skład atmosfery planety. Po omówieniu niebiańskich wydarzeń, Hogben zasugerował, że międzygwiazdne przesłania mogą przejść do nauczania powołanych, takich jak „my” lub „ty”. W ten sposób Hogben zdołał wzmocnić swoją składnię, tak aby była w stanie przekazywać nie tylko zapytania, twierdzenia i negacje, ale także wątpliwości, warunki i związki przyczynowe. W tym momencie argumentował, że w zasadzie możliwe byłoby rzucenie istot pozaziemskich na grę w kosmiczne szachy, aby „odwrócić część godnej ubolewania bojowości naszego gatunku poprzez nagrywanie międzyplanetarnych turniejów, aby wiadomości międzynarodowe nie trafiały na pierwsze strony gazet”. Pomijając humor, Hogben zdał sobie sprawę, że jego język ograniczył tematy naszej komunikacji kosmicznej do gier i nauk przyrodniczych. Pod tym względem Astraglossa była niesamowicie zubożała. Przypuszczalnie pozaziemski odbiorca wiadomości zakodowanej z Astraglossą chciałby dowiedzieć się czegoś o indywidualnym doświadczeniu inteligencji, która stworzyła wiadomość. W tym celu Hogben uzupełnił swój radiowy leksykon radioglifem, który miał przekazać pojęcie „ego”. Wprowadzając tę koncepcję indywidualności, Hogben umożliwił przekazanie kilku pomysłów na temat naszych cech fizycznych, biologicznych mechanizmów organizmu i tego, co to znaczy umierać. Mimo całej swojej pomysłowości Astraglossa była obciążona fatalną wadą: zakładała wzajemność. Chociaż zestaw teleskopów do polowania na egzoplanety ujawnił, że w naszej galaktyce jest prawdopodobnie znacznie więcej planet niż gwiazd, SETI nie znalazło jeszcze żadnych wskazówek, że na tych egzoplanetach żyją inteligentne formy życia. Ponieważ poszukiwania pozaziemskiej inteligencji rozciągają się na coraz bardziej odległe zakątki galaktyki, wydaje się, że jeśli usłyszymy od pozaziemskiej istoty, wiadomość ta prawdopodobnie będzie podróżować przez kosmos przez setki, jeśli nie tysiące lat. Chociaż niekoniecznie wyklucza to odpowiedź, związane z tym skale czasowe są tak długie, że sprawia, że Astraglossa jest szalenie nieefektywnym systemem, ponieważ może przekazać tylko kilka podstawowych faktów matematycznych i naukowych bez wzajemności. Tak więc, chociaż przekazywanie pojęć matematycznych i wiedzy astrofizycznej wydaje się być dobrą podstawą dla międzygwiazdowego przekazu, jego użyteczność zależy w dużej mierze od stopnia, w jakim komunikat interpretuje się samodzielnie. Idealnie byłoby, gdyby pozaziemski odbiorca był w stanie go rozszyfrować bez wysyłania nam odpowiedzi i oczekiwania na informację zwrotną. W 1990 roku matematyk Carl DeVito i lingwista Richard Oehrle przedstawili propozycję międzygwiazdowego systemu komunikacji „opartego na fundamentalnych faktach naukowych”. Przekaz byłby samowystarczalny i wyeliminowałby potrzebę przekazywania wielu informacji na temat samego języka, zanim zaczęłyby przekazywać interesujące lub użyteczne informacje, oszczędzając w ten sposób dwa najcenniejsze towary w komunikacji międzygwiazdowej: czas i przepustowość. Ten naukowy język zakłada, że istoty pozaziemskie będą miały silne pojęcie o zasadach naukowych, ponieważ przede wszystkim muszą być w stanie manipulować promieniowaniem elektromagnetycznym, aby otrzymać wiadomość. Wiadomość zakodowana za pomocą tego systemu symbolicznego miałaby się rozpoczynać prawdopodobnie od udostępnienia wiedzy naukowej komunikować notacją liczb, operatorów logicznych, pierwiastków chemicznych i naszych podstawowych jednostek miary. Po tej podstawowej lekcji notacji naziemnej system może być użyty do przekazywania precyzyjnych i interesujących informacji. Na przykład fakt, że żyjemy na planecie, jest raczej nieciekawym, ale informacje o masie, atmosferze lub prędkości orbitalnej tej planety prawdopodobnie zainteresowałyby pozaziemskiego odbiorcę. DeVito i Oehrle przewidzieli, że wiadomość ta będzie przekazywana w szeregu etapów, w których istoty pozaziemskie najpierw otrzymają zarys zapisu liczbowego i logicznego, zanim przejdą do chemii, fizyki i tak dalej. Chociaż kontynuowanie dyskusji na coraz bardziej złożone tematy w danej dziedzinie, czy to matematyki, czy chemii, byłoby stosunkowo proste, prawdziwym wyzwaniem byłoby przejście między dziedzinami (tj. Od podstawowej matematyki do chemii). Aby to zrobić, fakty naukowe, które można uznać za uniwersalne, takie jak masa atomowa pierwiastka, posłużyłyby jako

„łącza” do komunikacji faktów, które mogą być unikalne dla Ziemi, takie jak temperatura wrzenia wody. Jak jednak możemy być pewni, że język oparty na faktach naukowych będzie odpowiedni do nawiązania komunikacji z pozaziemską inteligencją? Przecież nasze nauki wyglądały zupełnie inaczej jeszcze sto lat temu, kiedy ogólna teoria względności była jeszcze tylko błyskiem w oku Einsteina, a struktura atomu została pomyślana w oparciu o model Bohra. Gdyby na przełomie XIX i XX wieku Ziemia wysłała wiadomość złożoną z faktów naukowych do istot pozaziemskich, jej odbiorcy mogliby zignorować przesłanie od takiej naukowo ignorującej cywilizacji. Co więcej, skale czasowe związane z wzajemną komunikacją międzygwiazdową będą najprawdopodobniej mierzone w stuleciach, jeśli nie tysiącletniach, więc musimy rozważyć, jak bardzo nasza wiedza naukowa rozwinie się między wysłaniem wiadomości a otrzymaniem odpowiedzi. Sugeruje to, że możemy chcieć poszukać czegoś bardziej fundamentalnego niż fakty naukowe jako podstawy międzygwiazdowego przekazu.

CZY OBCY ZROZUMIE NASZĄ MATEMATYKĘ?

Jeśli nauka jest procesem systematycznego opisywania wszechświata, to język nauki jest przez analogię językiem wszechświata. Jest to obserwacja tak stara jak sama współczesna nauka i być może najbardziej zwięźle podsumowana przez Galileusza w *The Assayer*, jego podstawowym traktacie o metodzie naukowej. „Ta wspaniała księga, wszechświat, jest nieustannie otwarta dla naszych oczu” - napisał Galileo. „Ale książki nie można zrozumieć, jeśli najpierw nie nauczy się rozumieć języka i czytać litery, z których została napisana. Jest napisany językiem matematyki, a jego postaciami są trójkąty, koła i inne figury geometryczne, bez których po ludzku nie sposób zrozumieć ani jednego słowa. Pogląd, że matematyka jest językiem wszechświata, prześladował rozwój nauki od czasu wystąpienia Galileusza i był źródłem zdumienia dla najwybitniejszych myślicieli naukowych w historii. Zagadkę tę wymownie opisał Albert Einstein, który zastanawiał się: „Jak to możliwe, że matematyka, będąca wytworem myśli ludzkiej, która jest niezależna od istnienia, tak doskonale pasuje do obiektów rzeczywistości fizycznej?” Ostatecznie pytanie to dotyczy ontologicznego statusu matematyki i ma ogromne konsekwencje dla projektowania wiadomości dla pozaziemskich inteligencji. Jeśli matematyka istnieje niezależnie od ludzkiego umysłu, to jest idealnym kandydatem na międzygwiazdową wiadomość, która byłaby natychmiast zrozumiała dla pozaziemskiego odbiorcy. Jeśli jednak matematyka jest ludzkim wynalazkiem, to czy jest jakiś powód, by przypuszczać, że byłaby zrozumiała dla istot pozaziemskich? „Nieuzasadniona skuteczność” matematyki, jeśli chodzi o opisywanie fizycznego wszechświata, od dawna była uznawana za dowód istnienia abstrakcyjnych obiektów matematycznych, z perspektywy znanej jako matematyczny platonizm. Według platonistów matematyka istniałaby niezależnie od tego, czy w pobliżu byłyby jakieś umysły - ludzkie lub inne - które by ją dostrzegały, ponieważ matematyka jest dosłownie częścią wszechświata i nadaje mu racjonalną strukturę. Z tego punktu widzenia matematyka jest czymś, co jest odkrywane, a nie wynalezione. Niemal każdy program komunikacji międzygwiazdowej milcząco przyjmuje matematyczny platonizm jako zasadę działania, co raczej nie jest zaskakujące, biorąc pod uwagę nieproporcjonalną reprezentację matematyków pracujących nad problemami komunikacji międzygwiazdowej i silne poparcie dla matematycznego platonizmu w całej dyscyplinie. To stanowisko filozoficzne usprawiedliwia matematykę jako punkt wyjścia dla międzygwiazdowych wiadomości, ponieważ ludzie i istoty pozaziemskie dzielą wszechświat, a zatem „czytają tę samą książkę”, nawet jeśli język symboliczny, którego używamy do omawiania tej książki, może być zupełnie inny. Z tej perspektywy METI można w dużej mierze scharakteryzować jako ćwiczenie translacyjne - międzygwiazdny przekaz nie uczy istoty pozaziemskiej o liczbach, ale o liczbach. Rozważmy język DeVito i Oehrla oparty na podstawowych faktach naukowych, które zakładają, że kosmici znają liczenie. Jak argumentował DeVito, chociaż istnieje kilka filozofii matematyki, „cała matematyka może opierać się na pojęciu liczby naturalnej”, a w konsekwencji „cała nasza matematyka może być w zasadzie przekazana każdemu inteligentnemu kosmicie, który rozumie te liczby”. Podejście DeVito do filozofii matematyki niweluje

przepaść między „skrajnymi platonikami” a formalistami. Platoniści twierdzą, że wszystkie przedmioty matematyczne naprawdę istnieją niezależnie od naszego umysłu i dlatego można je odkryć tak samo, jak archeolog odkrywa ruiny starożytnego miasta, podczas gdy formaliści charakteryzują matematykę bardziej jak grę, w którą gra się zgodnie z zestawem dobrze określonych zasady. W tym ostatnim ujęciu obiekty matematyczne istnieją tylko dzięki swoim zastosowaniom; moglibyśmy powiedzieć, że jest trzech ludzi lub siedem pomarańczy, ale liczby trzy i siedem nie istnieją niezależnie od naszego umysłowego zastosowania tych pojęć. Z tego punktu widzenia matematyka jest w praktyce ćwiczeniem polegającym na manipulowaniu symbolami z natury pozbawionymi znaczenia według ustalonych reguł. Konsekwencją tego poglądu jest to, że można sobie wyobrazić, że pozaziemska inteligencja nie ma pojęcia liczby trzy lub siedem, podobnie jak wiele starożytnych społeczeństw ludzkich nie miało pojęcia zera lub że ich zasady manipulowania obiektami matematycznymi są zupełnie inne niż nasze własne. Stanowisko formalistyczne niekoniecznie wyklucza jednak komunikację międzygwiazdową, ale sugeruje, że matematyka może nie być odpowiednim punktem wyjścia dla przekazu, ponieważ „reguł gry” należy najpierw nauczyć odbiorcę. DeVito zapożycza się z obu filozofii matematycznych, ponieważ uważa, że liczby naturalne istnieją niezależnie od umysłu, nawet jeśli reszta obiektów matematycznych może być wyrażnie ludzką osobliwością. Jeśli jest tak, że liczby naturalne służą jako podstawowa rzeczywistość dla ludzkiego świata fantazji obiektów matematycznych, to DeVito przyznaje, że matematyka „może bardziej odzwierciedlać nasze umysły, niż nam się wydaje i może mówić więcej o ludzkiej naturze niż o prawdziwy świat”. W istocie istnieje dobry powód, by podejrzewać, że nasze preferencje dotyczące liczb całkowitych są wynikiem ograniczeń ludzkiego umysłu; Istota pozaziemska z silniejszą pamięcią krótkotrwałą może nie preferować liczb naturalnych od, powiedzmy, liczb irracjonalnych. Jednym z głównych problemów pojęciowych matematycznego platonizmu jest to, w jaki sposób ludzki umysł może poznać matematykę, jeśli przedmioty tej dyscypliny istnieją jako niezależne abstrakcyjne byty na jakiejś płaszczyźnie metafizycznej. Innym poważnym wyzwaniem jest to, że nie ma podstaw empirycznych dla twierdzenia, że matematyka jest częścią struktury fizycznego wszechświata. Podobnie jak twierdzenia o istnieniu Boga, jest to propozycja, której nie można naukowo przetestować. Tak więc, chociaż matematyka okazała się nieracjonalnie użyteczna w naukach przyrodniczych, wyjaśnienie platonistów, dlaczego tak się dzieje, jest nienaukowe. Jednak odrzucenie matematycznego platonizmu nie przybliży nas do zrozumienia, czym właściwie jest matematyka, co ma kluczowe znaczenie dla projektowania międzygwiazdowych wiadomości. Na przełomie XIX i XX wieku formalizm i intuicjonizm wyłoniły się jako wiodące krytyki matematycznego platonizmu. Formalizm odrzucał niezależne istnienie obiektów matematycznych i uważał matematykę za grę, w której bezsensowne znaki są manipulowane zgodnie z ustalonymi regułami lub formalizmami. Chociaż formalistyczny program został ostatecznie zdemontowany przez Gödela, który udowodnił, że każdy wystarczająco rozwinięty system formalny może stworzyć stwierdzenie, którego nie można udowodnić w tym systemie, formalizm położył podwaliny pod obliczenia cyfrowe i posłużył jako podstawa dla pierwszego języka programowania. Jeśli chodzi o komunikację międzygwiazdową, *lingua cosmica* drugiej generacji Alexandra Ollongrena opiera się na formalizmach rachunku lambda i rachunku indukcji konstruktywnych, które są używane jako metajęzyk do interpretacji podstawowego tekstu. Takie formalizmy są atrakcyjnym kandydatem do międzygwiazdowych wiadomości, ponieważ terminami można manipulować na ślepo bez zrozumienia ich znaczenia, o ile istoty pozaziemskie rozumieją zasady logiki, które służą jako fundamenty systemu. Z drugiej strony, intuicjonizm odrzuca również ontologiczną konieczność abstrakcyjnych obiektów matematycznych i zakłada, że matematyka jest „beżjęzykowym” wytworem ludzkiego umysłu. Z tego punktu widzenia matematyka jest czysto umysłową konstrukcją, która wywodzi się z naszego doświadczenia czasu. W zakresie, w jakim systemy symboliczne są używane w matematyce, ma to na celu jedynie przekazanie tych konstrukcji umysłowych innemu umysłowi. Ważną implikacją intuicjonizmu Brouwera jest pogląd, że stwierdzenie jest prawdziwe tylko na podstawie dowodu, który służy do konstruowania przedmiotowego

przedmiotu matematycznego. Ta intuicjonistyczna logika wytyczyła drogę algorytmicznym weryfikatorom dowodów, które mogą tworzyć dowody, które są zbyt skomplikowane, aby kiedykolwiek były zrozumiałe dla ludzkiego umysłu, a także jest podstawą lingua Ollongrena, co pozwala systemowi na samodzielną interpretację. Chociaż formalizm matematyczny i intuicjonizm odegrały znaczącą rolę w rewolucji komputerowej, brakuje im możliwości wyjaśnienia, czym jest matematyka i dlaczego jest tak skuteczna w opisywaniu świata fizycznego. Dopiero pojawienie się obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (MRI) w latach siedemdziesiątych XX wieku umożliwiło dokonanie prawdziwie naukowego postępu w kierunku odpowiedzi na to pytanie. Uzbrojeni w bezprecedensowy dostęp do struktur neuronowych, które leżą u podstaw naszego doświadczenia umysłowego, neuronaukowcy poznawczy zaczęli tworzyć podwaliny pod to, co ostatecznie stało się teorią matematyki ucieleśnione. Ta rewolucja w technologiach obrazowania mózgu doprowadziła do jednoznacznego wniosku: nasze poznanie kształtują doświadczenia cielesne. Sama struktura naszego mózgu jest zoptymalizowana, aby umożliwić naszym ciałom efektywną interakcję ze światem wokół nas, co sugeruje, że nasz wcielony umysł jest pomostem między matematyką a światem fizycznym. Zdolności matematyczne są w bardzo ograniczonym stopniu wrodzone. Niemowlęta ludzkie, wraz z wieloma innymi zwierzętami, w tym szczurami i szympanсами, wykazały zdolność liczebności lub zdolności rozróżniania wielkości grup obiektów, które nie zostały policzone. Jednak zdolność liczenia jest daleka od umiejętności wykonywania rachunku różniczkowego lub trygonometrii, talentów, które posiadają tylko dorośli ludzie. Pytanie, w jaki sposób ludzkie niemowlęta przechodzą od wrodzonych zdolności matematycznych, które są wspólne z innymi gatunkami zwierząt, do złożonej matematyki, jest pytaniem naukowym, które można zbadać, badając neuronalne i poznawcze podstawy idei matematycznych. Núñez i Lakoff argumentują, że idee matematyczne są w dużym stopniu zależne od metafory pojęciowej, której ludzie używają do myślenia o abstrakcyjnych ideach w konkretnych terminach. Z technicznego punktu widzenia metafora pojęciowa jest mechanizmem poznawczym, który implementuje „ugruntowane, zachowujące wnioskowanie mapowanie międzydomenowe”, które pozwala nam „używać struktury wnioskowania jednej domeny pojęciowej (powiedzmy, geometrii) do wnioskowania o innej (powiedzmy, arytmetyce).” Według Lakoffa i Núñeza ludzie mają wrodzoną zdolność tworzenia metafor, a matematyka jest ugruntowana w rzeczywistości poprzez cztery podstawowe metafory pojęciowe, które są zapożyczone z codziennego doświadczenia niemowlęcia, a mianowicie: zbieranie przedmiotów, konstrukcja obiektu, mierzenie patyków i ruch wzdłuż linii. Każda z tych czterech metafor uziemienia może wywodzić się z wrodzonej arytmetyki, która jest demonstrowana przez kilka gatunków zwierząt i noworodków w połączeniu z bezpośrednio przeżywanym doświadczeniem niemowlęcia. Mimo że ich zdolności arytmetyczne są ograniczone do około trzech lub czterech obiektów, obiekty te można grupować w kolekcje, łączyć w nowy obiekt, fizycznie segmentować i przemieszczać w przestrzeni. Te doświadczenia są mapowane na dziedzinę liczby, która jest zbudowana przez wrodzoną zdolność niemowlęcia do subitalizacji (zdolność rozpoznawania niewielkiej liczby obiektów bez liczenia ich indywidualnie). Co więcej, każdą z tych czterech metafor uziemienia można łączyć (na przykład konstrukcja obiektu obejmuje również gromadzenie obiektów). Skutkuje to połączeniami neuronowymi utworzonymi przez koaktywację obszarów mózgu, które charakteryzują te bezpośrednio doświadczenia i tworzy poznawczą strukturę izomorficzną, która jest „niezależna od samych liczb i nadaje stabilność arytmetyce”. Kiedy cztery metafory uziemienia są przypisane do dziedziny liczby, stanowią podstawę dla praw arytmetyki, które można następnie łączyć, tworząc coraz bardziej abstrakcyjne i złożone idee matematyczne. Na przykład możliwość dodania elementu fizycznego do innej grupy elementów fizycznych lub wyjęcia elementu z kolekcji metaforycznie oddaje matematyczne idee skojarzenia i zdolność do skonstruowania obiektu, powiedzmy, z klocków Lego, zapewnia metaforyczny podstawa pojęcia ułamków i tak dalej. To metaforyczne połączenie naszych doświadczeń związanych ze zbiorami, strukturą obiektów, manipulacją segmentami fizycznymi i

doświadczeniem ruchu, według Lakoffa i Núñeza, jest „podstawą połączenia między arytmetyką a światem, którego doświadczamy i w nim funkcjonować”. W istocie „stanowi podstawę wyjaśnienia, dlaczego matematyka „działa” na świecie”. Program matematyki ucieleśnionej opisany przez Lakoffa i Núñeza jest podobny do rewolucji poznawczej w językoznawstwie, która ustanowiła związek między władzą języka a jego fizyczną implementacją w mózgu. Specyfika gramatyczna języków naturalnych jest w dużej mierze wynikiem okoliczności historycznych, ale zdolność do posługiwania się językiem jako takim jest wrodzona. Podobnie, forma, jaką przyjmuje nasza matematyka, nie jest arbitralna, nawet jeśli pojawienie się pewnych form matematyki jest wytworem okoliczności historycznych. Matematyka, którą znamy na Ziemi, jest raczej stworzeniem ludzkich umysłów jako rozwiązania problemów wynikających ze szczególnego sposobu ucieleśnienia naszego umysłu. Na przykład, że system dziesiętny jest obecnie najpowszechniej stosowanym zapisem liczbowym na Ziemi, jest prawdopodobnie związany z faktem, że ludzie mają dziesięć cyfr. Istota pozaziemska z dziesięcioma palcami na dłoń może uznać za bardziej naturalne operowanie przy użyciu systemu dwudziestkowego opracowanego przez Azteków. Chodzi jednak o to, że niezależnie od tego, czy jest to system liczb binarnych, dziesiętnych, czy sześćdziesiętnych, są to metaforyczne koncepcje liczb. Ważnym pytaniem, jeśli chodzi o konstrukcję międzygwiazdnych wiadomości, jest to, czy możemy oczekiwać, że istoty pozaziemskie będą miały ucieleśnione istnienie podobne do naszego i czy możemy oczekiwać, że będą zdolni do metaforycznego myślenia. Myślę, że jest dobry powód, aby odpowiedzieć twierdząco na oba pytania, ale zanim przyjrzymy się im szczegółowo, warto byłoby rozważyć podstawę najbardziej rozpowszechnionej obecnie używanej metafory matematycznej, która nawiedza program matematyczny każdej wiadomości, którą zostały wysłane w kosmos: zestawy.

TEORIA SET(I)

W połowie XVII wieku niemiecki polityk Gottfried Leibniz rozpoczął prace nad zarysowaniem projektu systemu symbolicznego, który miałby wyeliminować wszystkie dwuznaczności, które nękały naturalne udręki. Leibniz miał nadzieję, że jego język będzie w stanie wyartykułować pełne spektrum ludzkiej myśli, używając tylko niezbędnych prawd logiki, snu znanego współczesnym architektom międzygwiazdnych wiadomości. Leibniz nie był pierwszą osobą, która podjęła się tego rodzaju projektu i chociaż jego „*characteristica universalis*” nie powiodła się, oznaczało to głęboką poprawę w stosunku do podobnych projektów podejmowanych przez współczesnych. Na przykład John Wilkins i George Dalgarno starali się stworzyć doskonałe języki w oparciu o zbiór prymitywnych elementów, zamiast gromadzić dowolne prymitywne elementy jako podstawę swojego języka, Leibniz zdał sobie sprawę, że tożsamość elementów w jego rachunku różniczkowym nie ma znaczenia. tak bardzo, jak relacje między nimi. To było spostrzeżenie, które poprowadziło George'a Boole'a do „Badania praw myśli” prawie dwa wieki później, co było punktem zwrotnym w projektowaniu formalnych systemów logicznych. Symboliczny rachunek myśli ludzkiej Boole'a skutecznie konceptualizował pojęcie klas jako liczb i operacji na tych klasach jako operatorów arytmetycznych (np. Suma jako dodawanie, przecięcie jako mnożenie i tak dalej). Z perspektywy matematyki ucieleśnionej, za którą opowiadali się Lakoff i Núñez, system Boole'a wykorzystuje metaforę ugruntowania, w której klasy są konceptualizowane jako pojemniki. Innymi słowy, intuicyjnie myślimy o pojęciu klasy jako o grupie obiektów wewnątrz ograniczonego obszaru przestrzeni: te obiekty, które znajdują się w tym regionie, są członkami klasy, a te, które są poza nią, nie są członkami. Logiczny system Boole'a połączył metaforę klas jako pojemników z metaforą liczb jako obiektów, odwzorowanie w dziedzinach matematycznych (klas i arytmetyki), które miało ujawnić algebraiczne prawa myślenia. Boole dodał również własne wynalazki do swojego systemu - puste klasy i klasy uniwersalne - których nie ma w naszej intuicyjnej, „codziennej” koncepcji klas jako kontenerów, ale które są krytyczne dla funkcjonowania algebry Boole'a. Jak na ironię, wynalazki, które pozwoliły systemowi Boole'a działać, były tymi samymi, które uniemożliwiły mu bycie prawdziwym rachunkiem naturalnej myśli ludzkiej. Metaforyczny system Boole'a, w którym

klasy są pojmowane jako liczby, położył podwaliny pod logikę symboliczną i teorię mnogości, która później została uznana za podstawę matematyki jako takiej. Biorąc pod uwagę, że matematyczni platonicy byli skłonni traktować matematykę jako całość wplecioną w samą strukturę wszechświata, wynikało z tego, że sam wszechświat można opisać za pomocą klas, a raczej, bardziej technicznie, zbiorów. Chociaż logika symboliczna i teoria mnogości doprowadziły do wielkich postępów w matematyce na Ziemi, nie ma powodu, aby przypuszczać, że ten system metaforyczny jest uniwersalny. Klasa pusta i klasa uniwersalna nie są naturalną cechą ludzkiego poznania, ale twórczym rozwiązaniem opisanym przez Boole'a, pozwalającym na działanie jego rachunku myślowego. Krótko mówiąc, „nie ma żadnego naukowo uzasadnionego powodu, by sądzić, że fizyczne byty we wszechświecie tworzą podklasę obiektywnie istniejącej klasy uniwersalnej” lub że pusta klasa jest cechą wszechświata i jest podklasą każdej klasy. Teoria mnogości rozwinięta przez Cantora i później aksjomatyzowana przez Zermelo i Fraenkela wykorzystuje bardziej wyrafinowaną wersję klas boolowskich. W algebrze Boole'a klasy mogą być podklasami innych klas, ale nie mogą być członkami tych klas. W aksjomatycznej teorii mnogości klasy mogą być członkami innych klas. Jest to ważne rozróżnienie z perspektywy matematyki ucieleśnionej. Klasy boolowskie mogą nadal przylegać do intuicyjnej metafory „klasy jako kontenery”, w której elementy klasy są pojmowane jako obiekty „w” kontenerze, ale w aksjomatycznej teorii mnogości pojemnik może zawierać siebie i być traktowany jako przedmiot. Ponadto teoria mnogości traktuje puste klasy jako unikalne obiekty, a nie podklasę innej klasy. Jest to całkiem oderwane od naszego codziennego rozumienia zajęć, które jest zakorzenione w naszym doświadczaniu świata jako wcielonych umysłów. Konsekwencją tych zmian konstrukcyjnych jest to, że relacje i funkcje można definiować za pomocą zbiorów. Aby wziąć prosty przykład, rozważ, jak można teraz zdefiniować liczebności w kategoriach zbiorów, których członkami są inne zbiory: pusty zbiór \emptyset można odwzorować na 0, zbiór zawierający pusty zbiór $\{\emptyset\}$ można odwzorować na 1, zbiór zawierający zbiór zawierający pusty zbiór $\{\emptyset, \{\emptyset\}\}$ mapuje na 2, zbiór zawierający zbiór zawierający pusty zbiór $\{\emptyset, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}$ mapuje na 3 i tak dalej. Aksjomatyczna teoria mnogości i logika symboliczna zdominowały matematykę w ciągu ostatniego stulecia do tego stopnia, że wydaje się całkowicie naturalne pojmowanie porządku świata w kategoriach zbiorów i poznania w kategoriach logiki symbolicznej. To jednak pomija krytyczne przejście od metafor ugruntowania, które można rozsądnie założyć, że są dzielone z pozaziemskimi inteligencjami, ponieważ powstają z bezpośrednich doświadczeń w świecie, do metafor łączących, które są twórczym wytworem ludzkich umysłów przeznaczonych do radzenia sobie z ludzkim doświadczeniem. Innymi słowy, bardzo użyteczny wynalazek matematyczny, który spełnia specyficzne potrzeby wcielonej inteligencji ludzkiej, został znaturalizowany do tego stopnia, że uważa się go za cechę samego wszechświata. Konsekwencją tego jest to, że przyjmujemy za pewnik, że istoty pozaziemskie będą dzielić ten schemat pojęciowy, ponieważ zamieszkują ten sam wszechświat. Nie oznacza to, że jest niemożliwe lub nawet mało prawdopodobne, aby istoty pozaziemskie stworzyły funkcjonalnie równoważne logiki symboliczne lub teorie zbiorów. Jest raczej przypomnieniem, że ontologiczny status matematyki jest nadal obszarem aktywnej debaty na Ziemi i dopóki nie będzie możliwe jednoznaczne ustalenie, czym jest matematyka, musimy wystrzegać się ukrytych założeń antropocentrycznych, nawet w najbardziej pozornie uniwersalnych dziedzinach, takich jak matematyka i nauki fizyczne. Ucieleśniona ekstrawagancka inteligencja teorii matematyki ucieleśnionej, oparta na wrodzonej zdolności do metafor, rodzi poważne problemy dotyczące ontologicznego statusu matematyki, które mają bezpośrednie znaczenie dla komunikacji międzygwiazdnej. Jeśli matematyka jest niezależną od umysłu częścią wszechświata, możemy być stosunkowo pewni, że istoty pozaziemskie zrozumieją naszą matematykę. Jeśli są starszą cywilizacją od naszej, być może czytali dalej w wielkiej księdze wszechświata, ale możemy spać spokojnie wiedząc, że czytamy przynajmniej ten sam tekst. Jeśli jednak porzucimy matematyczny platonizm, od razu znajdziemy się na bardziej niepewnym terytorium. Jeśli nasza matematyka jest wytworem wcielonego ludzkiego umysłu, to być może bardziej trafne będzie stwierdzenie, że aktywnie piszemy jedną wersję

wielkiej księgi wszechświata z wyjątkowo ludzkiej perspektywy. Chociaż istota pozaziemska obserwuje ten sam wszechświat, ich interpretacja może się znacznie różnić od naszej własnej, jeśli ich doświadczenie jako wcielonemu umysłu jest wystarczająco różne. Postępy w naukach kognitywnych i neurologicznych ujawniły, jak natura naszego fizycznego kontaktu ze światem - naszym ciałem - wpływa na nasze poznanie. Dlatego warto się zastanowić, czy możemy spodziewać się, że pozaziemska inteligencja będzie miała wiele cech fizycznych z nami, co pomoże określić, czy możemy oczekiwać, że będą mieli podobną matematykę. Pod pewnymi względami byłoby bardziej niepokojące nawiązanie kontaktu z inteligentną cywilizacją pozaziemską zaludnioną przez mięśnie hy, głównie bezwłosych hominidów niż cywilizacja ośmiookich głowonogów, ale taka możliwość nie jest całkowicie wykluczona. Rzeczywiście, jak argumentował astrobiolog Charles Cockell, dowody empiryczne sugerują, że pewne cechy życia są deterministycznie determinowane przez prawa fizyczne. Ekstrapolując z tego, można rozsądnie sądzić, że „na wszystkich poziomach swojej hierarchii strukturalnej obce życie może wyglądać dziwnie podobnie do życia, które znamy na Ziemi”. Argument Cockella jest analogiczny do przypadku przedstawionego przez Minsky'ego, że istoty pozaziemskie będą prawdopodobnie myśleć tak jak my, ponieważ podlegają tym samym podstawowym ograniczeniom fizycznym. Oczywiście naiwnością byłoby sugerowanie, że ewolucja jest całkowicie zdeterminowana prawami fizyki, biorąc pod uwagę znaczącą i oczywistą rolę, jaką przypadek odgrywa na trajektorii ewolucji. Na przykład, badania sugerują, że prawdopodobieństwo uderzenia asteroidy skutkującego globalnym ochłodzeniem, masowym wymieraniem i późniejszym pojawieniem się ssaków było „całkiem niskie” 66 milionów lat temu. To był czysty kosmiczny pech, że asteroida uderzyła w stosunkowo niewielką część powierzchni Ziemi, która była bogata w węglowodory i siarkę, które ostatecznie zatopiły Ziemię stratosferyczną sadzą i aerozolami siarczanowymi. W tym przypadku miejsce uderzenia asteroidy zmieniło historię życia na Ziemi w sposób, którego nigdy nie można było przewidzieć za pomocą deterministycznych praw ewolucyjnych. Chodzi o to, że chociaż trajektorii ewolucji nie da się z góry przewidzieć, różnorodność gatunków, jakie wytwarza, nie jest nieograniczona. Jest to sprzeczne z intuicyjną interpretacją ewolucji darwinowskiej, która sugeruje, że dobór naturalny skutkuje „tendencją gatunków do tworzenia różnorodności” w nieskończonej liczbie. Wręcz przeciwnie, Cockell argumentuje, że „ewolucja jest tylko ogromną i ekscytującą grą zasad fizycznych zakodowanych w materiale genetycznym”, a „ograniczona liczba tych zasad ... oznacza, że finał tego procesu jest również powściągliwy i uniwersalny . ” Weźmy na przykład pod uwagę pojawienie się życia komórkowego na Ziemi. Czy forma komórkowa jest czymś, czego moglibyśmy się spodziewać na planecie pozaziemskiej, czy też organizmy pozaziemskie znalazłyby inny sposób samoorganizacji? W latach 80. biolog David Dreamer użył kwasów karboksylowych wyekstrahowanych ze słynnego meteorytu Murchison, aby wykazać, że te proste cząsteczki spontanicznie tworzą błony komórkowe po dodaniu do wody. Według Cockella sugeruje to, że składniki niezbędne do życia komórkowego są „rozrzucone po całym Układzie Słonecznym w bogatych w węgiel skałach”, co oznacza, że „możemy oczekiwać, że cząsteczki komórkowe utworzą się w każdej pierwotnej chmurze, gotowe do dostarczenia ładunku protokomórki materiał na powierzchnię każdej planety z czekającą obfitością wody ”. Późniejsze eksperymenty wykazały, że meteoryty są dalekie od jedyne go źródła materiału molekularnego, który może tworzyć błony komórkowe, co sugeruje, że ten sposób organizacji jest prawdopodobnie powszechny we wszechświecie. Podobne prawa fizyczne ograniczają też możliwości jeszcze więcej podstawowych aspekty biologii, takie jak struktura DNA. Jedną z najbardziej niezwykłych cech DNA jest to, że składa się tylko z czterech nukleotydów - adeniny, tyminy, cytozyny i guaniny można łączyć tylko w bardzo ograniczony sposób: pary adeniny z tyminą i pary cytozyny z guaniną. Czy fakt, że istnieją tylko cztery nukleotydy lub że łączą się one w dwie pary zasad, jest ewolucyjnym przypadkiem? Czy pozaziemska inteligencja może mieć kod genetyczny zbudowany z sześciu lub więcej nukleotydów i czy te nukleotydy mogą różnić się od czterech, które składają się na DNA życia na Ziemi? Jest to oczywiście możliwość, ale istnieją mocne powody, by sądzić, że jest to mało prawdopodobne. Dodanie większej

liczby nukleotydów do równania zwiększa ilość informacji dostępnych dla systemu i oznacza, że mniejsze cząsteczki mogą zawierać taką samą ilość informacji, jak dłuższe cząsteczki w pulach genetycznych z tylko czterema nukleotydami. Kompromisem jest oczywiście to, że procent zasad, które dany nukleotyd może połączyć z połówkami z każdą parą zasad dodaną do systemu. Na przykład w systemie z dwoma nukleotydami każda zasada może sparować się z połową zasad. W systemie czteronukleotydowym każda zasada może łączyć się tylko z jedną czwartą zasad i tak dalej. Tak więc, argumentuje Cockell, „gdy dodaje się więcej zasad, trudniej jest znaleźć te, które są na tyle niepodobne, aby ułatwić ich rozróżnienie podczas replikacji cząsteczki”, co skutkuje wyższym współczynnikiem błędów. Rzeczywiście, modele komputerowe RNA, molekularnego interfejsu między DNA a podstawowymi białkami, sugerują, że cztery nukleotydy dają największą przydatność. Jeśli chodzi o typy par zasad, badania wykorzystujące syntetyczne nukleotydy w celu zwiększenia liczby par zasad w kodzie genetycznym wykazały, że zamiana tych syntetycznych par zasad z normalnego kodu lub dodanie ich zwykle daje niestabilne wyniki. Jednakże wykazano, że organizmy takie jak bakterie, które mają syntetyczne nukleotydy dodane do rozszerzonego alfabetu genetycznego, są stabilne w rygorystycznych warunkach laboratoryjnych. Wyniki trwających eksperymentów z wieloma możliwymi parami zasad sugerują, że cztery pary zasad, które widzimy w RNA i DNA, są zoptymalizowane, aby spełniały warunki umożliwiające jego replikację, ale także zachowanie jego struktury. Jeśli mózg i jego struktury poznawcze są rzeczywiście zoptymalizowane dla ucieleśnionego doświadczenia organizmu, sugeruje to, że teza Minsky'ego, że istoty pozaziemskie będą myśleć podobnie do nas, jest w końcu niezbyt naciągane. Ekstrapolując z tego, racjonalne jest przekonanie, że istoty pozaziemskie mogą natrafić na podobne idee matematyczne, takie jak teoria mnogości, jeśli ich ucieleśnione istnienie jest wystarczająco podobne do naszego.

W KIERUNKU LINGUA COSMICA

Jeśli mamy zaprojektować przekaz do komunikacji międzygwiazdnej, musimy wziąć pod uwagę silny związek między formą a treścią. Na przykład całkowicie uzasadnione jest przesłanie programu telewizyjnego jako wiadomości, jeśli założymy, że odbiorca ma aparat optyczny, który pozwala mu widzieć w wąskim spektrum światła widzialnego. Jednak samo wysłanie programu telewizyjnego nie wystarczy, jeśli mamy mieć jakąkolwiek nadzieję, że pozaziemscy odbiorcy zrozumieją treść przekazu. Sposób, w jaki obraz telewizyjny jest układany na ekranie jako układ kropek, jest kwestią arbitralnej konwencji - równie dobrze obraz mógłby być ułożony od góry do dołu lub jako spirala wychodząca ze środka ekranu. Zatem, aby odbiorca był w stanie odpowiednio skomponować obraz, ustawić odpowiednią szybkość odtwarzania, zrozumieć proporcje obrazów na ekranie itd., musi istnieć także swego rodzaju „meta-wiadomość”, której funkcja ma przede wszystkim charakter dydaktyczny - to znaczy, jego celem jest nauczenie odbiorcy, jak rozszyfrować główną treść wiadomości. Oczywiście nie możemy użyć programu telewizyjnego do wyjaśnienia, jak skomponować obraz telewizyjny; że tak powiem, meta-wiadomość musi być napisana w innym języku. Można powiedzieć, że zaprojektowanie tego metajęzyka i programu jego prezentacji jest celem „astrolingwistyki”, terminu ukutego przez Alexandra Ollongrena na opisanie tej wyłaniającej się subdyscypliny w dziedzinie METI. Do tej pory podjęto tylko dwie zdecydowane próby zaprojektowania takiego języka: pierwsza między 1957 a 1960 rokiem, Lincos Hansa Freudenthala; a ponad pół wieku później rewizja Ollongrena, oparta na logice konstruktywnej, a nie na arytmetyce. Freudenthal był bardzo zainteresowany pedagogiką matematyczną i był zdecydowany, że edukacja matematyczna musi być zakorzeniona w codziennym doświadczeniu ucznia. W związku z tym trudno się dziwić, że Freudenthal stał się tak zaciekle przeciwnikiem tak zwanej „nowej matematyki”, której nauczano w Stanach Zjednoczonych i całej Europie od wczesnych lat sześćdziesiątych XX wieku. Nowa matematyka kładła nacisk na nauczanie studentów zrozumienia teorii matematyki bez większego kontekstu ani wyjaśnienia, dlaczego taka teoria jest ważna, co, jak mieli nadzieję, zapewniło uczniom głębsze zrozumienie zasad

matematycznych. Takie podejście było jednak powszechnie potępiane w przypadku studentów, którzy „słyszeli o prawie przemienności, ale nie znali tabliczki mnożenia”. Komunikacja międzygwiazdowa jest ekstremalnym przykładem edukacji matematycznej i nie było nikogo bardziej zdolnego niż Freudenthal do podjęcia takiego zadania. Chociaż Freudenthal nie był tego świadomy w tamtym czasie, w tym samym roku, w którym rozpoczął pracę nad Lincos, Lancelot Hogben wygłosił prezentację w Brytyjskim Towarzystwie Międzyplanetarnym na Astraglossie, będącą jego własną próbą zaprojektowania międzygwiazdowego przekazu. Pomimo ich niezależnego rozwoju, Astraglossa i Lincos mają kilka wspólnych cech, chociaż program Freudenthala został opracowany znacznie bardziej szczegółowo. Warto również zauważyć, że w tym samym roku Freudenthal postawił sobie zadanie wymyślenia, jak rozmawiać z kosmitami, Chomsky opublikował *Syntactic Structures*, pierwsza salwa w rewolucji poznawczej w językoznawstwie, w której Chomsky opisał swoją formalną teorię składni znaną jako transformacyjna gramatyka generatywna. Przełomowe badanie Chomsky'ego zostało opublikowane przez holenderską prasę, ale nie jest pewne, czy Freudenthal znał jego treść. Gdyby tak było, wydaje się, że miało to niewielki wpływ na rozwój Lincos. Podczas gdy lingwistyka Chomsky'ego podkreślała znaczenie sformalizowanej składni w tworzeniu języka, Freudenthal nie próbował opracować pełnej składni dla Lincos i unikał formalizacji, gdy tylko było to możliwe. Rzeczywiście, Freudenthal napisał, że jego „celem jest zaprojektowanie języka, który będzie zrozumiały dla osoby niezaznajomionej z żadnym z naszych języków naturalnych ani nawet ich struktur syntaktycznych”. Freudenthal uważał, że można sprostać wyzwaniu komunikacji z istotami pozaziemskimi, które nie znają naszego języka, ponieważ można to porównać do „problemu, który jest codziennie rozwiązywany podczas stosunków z dziećmi i niemowlętami. Udało nam się nauczyć ich naszego języka, chociaż zaczęliśmy od tabula rasa wiedzy leksykologicznej i syntaktycznej”. Chociaż Freudenthal ma z pewnością rację, o ile leksykon musi być przekazany dziecku poprzez przykłady, jak widzieliśmy we wcześniejszych rozdziałach, niemowlęta są dalekie od „tabula rasa”, jeśli chodzi o wiedzę syntaktyczną; raczej rodzą się ze sprzętem niezbędnym do języka. Jak teoretyzował Chomsky, a ostatnie prace neurolingwistyki wciąż potwierdzają, istnieje fundamentalny związek między strukturą naszych mózgów a naszą zdolnością do tworzenia języka, więc jest mało prawdopodobne, abyśmy byli w stanie rozmawiać z istotą pozaziemską, której język nie jest ta sama uniwersalna gramatyka. Chociaż nie unieważnia to projektu Lincos, ponieważ Freudenthal nadal zakłada, że „osoba, która ma otrzymywać moje wiadomości, jest człowiekiem lub przynajmniej podobnym człowiekiem pod względem stanu psychicznego i doświadczeń”, mogło to ograniczyć jego pełny rozwój, ponieważ brakuje jej pełna składnia. Lincos Freudenthala należy traktować raczej jako rodzaj mowy niż pisma; Słowa Lincos nie składają się z liter, ale z fonemów, które składają się z niemodulowanych fal radiowych o różnej długości i czasie trwania. Freudenthal nie zadał sobie trudu, aby wyjaśnić, w jaki sposób te fonemy byłyby „wymawiane”, gdy są nadawane jako fale radiowe, chociaż ten problem został rozwiązany w komunikacie *Cosmic Call* z 1999 r., opartym na programie Lincos. Kiedy Freudenthal opublikował Lincos w 1960 roku, nie zamierzał, aby był to pełny program, który byłby gotowy do emisji do gwiazd. Był to raczej ogólny zarys takiego programu, który zawierałby znacznie więcej przykładów, niż Freudenthal zawarł w swojej monografii. Tekst miał być pierwszym wpisem z dwuczęściowej serii, choć druga część nigdy nie była opublikowana. Pierwsza książka została podzielona na rozdziały zajmujące się matematyką, czasem, zachowaniem, przestrzenią, ruchem i masą, podczas gdy drugi tom dotyczył materii, Ziemi i życia. Jak widać w rozwoju tych tematów, Lincos zaczyna od bardzo abstrakcyjnych pojęć, zanim przejdzie do bardziej konkretnych informacji o życiu na Ziemi, które są przekazywane poprzez „gry moralne”. Te części wiadomości przedstawiają ludzi wchodzących ze sobą w interakcje w celu przekazywania pomysłów na temat ludzkich zachowań i są przekazywane w dużym stopniu poprzez zapożyczenie ze składni matematycznej. Na pierwszy rzut oka pomysł rozpoczęcia międzygwiazdowego przekazu podstawową arytmetyką wydaje się zbyt pedantyczny. W końcu, jeśli pozaziemscy odbiorcy mogą zbudować odbiornik radiowy, nie ma powodu, aby wątpić, że są w stanie wykonać podstawowe działania

arytmetyczne. Dlaczego więc Freudenthal zaczął od nauczania podstaw matematyki? Głównym powodem jest to, że liczby są ostensywne - w terminologii Freudenthala są one „ideofoniczne” w taki sam sposób, jak hieroglif przedstawiający oko, który również odnosi się do oka, jest „ideogrammatyczny”. Oprócz jednostek czasu, liczby są jedynymi pojęciami w Lincos, które można bezpośrednio zrozumieć, o ile jeden impuls oznacza „jeden”, dwa impulsy oznaczają „dwa” itd., A pojęcie jednej sekundy można zademonstrować za pomocą impulsu. trwający jedną sekundę. Rozpoczynając od znaków, które nie znaczą nic poza sobą, Lincos może ustanowić wspólną płaszczyznę z pozaziemskim odbiorcą w celu wprowadzenia słów, których znaczenie należy określić na podstawie ich związku z innymi słowami w wypowiedzi. Na przykład, gdy „jeden”, „dwa” i „trzy” zostaną wprowadzone za pomocą impulsów ostensywnych, możliwe jest wprowadzenie słów dodawania, odejmowania, większych niż, mniejszych niż i równych we wzorach elementarnych. Innymi słowy, system nie tyle uczy odbiorców matematyki, ile uczy ich leksykonu Lincos. Po ustanowieniu wystarczającej wspólnej podstawy na platformie. Podstawą wiedzy, którą można rozsądnie założyć jako wspólną dla Ziemi i istot pozaziemskich (np. podstawowa matematyka i fizyka), możliwe jest przekazanie przypadkowych faktów dotyczących ludzkich zwyczajów. Już od pierwszych przykładów w Lincos widać, że Freudenthal kładzie nacisk na komunikacyjny aspekt Lincos. Zamiast podawać formalne definicje aksjomatyczne dla matematyki idee (np. przemienne, asocjacyjne lub tożsamościowe własności arytmetyki), Freudenthal zamiast tego zdecydował się przekazać te idee za pomocą „quasi-ogólnych definicji”, w których idea jest przekazywana za pomocą wystarczająco dużej liczby przykładów, aby inteligentny odbiorca mógł uogólnić na podstawie przykładów, aby dojść do definicji. Twierdził, że jest to lepsze, ponieważ jest bardziej zgodne z tym, jak dzieci uczą się matematyki, które generalizują na podstawie stosunkowo niewielkiej liczby przykładów i pewnych nieformalnych zasad. Było to sprzeczne z dominującymi trendami w matematyce na początku XX wieku - najlepiej zilustrowanymi w pracach Alfreda North Whiteheada i Bertranda Russella – które starali się ugruntować podstawy matematyki w formalnym systemie aksjomatów. W tych formalnych systemach zdania były zapisywane przy użyciu terminów logicznych. Celem przeformułowania zdań w języku logicznym było umożliwienie określenia prawdziwości wypowiedzi niezależnie od znaczenia samych wyrażeń. W tym sensie język logiczny Russella przypomina bardziej kod niż język naturalny, o ile jego elementami można manipulować zgodnie z zestawem reguł, bez względu na znaczenie samych wyrażeń. Nic więc dziwnego, że prace nad językiem logicznym znalazły swoje najbardziej znaczące zastosowania w rozwoju języków komputerowych, a nie w wyjaśnieniu w codziennej komunikacji międzyludzkiej. Chociaż język logiczny Russella zajmował się problemami logicznymi, które pojawiają się w języku wernakularnym, nigdy nie miał on spełniać funkcji komunikacyjnej, którą Freudenthal uważał za definiującą cechę języka. W atomistycznym podejściu Russella do języka uważał, że elementarne „atomy” językowe mają określone znaczenie, a kiedy atomy te zostaną połączone w większe frazy, wartość prawdziwości powstałego zdania można określić na podstawie relacji logicznych atomów. zawarte w nim. Freudenthal odrzucił to, pisząc, że „nie może sobie wyobrazić ogólnych reguł sensowności” i że nie „wie, jak nadać tylko jedno znaczenie każdemu znaczącemu wyrażeniu językowemu”. Zamiast tego, kiedy postrzega się język jako narzędzie komunikacyjne, a nie izolowaną rzecz do samodzielnego zbadania, argumentował, że znaczenie zdania zależy od kontekstu. Chociaż niektóre formalne aspekty języka logicznego Russella zostały zachowane w Lincos, Freudenthal odrzucił w pełni sformalizowany język komunikacji międzygwiazdowej i zrezygnował z formalizacji tam, gdzie to możliwe. „Nasze odstępstwo od semantyki formalistycznej jest tylko konsekwencją naszego traktowania języka jako środka komunikacji” - napisał Freudenthal. „Język taki jak Russell, w którym, Walter Scott ”i, autor Waverly ”można dowolnie zastępować siebie nawzajem, nie może służyć naszym celom, ponieważ nie pozwala na przekazanie faktu, że Scott jest autorem Waverly pytanie, czy Scott jest autorem „Waverly „. Z drugiej strony Freudenthal argumentował, że języki narodowe byłyby również niewystarczającą podstawą składni języka międzygwiazdowego, biorąc pod uwagę ich

niezdolność do obsługi zmiennych i interpunkcji w jasny, systematyczny sposób. Tak więc Freudenthal uważał, że matematyka zajmuje coś w rodzaju środka między sztywnym formalizmem logiki a niejednoznacznością języka naturalnego. Matematyka zapewnia najlepsze z obu, o ile systematycznie zajmuje się zmiennymi i interpunkcją, ale można je przekazać za pomocą quasi-definicji i można rozsądnie przypuszczać, że jest uniwersalne.

COSMIC CALL

Freudenthal nigdy nie doczekał się użycia swojego *lingua cosmica* w międzygwiazdnej transmisji, chociaż Lincos najwyraźniej był używany na Ziemi. Na spotkaniu CETI w Armenii w 1971 roku Carl Sagan wspominał, że niektóre testy skuteczności języka zostały przeprowadzone na dzieciach szkolnych w Związku Radzieckim, ale wyniki tych testów wskazywały, że Lincos być może nie był tak intuicyjny, jak oczekiwał Freudenthal. Niemniej jednak, wkrótce po śmierci Freudenthala, jego wkład w egzolingwistykę posłużył jako podstawa do pierwszej naukowej transmisji międzygwiazdnej z Ziemi od czasu transmisji z Arecibo w 1974 roku. Drugi najpotężniejszy radar planetarny w tamtym czasie na Ziemi, do czterech gwiazd w odległości od 51,8 do 70,5 lat świetlnych. Docelowe gwiazdy zostały wybrane na podstawie ich bliskości do płaszczyzny galaktycznej, co oznaczało, że wiadomość mogła dotrzeć do dodatkowych dziesięciu gwiazd podobnych do Słońca, które nie były uważane za główne cele, a także ich podobieństwo metaliczności do naszego Słońca, wiek i typ widmowy. Transmisja Cosmic Call była nadzorowana przez krótkotrwałą firmę o nazwie Team Encounter, stworzoną przez seryjnego przedsiębiorcę kosmicznego Charlesa Chafera. W 1998 roku Chafer dał zielone światło dwóm kanadyjskim fizykom, Yvanowi Dutilowi i Stephane'owi Dumasowi, aby stanęli na czele projektu przestania Kosmicznego Zewu po tym, jak zwrócili się do firmy z pomysłami, jak skonstruować przestanie naukowe. Dutil i Dumas, jako sami określający się jako hobbyści SETI, brali udział w projekcie internetowym mającym na celu rozszyfrowanie hipotetycznych transmisji pozaziemskich stworzonych przez Team Encounter, ale projekt ich wiadomości Cosmic Call został opracowany przez Lincos Freudenthala. Właściwie Freudenthal nie posunął się tak daleko aby stworzyć program do transmisji, więc to Dutil i Dumas musieli przełożyć spostrzeżenia Freudenthala na praktyczną wiadomość. Freudenthal wyobraził sobie Lincos jako język mówiony, którego fonemy byłyby kodowane w niemodulowanych falach radiowych. Ten wybór projektowy został odrzucony przez Dutila i Dumasa na rzecz mapy bitowej, ponieważ byłaby bardziej odporna na szum i błędy dekodowania. Chociaż mapy bitowe oferują większą redundancję, są również podatne na uszkodzenia w przestrzeni międzygwiazdowej. Na przykład zmiana choćby jednego bitu w komunikacie Arecibo z 1974 r. Może zniszczyć całą strukturę komunikatu. Aby tego uniknąć, Dutil i Dumas tworzą jednobitową „ramkę” wokół każdej z 23 stron swojej wiadomości, aby stworzyć większą strukturę, która byłaby punktem odniesienia dla rekonstrukcji przekazu przez istotę pozaziemską. Każda strona wiadomości była tablicą 127×127 bitów (127 to liczba pierwsza, chociaż iloczyn wymiarów mapy bitowej, 16,129, nie jest), która została wypełniona 5×7 -bitowymi symbolami ideograficznymi stworzonymi przez Dutila i Dumasa, które są nawet niepowtarzalne po obróceniu lub odbiciu lustrzanym (pełna lista symboli znajduje się w załączniku B). Podobnie jak przestanie Freudenthala, komponent Dutil-Dumas przestania Kosmicznego Zewu rozpoczął się od wprowadzenia cyfr od 0 do 9 i podstawowych zasad arytmetyki na kilku przykładach. Stworzyło to podstawę do wprowadzania coraz bardziej złożonych tematów. Przekaz zawierał „lekcje” geometrii, jednostki miary, pierwiastki chemiczne, podstawowe cechy naszego Układu Słonecznego i Ziemi, faksymile mężczyzny i kobiety przedstawione na płytkach Pioneera, strukturę DNA, Fuller mapa Ziemi, charakterystyka teleskopu Evpatoria, kilka podstawowych pojęć kosmologicznych, takich jak wiek Wszechświata i jego temperatura, a na koniec kilka pytań z prośbą o informacje o swojej planecie i cywilizacji. Oprócz wiadomości Dutil – Dumas, transmisje Kosmicznego Zewu zawierały także krótszy przekaz naukowy opracowany przez pracownika Team Encounter, Richarda Braastada, który wykorzystywał system symboli opracowany przez Dutila i Dumasa do

opisania statku kosmicznego z lekkimi żaglami, który był opracowywany przez Team Spotkanie w tym czasie. W przekazie zawarto także wiadomość z Arecibo z 1974 r., Osobiste wiadomości od personelu Team Encounter oraz wiadomość publiczną. Każdy z czterech wiadomości naukowych był emitowany trzy razy w cyklu, który zaczynał się od wiadomości Dutil-Dumas, po której następowała wiadomość Braastada, wiadomość z Arecibo i wiadomość personelu Team Encounter, aby zapewnić wystarczającą redundancję w przypadku, gdy część wiadomości była uszkodzona podczas transportu. Transmisja zakończyła się publicznym przekazem, który został wyemitowany tylko raz i składał się z nazwisk i krótkiej wiadomości przesłanej przez ponad 43 000 osób z całego świata. 24 maja 1999 r. Pierwsza wiadomość Kosmicznego Zewu została wysłana z Evpatorii do gwiazdy w konstelacji Łabędzia, około 70 lat świetlnych od Ziemi. Wiadomość była przesyłana z szybkością 100 bitów na sekundę (z wyjątkiem części publicznej, która była przesyłana z szybkością 2000 bitów na sekundę) w paśmie 5,01 GHz (6 cm). (To nie jest „magiczna” częstotliwość, ale była to częstotliwość, na której radioteleskop był wyposażony do nadawania). W transmisji wykorzystano przesunięcie częstotliwości kluczenia do modulowania sygnału radiowego, co spowodowało przesunięcie częstotliwości transmisji o 24 kHz w celu zakodowania wiadomości jako potrójnego strumienia. Sama wiadomość została zakodowana binarnie, tak że 0 było reprezentowane przy 5010 000 kHz, 1 przy 5010 048 kHz, a pięciosekundowa przerwa między każdą z wiadomości była reprezentowana przy 5010 024 kHz. Zespół Encounter planował powtórzyć transmisję do trzech innych gwiazdnych celów następnego wieczoru, ale plany te zostały udaremnione przez Narodową Agencję Kosmiczną Ukrainy, która została wystraszona publiczną reakcją na wiadomość. Po dowiedzeniu się, że obserwatoria radiowe w Stanach Zjednoczonych odmówiły przesłania wiadomości i po otrzymaniu przytłaczającej liczby zapytań prasowych, zastanawiających się, czy transmisja jest niebezpieczna, agencja wyciągnęła wtyczkę z projektu. Dopiero po tym, jak Aleksander Zajcew, rosyjski radioastronom kierujący transmisją, udał się do Kijowa, aby przekonać agencję, że projekt nie jest niebezpieczny, że w następnym miesiącu pozwolono na wznowienie transmisji do trzech innych gwiazd. Trudno przecenić znaczenie przesłania Kosmicznego Zewu z 1999 roku dla ponownego wzbudzenia zainteresowania komunikacją międzygwiazdową. Team Encounter wykazał, że audycje naukowe mogą być finansowane z niewielkich darowizn i że istnieje duże zainteresowanie społeczeństwa możliwością komunikowania się z życiem pozaziemskim. Dziesięć lat po Kosmicznym Zewie nastąpił gwałtowny wzrost liczby międzygwiazdnych transmisji, z których wiele było rażącymi chwytami pieniędzy lub korporacyjnymi akrobacjami reklamowymi, ale pogoń za naukowymi międzygwiazdowymi wiadomościami była daleka od śmierci. 6 lipca 2003 r. Team Encounter wysłał drugą wiadomość Cosmic Call z radioteleskopu w Evpatoria do pięciu gwiazd, które miały cechy podobne do naszego Słońca i znajdowały się między 32,8 a 45,9 lat świetlnych od Ziemi. Treść drugiej wiadomości Cosmic Call była podobna do pierwszej, ale wprowadzono kilka kluczowych zmian dotyczących formatu i transmisji wiadomości, aby zwiększyć szansę na jej poprawną interpretację. Pierwszą dużą zmianą było scalenie 23 stron oryginalnej wiadomości w jedną długą stronę, czyli bardziej efektywne wykorzystanie przestrzeni, a także zwiększyło prawdopodobieństwo pomyślnego dekodowania wiadomości, ponieważ linie pionowe są ważniejsze niż linie poziome w procesie dekodowania. Co więcej, symbole 5×7 zostały zredukowane do symboli 4×7 , które Dutil i Dumas uznali za bardziej odporne na hałas. Wiadomość Cosmic Call z 2003 r. Zawierała również nowe elementy, których nie było w wiadomości z 1999 r., takie jak dwujęzyczny słownik obrazów, chatbot Ella i kilka obrazów. Glosariusz obrazów dwujęzycznych składał się z dwunastu map bitowych o wymiarach 101×101 , które przedstawiały rysunki takich rzeczy, jak dzieci, Ziemia, gra w kółko i krzyżyk oraz Słońce, a nazwy każdego obrazu były napisane w języku angielskim i rosyjskim. (Ten dwujęzyczny glosariusz obrazów został opracowany jako część komunikatu Teen Age przesłanego z teleskopu Evpatoria w 2001 roku). Szybkość transmisji naukowej części wiadomości z 2003 roku Cosmic Call również została zwiększona ze 100 bitów na sekundę do 400 bitów na sekundę. Publiczna część wiadomości składała się z 90 000 pojedynczych esejów przesyłanych z szybkością 100 000 bitów na

sekundę, czyli ponad pięćdziesiąt razy szybciej niż w 1999 r. Niemniej jednak przesłanie samych wiadomości osobistych trwało około jedenaście godzin. Zamiast transmitować każdą indywidualną część przed powtórzeniem całego wezwania, jak to miało miejsce w 1999 r., Wiadomość Kosmicznego Zewu z 2003 r. Powtórzyła wiadomość Dutil-Dumas, wiadomość Arecibo i Dwujęzyczny Słownik Obrazów trzy razy przed wysłaniem wiadomości Braastada, Spotkanie Zespołowe wiadomość od personelu, a wiadomości publiczne jeden raz na gwiazdkę. Wiadomości Kosmicznego Zewu zaczęły docierać do gwiazd docelowych dopiero w 2036 roku; jeśli jest tam ktoś, kto jest w stanie rozszyfrować wiadomość, to najwcześniej możemy spodziewać się odpowiedzi około 2070 roku. Chociaż wiadomości te stanowią znaczący postęp w sztuce i nauce konstruowania wiadomości międzygwiazdowych, pozostawiły wiele miejsca na ulepszenia.

LINCOS 2.0

Freudenthal stanowczo odrzucił formalizm wszędzie tam, gdzie było to możliwe, argumentując, że nie spełnia on funkcji komunikacyjnej. Jako taki, jego Lincos oscyluje między formalizmem logiki a stylem komunikacyjnym bardziej zbliżonym do języków naturalnych. Zamiast formalnie definiować liczbę za pomocą czegoś w rodzaju postulatów Peano, na przykład, Freudenthal zdecydował się wprowadzić liczby jako przykład. Czyni to Lincos czymś w rodzaju chimery w kontekście historycznych prób zaprojektowania doskonałego języka, który prawie zawsze stawał po stronie skrajnego formalizmu (Bassi 1992). Jednak wyjątkowy cel Lincos oznaczał również, że był obciążony ograniczeniami, które nie miały zastosowania do innych doskonałych języków. Podczas gdy języki, których celem jest wyjaśnienie wymiany myśli między Ziemią, można wyjaśnić naturalnym językiem, którym posługują się nauczyciel i uczeń, a znaczenie terminów można wyjaśnić poprzez informację zwrotną, żadna z tych zalet nie jest dostępna w kontekście międzygwiazdowym. W komunikacji kosmicznej ekstremalna odległość między nadawcą a odbiorcą, w połączeniu z górną granicą szybkości transmisji, uniemożliwia sprzężenie zwrotne w czasie rzeczywistym, a zastosowanie definicji ostensywnych ogranicza się do pojęć takich jak liczby, czas i jeśli mamy wiedzę o układ planetarny gwiazdowego celu, być może jakieś zdarzenia niebieskie. Te surowe ograniczenia oznaczały, że Lincos trzeba uczyć samo w sobie. Freudenthal miał nadzieję, że wykorzysta najlepsze aspekty języków formalnych i naturalnych, aby stworzyć system hybrydowy, który byłby zoptymalizowany pod kątem komunikacji z gatunkiem, który być może pod wieloma względami radykalnie różni się od naszego, ale nadal ma kilka kluczowych cech z ludźmi, takich jak posiadający język i podobne intuicyjne pojęcia dotyczące arytmetyki. Z języków formalnych Freudenthal zapożyczył zasadę stosowania interpunkcji do organizowania składni i traktowania zmiennych, które mogą obejmować dowolną dziedzinę, a nie tylko jedną, określoną przez leksykon. Pomimo tej umiarkowanej formalizacji inne aspekty Lincos są znacznie mniej systematyczne, co często szkodzi systemowi. Na przykład nie ma systematycznego traktowania kategorii semantycznych i składniowych. Zamiast tego nowe słowa są wprowadzane ad hoc, a ich rola w składni nie jest formalnie zdefiniowana, ale należy ją uchwycić przykładowo. Co więcej, znaki zapytania służą do wiązania zmiennych, ale nie wyjaśniają znaczenia wyrażenia. W rezultacie pytania zawierające słowa takie jak „dlaczego” lub „czy” (które nie wiążą zmiennych w żądanej odpowiedzi) nie mogą być odróżnione od twierdzeń twierdzących opartych na składni zdania. Te niedociągnięcia nie wydają się być przeoczeniem Freudenthala, a raczej celowym wyborem projektowym, sposobem nadania priorytetu komunikacyjnym aspektom języków naturalnych w jego *lingua cosmica*. Rezultatem jest jednak język, który w dużej mierze opiera się na twórczej interpretacji odbiorcy, który nadal pozostanie bez możliwości sprawdzenia, czy jego interpretacja jest poprawna. Jeśli Freudenthal ma rację, duży stopień niejednoznaczności może być nieuniknioną cechą każdej *lingua cosmica*, której można użyć do sensownego komunikowania się, w przeciwieństwie do manipulowania bezsensownymi symbolami w celu przekazania prawd logicznych. Freudenthal nie mógł jednak przewidzieć, że postęp w informatyce drugiej połowy XX wieku umożliwił użycie silnie sformalizowanego języka do komunikowania się w

sposób sensowny i gwarantujący poprawną interpretację przekazu. . Rzeczywiście, spostrzeżenia z informatyki są sercem drugiej generacji Lincos opracowanych przez Alexandra Ollongrena i służą jako podstawa nowego paradygmatu badawczego, który nazwał „astrolingwistyką”. Podobnie jak lingwistyka Chomsky'ego poszukiwała uniwersalnych cech gramatycznych wspólnych dla wszystkich języków ziemskich, Astrolingwistyka Ollongrena ma na celu odkrycie, czy istnieją jakieś ogólne reguły językowe, które mają zastosowanie do wszystkich inteligentnych gatunków we wszechświecie, a także stopień, w jakim nasza konceptualizacja języka wpływa na nasze rozumienie zjawisk astrofizycznych. Ollongren opisuje język w szerokich ujęciach jako „podstawowy zbiór pewnego rodzaju tokenów wraz z regułami tworzenia możliwych wyrażen (składnia języka) - ale także dodatkowe zasady użycia i celu tych wyrażen (semantyka interpretacji dostaw językowych). ” Patrząc na astrofizyczne procesy w kosmosie, Ollongren dostrzegł podobne zasady działające w oddziaływaniach cząstek elementarnych, takie jak „pakiety energii w różnych formach mogą być uważane za podstawowe symbole zasady językowej w skali kosmicznej” i „ reguły składniowe to te, które regulują interakcje między tokenami. ” Jednak astrolingwistyka Ollongrena ma również na celu zbadanie, „czy lingwistyka języków naturalnych na Ziemi jest jakimś rodzajem pochodnej ogólnej zasady kosmicznej, właściwej dla wszystkich żyjących inteligentnych istot w naszym wszechświecie”. Dopóki nie nawiążemy pierwszego kontaktu, istnienie jakichkolwiek prawdziwie uniwersalnych cech językowych jest czystym domysłem. W każdym razie Ollongren stawia ważne pytanie: jakie cechy ludzkiego języka możemy zasadnie oczekiwać, że będą obecne w języku pozaziemskim? Ollongren przyznał, że jest możliwe, że ludzkie języki rozwinęły się zgodnie z ograniczeniami ludzkiego mózgu, niemniej jednak postrzega zdolność ludzkich języków do wyjaśniania reguł rządzących dobrze uformowanymi wyrażeniami w samym języku jako krytyczną cechę języków ludzkich, która można rozsądnie uznać za ogólną zasadę językową w całym kosmosie. Opierając się na tym spostrzeżeniu, Ollongren zaprojektował lingua cosmica, która jest przede wszystkim zdolna do autointerpretacji. Idealnie byłoby, gdyby ten język składał się z „najprostszych możliwych struktur gramatycznych”, ale miałby również moc ekspresyjną do opisywania wszelkich informacji, które chcemy przekazać. Ollongren jest pokoleniem młodszym od Freudenthala i jako taki osiągnął pełnoletność w czasie, gdy powstawały pierwsze proceduralne i funkcjonalne języki programowania, takie jak ALGOL i LISP. Według Ollongrena, jego znajomość tych języków programowania dała mu pomysł, że „obfite wykorzystanie przez Freudenthala skryptów super i dolnych oraz liczne umowy ad hoc można z pewnym wysiłkiem uprościć, używając składników z „nowoczesnych ”teorii programowania”. Zdał sobie również sprawę, że „ogólny cel pracy Freudenthala można osiągnąć w lepszy sposób, jeśli powstrzyma się od używania tylko jednego poziomu w konstrukcji międzygwiazdowego przekazu - samego lingua cosmica). I tak pod koniec lat 90. , Ollongren przystąpił do projektowania Lincos drugiej generacji, który byłby wielopoziomowy i oparty na logice, a nie na matematyce. Dla Ollongrena logika ma wyraźną przewagę nad matematyką jako podstawa lingua cosmica, ponieważ może opisywać logiczną zawartość tekstu, a także definicję ram systemu. Jest to podobne do sposobu, w jaki środowisko jest tworzone w programach komputerowych poprzez deklaracje, zamiast polegać na intuicji odbiorcy, aby zrekonstruować ten szkielet na podstawie podanych przykładów. Istnieje wiele różnych rodzajów lub modalności logiki, z których wszystkie mają prowadzić do „prawidłowego rozumowania nad abstrakcjami rzeczywistości”, ale Ollongren zauważa, że nie wszystkie są równie przydatne, jeśli chodzi o ich zdolność wyjaśniania argumentów. Na przykład logika zdań ma stosunkowo prostą składnię, w której zdania są łączone za pomocą małego zestawu operatorów logicznych (tj., and, or, negacja i implikacja), a wartość prawdziwości zdania można po prostu określić za pomocą stół. Rachunek zdań jest jednak zdolny do abstrakcji tylko w stosunku do pojedynczych obiektów, co oznacza, że nie może być używany w sytuacjach wymagających abstrakcji względem zbiorów obiektów spełniających jakiś predykat. Logika predykatów rozwiązuje ten problem, wprowadzając kwantyfikatory „wszystko” i „istnieje”, ale odbywa się to kosztem bardziej skomplikowanej składni. Rozważmy przypadek, w którym wszystkie obiekty w pewnym zestawie mają

wspólną cechą. W logice predykatów fałszywym byłoby twierdzenie, że przedmiot posiadający tę cechę istnieje, „chyba że taki był już istniał lub jest możliwy do skonstruowania za pomocą narzędzi logiki”. Rachunek konstrukcji z indukcjami (WIK) rozwiązuje ten dylemat, dostarczając wyrażenia z typami, „albo przez wstępne deklaracje, albo przez proste zasady konstrukcji i redukcji”. To rozwiązuje problem istnienia opisany powyżej, deklarując stałą jednostkę, która ma typ wspólny dla obiektów w zestawie. Ten logiczny paradygmat jest zaadaptowany z rachunku lambda, który ma zaletę w postaci niezwykle prostej składni i bardzo małego zestawu prymitywów. Mimo to CCI jest dość ekspresyjne i może przekazywać logiczne opisy dynamicznych sytuacji, takich jak ludzkie zachowanie (patrz dodatek D, aby zapoznać się z wprowadzeniem do rachunku lambda i jego zastosowania w Lincos). Podobnie jak Freudenthal, Ollongren nie próbował zaprojektować programu do transmisji międzygwiazdnej. Zamiast tego próbował pokazać, w jaki sposób logiczną treść tekstu można przekazać za pomocą konstruktywnej logiki. Jego Lincos drugiej generacji to system składający się z co najmniej dwóch poziomów. Pierwszy poziom składa się z wiadomości, która może zawierać tekst, obrazy lub muzykę. Drugi poziom składa się z metajęzyka, który jest sformalizowanym systemem adnotacji opisującym logiczną zawartość tekstu podstawowego. Jest to bardzo podobne do procesu adnotacji tekstowej w zastosowaniach przetwarzających język naturalny w lingwistyce komputerowej, w którym metadane są przeszczepiane do tekstu w języku naturalnym, aby zapewnić algorytmowi uczenia maszynowego dodatkowe informacje, które pozwalają mu „zrozumieć” sposób funkcjonowania języka w tekście podstawowym. Ollongren's Lincos czerpie ze spostrzeżeń z technik uczenia maszynowego, ponieważ język zawiera adnotacje w tekście w języku naturalnym (w szerokim sensie - może to również obejmować obrazy lub muzykę). Jest również funkcjonalnie podobny do Coq, weryfikatora opracowanego pod koniec lat 90. na podstawie CCI, który gwarantuje, że wyrażenia w Lincos będą zawsze poprawne i sprawiają, że język interpretuje się samodzielnie. System jest jednak obciążony kwestiami, jak będą interpretowane wyrażenia przez odbiorcę. Na przykład nie jest jasne, w jaki sposób utworzyć sygnaturę, aby przekazać modalność i „semantykę” używanego systemu logicznego. Jeśli chodzi o kwestie semantyki, Ollongren zauważa, że Lincos jest zasadniczo sposobem interpretowania innych informacji (tj. tekstu podstawowego), ale co by było, gdyby Lincos jako takie były interpretowane przez pozaziemski automat? Nie jest pewne, jak automat zinterpretowałby komunikat, ponieważ Lincos nie opisuje operacji ani działań tak, jak robi to program komputerowy, ale zamiast tego opisuje logiczne relacje między terminami. W najlepszym przypadku automat doszedłby do relacyjnej analizy zasadniczo bezsensownych terminów. Innymi słowy, Lincos nie zostało zaprojektowane do interpretacji przez automat, ale raczej dla pozaziemskiej inteligencji posiadającej „wiedzę o świecie”. Jednak dokładnie to, jaka wiedza powinna być przekazywana, jest trudną decyzją, którą Ollongren pozostawia projektantom międzygwiazdnych wiadomości.

JAK MÓWIĆ W PRZESTRZENI

Kwestią, która jest ściśle związana z projektem lingua cosmica i treścią międzygwiazdnego przekazu, jest medium transmisyjne. W całej tej książce milcząco zakładaliśmy, że sposobem transmisji jest promieniowanie elektromagnetyczne w mikrofalowym zakresie widma, ale z pewnością nie jest to jedyna opcja. Na Ziemi każdy z różnych sposobów komunikacji wiąże się z własnymi kompromisami pod względem zapotrzebowania na energię, ryzyka i rodzajów przenoszonych informacji. Na przykład korzystanie z usługi pocztowej jest niezwykle intensywne pod względem zasobów w porównaniu z wysyłaniem wiadomości e-mail, ale tylko poprzedni sposób komunikacji umożliwia transport obiektu fizycznego między nadawcą a odbiorcą. To samo dotyczy kosmicznych trybów komunikacji, które z różnym skutkiem odnoszą się do wyjątkowych ograniczeń komunikacji w przestrzeni. Ostatecznie wybór trybu komunikacji zależy od tego, co nadawca chce przekazać i dostępności zasobów.

MEDIA FIZYCZNE

Do tej pory tylko cztery obiekty fizyczne są przeznaczone do przestrzeni międzygwiazdowej, które można uznać za kandydatów do komunikacji pozaziemskej. Jako pierwsze wystrzelono tabliczki przymocowane do Pioneera 10 i Pioneera 11. Sondy te zostały wystrzelone przez NASA w 1972 i 1973 roku w celu zbadania Jowisza, wiatrów słonecznych, asteroid i promieni kosmicznych. Oprócz tego, że był pierwszym statkiem kosmicznym, który odwiedził zewnętrzne obszary naszego Układu Słonecznego, statek Pioneer wyróżniał się tym, że był pierwszym, który osiągnął prędkość, która pozwoliłaby im opuścić Układ Słoneczny, co nie zostało utracone na znaczeniu. Kilka miesięcy przed planowanym wystrzeleniem Pioneera 10 Burgess zwrócił się do Carla Sagana i zasugerował, aby NASA zamieściła na statku wiadomość na wypadek, gdyby jakikolwiek kosmita napotkał go podczas przemierzania przestrzeni międzygwiazdowej. NASA wyraziła zgodę i dała Saganowi trzy tygodnie na zaprojektowanie wiadomości. Wynikowa wiadomość, która została zaprojektowana przy udziale Franka Drake'a, składała się głównie z pewnych podstawowych informacji naukowych, które, jak mieli nadzieję, pomogłyby istotom pozaziemskim zlokalizować i komunikować się z Ziemią, gdyby statek został przechwycony. Treść wiadomości została przekazana żonie Sagana, artystce Lindzie Salzman Sagan, która dostarczyła rysunki i schematy zdobiące małą tabliczkę 6×9 cali przymocowaną do Pioneera 10. Kluczem do przesłania Pioneera jest schemat przedstawiający spin-flip przejście atomu wodoru w lewym górnym rogu płytki. Atom wodoru składa się z protonu i elektronu, z których każdy ma magnetyczny moment dipolowy - wyobraź sobie, że każda cząstka jest magnesem, którego orientacja może być „w górę” lub „w dół” - w wyniku spinu cząstki. Jeśli magnetyczny moment dipolowy elektronu jest równoległy do momentu dipolowego protonu, zwiększa on energię w układzie atomowym i zmniejsza energię, jeśli są przeciwnoległe. Mniej więcej co 0,7 nanosekundy elektron przechodzi przemianę spin-flip, która odwraca jego orientację magnetyczną. To przejście między poziomami energii wytwarza promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości około 1420 MHz, co odpowiada długości fali około 21 centymetrów. Na tabliczce binarna cyfra „jeden” znajduje się między dwoma stanami wodoru, ale na podstawie samego tego schematu nie jest jasne, czy ma to oznaczać jednostkę długości (21 cm), czy jednostkę czasu (1420 MHz). Aby rozwiązać ten problem, Sagan i Drake umieścili binarną reprezentację „ósemki” pomiędzy dwiema liniami i obok rysunku w skali statku kosmicznego Pioneer z profilu oraz mężczyzny i kobiety. Ma to działać jako swego rodzaju linijka dla istoty pozaziemskej, która byłaby w stanie zmierzyć statek kosmiczny i stwierdzić, że 168 centymetrów (osiem pomnożonych przez dwadzieścia jeden) odpowiada wysokości statku kosmicznego przedstawionej na tablicy. Miałoby to dodatkową korzyść w postaci przekazania średniej wielkości ludzi na Ziemi, ponieważ są one przedstawiane w skali równoległej do statku Pioneer. Sagan i Drake wybrali atom wodoru celowo. Jako najobficiej występujący pierwiastek we wszechświecie, linia widmowa neutralnego wodoru była wówczas uważana za najbardziej obiecującą częstotliwość do poszukiwania pozaziemskej wiadomości. Zwracając uwagę na tę częstotliwość radiową, Sagan i Drake skutecznie podali ziemskiemu odbiorcy pozaziemskiemu numer telefonu. Gdyby wołali na tej częstotliwości, prawdopodobnie ktoś by nas słuchał. Jednak numer telefonu nie przyniesie wiele dobrego, jeśli nie znasz numeru kierunkowego, to samo dotyczy komunikacji międzygwiazdowej. W tym celu tablice Pioneera zawierają dwie mapy, które mają pomóc istotom pozaziemskim w zlokalizowaniu Ziemi. Jedna z map przedstawia dziewięć planet naszego Układu Słonecznego (Pluton był nadal dostojny ze statusem planet w 1972 roku) i Słońce. Strzałka narysowana z trzeciej planety i zapętłona wokół piątej przedstawia trajektorię pioniera z Ziemi wokół Jowisza. Względna odległość między planetami jest oznaczona binarnie. Druga mapa składa się z piętnastu linii, z których wszystkie pochodzą ze wspólnego źródła. Czternaście z tych wierszy składa się z długiej liczby binarnej, która odpowiada dziesięciocyfrowej liczbie w notacji dziesiętnej. Te linie odpowiadają odległości Słońca od czternastu różnych pulsarów; piętnasta linia odpowiada odległości Słońca od centrum galaktyki. A co z istotami pozaziemskimi zrobić z liczb binarnych? Po raz kolejny wydaje się, że liczby te mogą oznaczać przedział czasu lub długość. Sagan i Drake przypuszczali, że istota pozaziemska będzie wiedziała, że nasza

cywilizacja nie jest w stanie zmierzyć odległości do najbliższych gwiazd z dziesięciocyfrową dokładnością w oparciu o poziom zaawansowania technicznego, jaki wykazał sam statek Pionierów. Jednak byłoby prawdopodobne, że cywilizacja taka jak nasza mogłaby mierzyć odstępy czasu z taką dokładnością. Zatem Sagan i Drake przypuszczali, że będzie oczywiste, że te sygnatury czasowe odpowiadają interwałom różnych pulsarów, które działają jak „zegary galaktyczne”. Pulsary to szybko wirujące gwiazdy neutronowe, które wydają się pulsować, ponieważ skutecznie emitują wiązkę promieniowania, która omiata obszar nieba w regularnych odstępach czasu, które prawie nie zmieniają się na przestrzeni milionów lat. Sagan i Drake wybrali czternaście młodych pulsarów z krótkimi okresami, które były równomiernie rozmieszczone w galaktyce, aby była duża szansa, że przynajmniej część z nich będzie mogła zostać wykryta przez pozaziemską cywilizację. Biorąc pod uwagę regularność pulsarów, przypuszczali, że istota pozaziemska byłaby w stanie określić przybliżoną lokalizację Ziemi w stosunku do tych pulsarów i jak dawno temu statek Pioneer 10 został wystrzelony. Chociaż identyczna tablica została przymocowana do Pioniera 11, który wystrzelił jedenaście miesięcy po misji Pioniera 10 w celu zbadania Saturna, ani Sagan, ani Drake nie mieli żadnych złudzeń, że statek kosmiczny Pioneer trafi do obcego układu słonecznego, w którym znajduje się zaawansowana technologicznie cywilizacja pozaziemska. Oba statki kosmiczne obecnie opuszczają Układ Słoneczny z prędkością około 25 000 mil na godzinę, ale nawet przy tak zawrotnej prędkości dotarcie do naszego najbliższego gwiazdnego sąsiada, Alfa Centauri, zajęłoby sondom Pioneer około 80 000 lat. Niestety, sondy Pioneer nie kierują się w stronę układu Alfa Centauri, co skłoniło Sagana i Drake'a do oszacowania, że średni czas potrzebny na dotarcie sondy do 30 jednostek astronomicznych innej gwiazdy jest dłuższy niż wiek gwiazdy Droga Mleczna. Pomimo tych niewielkich szans, Sagan i Drake uznali za „możliwe, że niektóre cywilizacje znacznie bardziej zaawansowane niż nasza dysponują środkami wykrywania obiektu takiego jak Pioneer 10 w przestrzeni międzygwiazdowej, odróżniając go od innych obiektów o porównywalnej wielkości, ale nie sztucznego pochodzenia, a następnie przechwycenie i pozyskanie statku kosmicznego”. Treść tablic Pioneer była krytykowana z kilku powodów, takich jak przedstawianie nagości, uprzedzeń seksualnych i rasizmu polegającego na wykorzystywaniu postaci ludzkich, które wyglądały na kaukaskie. Są to uzasadnione obawy, którymi należy się zająć podczas konstruowania jakiegokolwiek wiadomości do komunikacji międzygwiazdowej, ale te krytyki zakładają również, że pozaziemska inteligencja byłaby w stanie w ogóle zrozumieć treść wiadomości. Sagan i Drake przyznali, że przesłanie na tabliczkach Pioniera było „odpowiednim, ale trudnym do osiągnięcia rozwiązaniem” i że „każda taka wiadomość będzie w mniejszym lub większym stopniu ograniczona przez ograniczenia ludzkich procesów percepcyjnych i logicznych”. Mimo że wiadomość „nieumyślnie zawiera antropocentryczną treść”, Sagan i Drake nadal uważali, że każda zaawansowana cywilizacja technologiczna, która mogłaby się z nią spotkać, byłaby w stanie rozszyfrować jej treść. Oczywiście przekaz zakłada, że jego odbiorca będzie miał jakąś zdolność wizualną, ale to nie wystarczy, aby zinterpretować symbole na tablicy. W 1977 roku, zaledwie cztery lata po tym, jak Pioneer 10 zakończył swój historyczny przelot nad Jowiszem, NASA wystrzeliła sondy Voyager 1 i Voyager 2 z misją przelotów obok Jowisza, Saturna, Neptuna i Plutona. Podczas swojej misji sonda Voyager osiągnęła prędkość ponad 35 000 mil na godzinę, więcej niż wystarczającą do ucieczki z Układu Słonecznego. Była to doskonała okazja do skonstruowania kolejnej wiadomości dla wszelkich cywilizacji pozaziemskich, które mogłyby przechwycić statek. Sagan po raz kolejny stanął na czele projektu, ale tym razem miał znacznie więcej czasu i zasobów, aby przekazać wiadomość. Rezultatem była para połączonych płyt fonograficznych. Na okładce każdego rekordu znajduje się kilka diagramów, w tym ten sam schemat przejścia wodoru i mapa pulsarów z płytki Pioniera. Był tam również diagram samego rekordu, który pokazywał prawidłowe umieszczenie igły do odtwarzania płyty oraz liczbę wyrażającą prawidłową prędkość obrotową rekordu (3,6 sekundy), która jest wyrażona w postaci okresu przejścia atomu wodoru (0,7 nanosekundy). Płyta zawierała wiele nagranych dźwięków, w tym Beethovena, tradycyjną muzykę zachodnioafrykańską, śmiech Sagana, śpiew ptaków i pozdrowienia w 55 różnych językach, a także 116

zdjęć. Jakakolwiek pozaziemska inteligencja, która ma miejsce na Voyagera, prawdopodobnie nie będzie wiedzieć, jak wydobyć dane wizualne zawarte na płycie, więc okładka zawiera również instrukcje rekonstrukcji obrazu i rysunek pierwszego obrazu na płycie (okrąg kalibracyjny) na przykład. Rekordy Voyager były pod wieloma względami znacznie lepsze od tablic Pioniera. Jest to szczególnie prawdziwe w kategoriach różnorodności ich treści, co jest bliższym przybliżeniem różnorodności ludzi na Ziemi. Zapis zawiera również znacznie więcej informacji, chociaż nie jest pewne, że informacje te byłyby sensowne dla pozaziemskiej inteligencji, gdyby udało jej się wydobyć dane z zapisu. Płyty fonograficzne to eleganckie urządzenia do przechowywania danych, które rejestrują dane audio za pomocą urządzenia, które przekształca fale dźwiękowe w energię elektryczną i wreszcie energię mechaniczną, która jest używana do tworzenia rowków w jakimś nośniku (zazwyczaj winylu), którego różne głębokości odpowiadają fali dźwiękowej. Aby odtworzyć dane, igła przymocowana do przetwornika przekształca energię mechaniczną wytwarzaną podczas śledzenia głębokości rowka na energię elektryczną, która jest następnie przekształcana w fale dźwiękowe. Zdolność przekształcania jednej formy energii w inną formę energii ma fundamentalne znaczenie dla każdego zaawansowanego technologicznie społeczeństwa i można założyć, że pozaziemska inteligencja zdolna do przechwytywania statku kosmicznego opracowała przetworniki. Jeśli tego nie zrobili, nie możemy mieć nadziei na komunikację z nimi w ogóle, ponieważ nie będą zdolni do radioastronomii. Dokładna analiza zapisów Voyagera ujawniłaby to głębokość rowków w rekordzie są zmienne, a po wykreśleniu tej zmiany wyglądałoby to jak przebieg, co daje pewne wskazanie, że rowki są używane do kodowania danych. Jeśli jednak istota pozaziemska zdoła wydobyć dźwięk z nagrania, prawdopodobnie będzie to bez znaczenia, ponieważ nie ma etykiety. Tak więc, chociaż pozdrowienia są dostępne w 55 różnych językach, nie ma wystarczających danych językowych w jakimkolwiek języku, aby przeprowadzić analizę wzorców jego treści. Co więcej, pozdrowienia różnią się zawartością, więc gdyby istota pozaziemska miała potraktować nagranie jako rodzaj kosmicznego Kamienia z Rosetty i próbować znaleźć związki między powitaniem, to od samego początku zostanie wprowadzona w błąd. W najlepszym przypadku można mieć nadzieję, że istota pozaziemska jest w stanie jedynie stwierdzić, że pozdrowienia są danymi językowymi opartymi na statystycznej zależności między jednostkami leksykalnymi. Jeśli chodzi o dźwięki niejęzykowe, można założyć, że istoty pozaziemskie nie będą w stanie rozszyfrować ich znaczenia. To może być możliwe aby ustalić, że nie jest to dźwięk wydawany przez zwierzę, ponieważ jego zakres częstotliwości jest zbyt szeroki, ale czy połączy sygnaturę akustyczną samolotu z wyrafinowaną bronią? Więcej nadziei budzi odgłosy zwierząt, a zwłaszcza śpiew ptaków i jęki wielorybów. Używając „filtru inteligencji” takiego, jaki przewidział Laurance Doyle, istota pozaziemska może być w stanie stwierdzić, że ćwierkanie przekazują informacje, ale nie są tym samym typem systemu komunikacji, co języki używane w powitaniach. Niestety, każdy z tych dźwięków zwierzęcia trwa tylko kilka sekund i może nie dostarczyć wystarczających danych, aby dokonać analizy częstotliwości znaczących jednostek w tych zwierzęcych systemach komunikacyjnych. 116 zdjęć zawartych w rekordzie zaczyna się od sześciu slajdów opracowanych przez Drake'a w celu opisania niektórych podstawowych definicji matematycznych, pojęć fizycznych i aspektów naszego Układu Słonecznego. Pierwsze sześć liczb naturalnych zostało wprowadzonych z ostensywną definicją (rząd kropek) i połączone z odpowiadającymi im cyframi binarnymi i arabskimi, wprowadzając w ten sposób arytmetyczne pojęcie tożsamości. Daje to podstawę do wprowadzenia innych podstawowych operatorów arytmetycznych, takich jak dodawanie i mnożenie za pomocą prostych równań, takich jak „ $2 + 3 = 5$ ”. Następnie podstawowe jednostki miary czasu (sekunda, dzień, rok), masy (gram i kilogram) oraz odległości (centymetry, metry, kilometry) określane są w postaci okresu przemian wodoru oraz masy atomu wodoru. Definicje wprowadzone w tych pierwszych obrazach są używane do oznaczania innych zdjęć w celu dostarczenia kontekstu, aby istota pozaziemska mogła dowiedzieć się ciekawych informacji, takich jak średnica i masa różnych planet w naszym Układzie Słonecznym. Pomimo ich najlepszych intencji, płyta Voyager i tablice Pioneer są rodzajem kosmicznej wiadomości w butelce,

która prawdopodobnie nigdy nie spłynie na obce wybrzeża. Nawet jeśli statek zostałby przechwycony, głęboki antropocentryzm każdej wiadomości sprawia, że jest mało prawdopodobne, aby ich zawartość została poprawnie odczytana. Rzeczywiście, Sagan przyznał później, że te artefakty zostały zaprojektowane bardziej ze względu na Ziemię, niż poważne próby ułatwienia komunikacji międzygwiazdowej. Fizyczne komunikaty to niezwykle energooszczędny sposób komunikacji pod względem ilości informacji przekazywanych na jednostkę energii potrzebnej do wysłania fizycznego artefaktu do danego miejsca docelowego (Rose i Wright 2004), a od czasu uruchomienia zapisów Voyager, liczne dalsze propozycje dotyczące przekazywania wiadomości wysunięto sondy międzygwiazdowe. W tym momencie jednak sama liczba potencjalnych celów sondy sprawia, że ich rozmieszczenie w innych układach słonecznych jest niepraktyczne.

MIKROFALA METI

Z wyjątkiem tablic Pioniera i rekordów Voyagera, każda międzygwiazdowa wiadomość wykorzystywała częstotliwości mikrofalowe jako medium komunikacyjne. Chociaż pasmo mikrofal waha się od 300 MHz do 300 GHz, METI skupia się głównie na stosunkowo wąskim paśmie od około 1 GHz do 10 GHz. Jest to znane jako „okno mikrofalowe”, tak zwane, ponieważ jest to jeden z nielicznych obszarów widma elektromagnetycznego, na które nie wpływają ziemskie gazy atmosferyczne. Przy częstotliwościach poniżej 30 MHz jonosfera jest nieprzezroczysta, co oznacza, że częstotliwości te nie mogą być nadawane z Ziemi w kosmos ani odbierane na Ziemi z kosmosu. Atmosfera jest również nieprzejrzysta dla większości częstotliwości wyższych niż 300 GHz, z wyjątkiem kilku pasm, które pozwalają na przechodzenie przez atmosferę światła widzialnego i niektórych promieni ultrafioletowych. Ziemskie okno mikrofalowe technicznie rozciąga się do 30 GHz, ale pasmo od 1 GHz do 10 GHz jest szczególnie cenione przez radioastronomów i badaczy SETI, ponieważ jest również najcichszą częścią widma radiowego w przestrzeni międzygwiazdowej. Wszechświat jest zalany szumem radiowym wytwarzanym przez zjawiska astrofizyczne, takie jak kosmiczne tło mikrofalowe, kwazary, pulsary, mgławice, a nawet planety w naszym Układzie Słonecznym, ale szum galaktyczny zaczyna być szczególnie „głośny” przy częstotliwościach poniżej 1 GHz. Ponieważ siła sygnałów radiowych jest zależna od prawa odwrotnego kwadratu - siła sygnału jest odwrotnie proporcjonalna do odległości od jego źródła - a sygnał będzie musiał podróżować przez pochłaniającą energię chmury pyłu i gazu międzygwiazdowego, każdy zrozumiały sygnał wysłany do pozaziemskiej cywilizacji z Ziemi będzie dość słaby, zanim dotrze do celu. Aby zmaksymalizować szansę, że ETI będzie w stanie wykryć międzygwiazdową wiadomość wśród kosmicznego szumu, konieczne jest nadawanie w najcichszym paśmie widma radiowego i na częstotliwości, która prawdopodobnie będzie monitorowana przez odbiorcę. Ponieważ większość szumów astrofizycznych jest rozmyta w bardzo szerokim paśmie częstotliwości, konwencjonalna opinia jest taka, że transmisja na pojedynczej, wąskiej częstotliwości nośnej z większym prawdopodobieństwem będzie wyróżniać się jako zrozumiały sygnał dla wszelkich istot pozaziemskich, które mogą nasłuchiwać. Nowoczesne programy SETI mogą skanować miliony wąskich kanałów (np. około 1 Hz) w czasie rzeczywistym i nawet miliardy kanałów offline. Monitorowanie kanałów wąskopasmowych zmniejsza szum tła, ponieważ kanał reprezentuje tylko niewielką część szumu szerokopasmowego, jednocześnie „zwiększając głośność” dowolnego sygnału nadawanego celowo na tej częstotliwości. Jest dobry powód, by podejrzewać, że jacyś pozaziemscy radioastronomowie zastosowaliby podobne strategie wyszukiwania wąskopasmowego. Pytanie do METI brzmi zatem, jak wąski jest sygnał. Na początku SETI zakładano, że węższy jest zawsze lepszy. Generalnie jest to nadal prawdziwe, ale tylko do wymiernego punktu. Kiedy sygnały radiowe przechodzą przez chmury wolnych elektronów w przestrzeni międzygwiazdowej, ruch tych chmur elektronów wywołuje efekt Dopplera na sygnale, który zakrzywia ścieżkę niektórych fotonów. Fotony, których ścieżki są zakrzywione, docierają do odbiornika dłużej, co skutkuje zwiększeniem szerokości pasma nawet najsilniejszych sygnałów. To definiuje dolną granicę szerokości pasma częstotliwości w

komunikacji międzygwiazdowej, która wynosi około 0,1 Hz i jest znana jako granica Drake-Helou. Niemniej jednak nadal można rozróżnić sygnały, na które ten rodzaj dyspersji wpłynął, jako sztuczne. Na przykład, sygnał nadawany na częstotliwości 1420 MHz zobaczy tylko rozprzestrzenianie się około 30 MHz. Podobnie, rozpraszanie międzygwiazdowe wyznacza górną granicę dla sygnałów szerokopasmowych na około 200 kHz. Chociaż okno mikrofalowe stanowi mniej niż 1 procent pasma mikrofal, nadal oferuje oszałamiającą gamę częstotliwości do wyboru. Jeśli transmisja międzygwiazdowa ma szerokość pasma tylko 1 Hz, czyli około dziesięć razy więcej niż absolutne minimum, istota pozaziemska nadal może wybierać spośród dziewięciu miliardów możliwych częstotliwości. Jeśli cywilizacja pozaziemskich wysoko ceni SETI, to możliwe, że monitorują wszystkie częstotliwości widma mikrofalowego. Jeśli jednak ich cywilizacja jest podobna do naszej, to ich programy SETI będą stale na skraju wyczerpania, a ich najbardziej zaawansowane programy będą w stanie tylko monitorować około 1% widma w wąskiej części nieba w dowolnym momencie. Jeśli weźmiemy własne społeczeństwo jako konserwatywne oszacowanie możliwości SETI pozaziemskiej cywilizacji, to szanse wykrycia wiadomości z Ziemi są potwornie niskie po prostu z powodu samej liczby możliwych częstotliwości, na których można nadawać. Fakt ten skłonił do poszukiwań „magicznych częstotliwości”, które są najbardziej prawdopodobne do wykorzystania jako kanał komunikacyjny. Oryginalna magiczna częstotliwość SETI wynosiła 1420 MHz, która jest emitowana przez atomy wodoru i jest uważana za szczególnie pomyślną ponieważ wodór jest najbardziej rozpowszechnionym pierwiastkiem we wszechświecie. W górę spektrum, jeden znajduje cztery częstotliwości emisji cząsteczek hydroksylu (OH), w zakresie od 1,612 GHz do 1,720 GHz zakresu częstotliwości, zakres od 1,420 GHz do 1,720 GHz jest znany jako „dziura wodna”, biorąc pod uwagę, że połączenie atomu wodoru i cząsteczki hydroksylu wytwarza wodę. „Natura dostarczyła nam raczej wąskiego pasma w tej części widma, które wydaje się szczególnie przeznaczone do kontaktu międzygwiazdowego” - podsumowała NASA w raporcie na temat Projektu Cyclops, pierwszego proponowanego przez agencję przedsięwzięcia SETI. „Stojąc jak Om i Um po obu stronach bramy, te dwie emisje produktów dysocjacji wody wzywają całe życie wodne do poszukiwania swego rodzaju w odwiecznym miejscu spotkań wszystkich gatunków: wodopoju”. Chociaż częstotliwość 1420 MHz została wybrana dla Projektu Ozma i wielu innych późniejszych obserwacji SETI, może nie być tak idealna do komunikacji, jak kiedyś przypuszczano. Od tego czasu wykazano, że częstotliwości od 1 do 3 GHz (w tym dziura wodna) są szczególnie podatne na międzygwiazdowe chmury elektronów, które powodują wzrost szerokości pasma sygnału. W rzeczywistości, najbardziej wykrywalny sygnał, który zużywa najmniej energii, został obliczony na około 70 GHz, który nadal znajduje się w „cichej strefie” Wszechświata, ale daleko poza oknem mikrofalowym Ziemi. Oznacza to, że nasza atmosfera może blokować wszelkie przychodzące sygnały pozaziemskie na tej optymalnej częstotliwości, jednocześnie wykluczając zoptymalizowane transmisje. Nawet gdybyśmy założyli placówkę METI na Księżycu do nadawania i odbierania, wykrywalność naszego sygnału byłaby teraz dodatkowo ograniczona przez założenie, że nasze pozaziemskie cele również przewyciężyły swoje zamiętnienie atmosfery. Na szczęście istnieją inne rozsądne magiczne częstotliwości, które nadal pozwalają na transmisje z lądu stałego (dla dokładnego przeglądu uzasadnienia za wieloma wiodącymi kandydatami na częstotliwości). Kilka godnych uwagi przykładów obejmuje harmoniczne linii wodorowej przy 2,840 GHz; iloczyn linii wodoru i pi, uzasadniony tym, że irracjonalność pi oznacza, że ta częstotliwość nie może być wytwarzana naturalnie jako harmoniczna, a zatem rozróżnia sygnał jako sztuczny; 8,67 GHz, czyli przejście spin-flip jonu 3He^+ , wybrane ze względu na następne najprostsze przejście po atomowym wodorze; i 203,385 GHz, co odpowiada „rozszczerzeniu stanu podstawowego najlżejszego atomu - pozytronium - i [zbiega się] z centroidem relikтового widma tła”. Po wybraniu częstotliwości do transmisji międzygwiazdowej, następnym zadaniem jest ustalenie, w jaki sposób informacje zostaną zakodowane w sygnale. Modulacja to technika osadzania informacji poprzez modyfikację jednej lub więcej właściwości (amplitudy, częstotliwości lub fazy) sygnału analogowego lub cyfrowego. Sygnał analogowy składa się

z sinusoidalnego lub ciągłego przebiegu, który można uznać za reprezentujący nieskończoną liczbę możliwych wartości w danym zakresie. Z drugiej strony sygnał cyfrowy jest przebiegiem schodkowym, który zawsze przedstawia wartość dyskretną. Na Ziemi każdy, kto kiedykolwiek słuchał radia, jest zaznajomiony z modulacją amplitudy (AM) i modulacją częstotliwości (FM) sygnału analogowego. Chociaż działa to wystarczająco dobrze do komunikacji naziemnej i szczególnie dobrze nadaje się do komunikacji głosowej, ma kilka wad, które czynią go mniej niż idealnym do komunikacji międzygwiazdowej, takie jak niski stosunek sygnału do szumu i trudności z korekcją błędów. Niekoniecznie wyklucza to użycie sygnałów analogowych w metodzie METI, a transmisje analogowe otwierają interesujące możliwości tworzenia wiadomości. Na przykład w 2001 Teen Age Message celowo wykorzystano transmisję analogową, aby wskazać, że sygnał miał charakter artystyczny, a nie językowy, co objawiałoby się jako sygnał cyfrowy. Wiadomości międzygwiazdowe w przeszłości polegały na technikach modulacji cyfrowej - znanych jako kluczkowanie - do kodowania informacji w transmisji międzygwiazdowej. Kilka metod kodowania cyfrowego jest podobnych do kodowania analogowego, takich jak kluczkowanie z przesunięciem częstotliwości (FSK), kluczkowanie z przesunięciem amplitudy (ASK), kluczkowanie z przesunięciem fazowym (PSK) i kombinatoryczne metody kluczkowania, takie jak kwadraturowa modulacja amplitudy (QAM). Każda z tych technik modulacji cyfrowej modyfikuje pewną charakterystykę sygnału między dwiema lub więcej wartościami dyskretnymi w celu zakodowania informacji binarnej i wiąże się z kompromisem pod względem zrozumiałości sygnału. Na przykład FSK wymaga, aby odbiornik monitorował co najmniej dwie częstotliwości jednocześnie, ale ma wysoki stosunek sygnału do szumu. Z drugiej strony PSK jest mniej odporny na szum, ale jest znacznie bardziej efektywny pod względem przepustowości. Równoczesne modulowanie polaryzacji fali pomoże również wyróżnić sygnał jako sztuczny. Wybór jednego paradygmatu modulacji w porównaniu z drugim zależy w dużej mierze od parametrów przekazu i budżetu energetycznego transmisji. W zasadzie te techniki modulacji są takie same, niezależnie od tego, czy sygnał jest wysyłany na Ziemię, czy w kosmos, ale komunikacja międzygwiazdowa stwarza kilka wyjątkowych trudności ze względu na brak koordynacji między nadajnikiem a odbiornikiem. Aby naiwnie zilustrować ten problem, rozważ hipotetyczną transmisję wykorzystującą modulację FSK, w której sygnał zmienia się między 1420 MHz a 1450 MHz, aby zakodować odpowiednio 0 i 1. Załóżmy, że przesyłany komunikat składa się z 8 bitów-00110101- i jest przesyłany z prędkością 1 bitu na sekundę. Istota pozaziemska otrzyma w ten sposób sygnał składający się z dwusekundowego impulsu przy 1420 MHz, po którym nastąpi dwusekundowy impuls przy 1450 MHz, a następnie cztery impulsy naprzemiennie dwie częstotliwości po jedną sekundę. Jak będzie istota pozaziemska zinterpretować ten sygnał? Najbardziej oczywistą interpretacją jest to, że każda częstotliwość reprezentuje cyfrę binarną. Jednak wprowadza to trudność: istoty pozaziemskie nie wiedzą, ile danych zawiera każdy impuls radiowy. Na przykład dwusekundowy impuls o częstotliwości 1420 MHz może zakodować „00” lub „0000”. Dopóki istota pozaziemska nie zna szybkości transmisji, wydobycie sekwencji binarnej z sygnału będzie prawie niemożliwe. Jedną z metod rozwiązania tego problemu jest dołączenie dodatkowego sygnału, który działa jak zegar, którego istota pozaziemska może używać do synchronizowania swoich urządzeń z przepływnością sygnału przychodzącego. Taki zegar zasadniczo składałby się ze zmiennego strumienia binarnego (np. 01010101010 ...), w którym liczba przejść na sekundę odpowiada przepływności kanałów danych. Biorąc pod uwagę powtarzający się charakter tego sygnału i jego szybkie oscylacje, uzasadnione jest przypuszczenie, że istota pozaziemska nie pomyli go z zakodowanymi danymi, a nawet potencjalnie mógłby zostać użyty jako latarnia morska, która zarówno zwraca uwagę na sygnał, jak i synchronizuje nadajnik i odbiornik. Inną metodą zwrócenia uwagi na ten sygnał jako zegar jest sprawienie, aby sygnał przenoszący zegar był znacznie mocniejszy niż kanały danych. Chociaż zegar może być nadawany jako własny sygnał, można go również zakodować w samej wiadomości. Jedną z metod jest kodowanie Manchester, rodzaj kluczkowania z przesunięciem fazowym, który łączy zegar i dane w jeden sygnał. Osiąga się to poprzez kodowanie

wartości binarnych jako przejścia między dwoma dyskretnymi stanami. Na przykład 0 jest kodowane jako przejście ze stanu „High” do stanu „Low”, a 1 jest kodowane jako przejście ze stanu „Low” do stanu „High”, podczas gdy każde przejście reprezentuje jeden cykl zegara. Wadą tej metody kodowania jest oczywiście to, że podwaja przepustowość wymaganą dla sygnału. Projekt międzygwiazdowej wiadomości radiowej wymaga zatem analizy kosztów i korzyści, która uwzględni szerokość pasma sygnału, docelowy system gwiazdowy, moc nadajnika, wybraną częstotliwość i szybkość transmisji, a także niektóre przypuszczenia dotyczące natury pozaziemskiej technologii odbiorczej. Podsumowując, ustawiają one ograniczenia dotyczące rozmiaru wysyłanej wiadomości. Rozważmy na przykład sytuację, w której teleskop Arecibo jest używany do przesyłania wiadomości na częstotliwości 1420 MHz do odległej o 100 lat świetlnych cywilizacji pozaziemskiej, która ma porównywalny teleskop odbiorczy. Najlepsza praktyka w komunikacji radiowej sugeruje, że szerokość pasma sygnału będzie wynosić od 0,1 do 10 procent częstotliwości nośnej, więc transmisja na częstotliwości 1420 MHz wykorzystywałaby szerokość pasma około 70 MHz. Jeśli pożądany stosunek sygnału do szumu wynosi 1 - niezwykle wyraźny sygnał - wówczas równanie ilości informacji, które można przesłać tym kanałem, zwraca 70 megabitów na sekundę lub około 750 gigabajtów informacji dziennie. Wykonalność tego scenariusza zależy od zdolności do osiągnięcia stosunku sygnału do szumu równego 1, który jest funkcją gęstości mocy nadajnika. W tym przypadku osiągnięcie takiego stosunku sygnału do szumu wymagałoby gęstości mocy 1 kilowata na herc lub 70 gigawatów rozłożonych na całe pasmo 70 MHz. To zapotrzebowanie na energię jest znaczne: stanowi około 0,5% całkowitej zdolności produkcyjnej Ziemi, która jest daleko poza zasięgiem naszych najpotężniejszych radioteleskopów. Przeznaczenie tak dużej ilości energii wyłącznie na komunikację międzygwiazdową jest nierealne, ale wymagania dotyczące mocy można znacznie zmniejszyć, zmieniając parametry transmisji. Jeśli założymy, że program SETI istot pozaziemskich jest porównywalny z naszym, to będą poszukiwać sygnałów o szerokościach pasma około 1 Hz i będą używać instrumentów wystarczająco czułych, aby obsłużyć stosunek sygnału do szumu znacznie poniżej 1. Tak więc, Zapotrzebowanie na moc do transmisji można znacznie zmniejszyć, znacznie ograniczając szerokość pasma wiadomości lub szybkość transmisji danych, co będzie wiązało się z kompromisem w zakresie czasu transmisji. Alternatywnie można założyć, że społeczeństwo pozaziemskie będzie miało radioteleskopy z większymi obszarami odbiorczymi niż na Ziemi (tj. większymi niż jeden kilometr kwadratowy). Na przykład kosmiczne wezwanie z 1999 roku z 70-metrowego teleskopu Eupatoria na Ukrainie wysłało wiadomości o szerokości pasma 48 kHz do gwiazd w odległości 70 lat świetlnych od Ziemi, wykorzystując tylko 150 kW energii i szybkości transmisji od 100 do 2000 bitów na sekundę. Każdy z tych parametrów znajduje się kilka rzędów wielkości poniżej hipotetycznej sytuacji opisanej powyżej. Chociaż ta wiadomość będzie dość słaba, gdy dotrze do docelowych systemów gwiazdowych, wszelkie istoty pozaziemskie jako odbiorca wiadomości powinien być w stanie wykryć ją z odbiornikami tylko nieco bardziej zaawansowanymi niż najpotężniejsze istniejące radioteleskopy na Ziemi. Jeśli istota pozaziemska może wykryć sygnał, określić jego przepływność, aby wyodrębnić surową sekwencję binarną, a następnie przeanalizować tę sekwencję w celu określenia mechanizmu kodowania, ostatnim krokiem będzie interpretacja treści wiadomości. Na Ziemi stworzono kilka standardów koordynujących transmisję danych cyfrowych i ułatwiających wymianę informacji między urządzeniami. Na przykład nowoczesny amerykański kodeks wymiany informacji (ASCII) odwzorowuje unikalne 8-bitowe sekwencje na 255 znaków językowych, liczb i znaków sterujących. W przypadku komunikacji międzygwiazdowej, oczywiście, tego rodzaju uzgodnionych standardów nie można określić z góry. Istota pozaziemska otrzyma po prostu duży niezróżnicowany strumień binarnych informacji i będzie musiała rozszyfrować wzorce i relacje między fragmentami danych w tym sygnale, aby określić, w jaki sposób kodowane są symbole lub inne informacje. Jak widzieliśmy, najważniejsze jest, aby wiadomości międzygwiazdowe były tak zaprojektowane, aby umożliwić ten proces dekodowania.

OMETI

Przed pojawieniem się komunikacji radiowej każdy schemat kontaktowania się z istotami pozaziemskimi obejmował jakiś rodzaj aparatu optycznego. Na przykład austriacki astronom Joseph von Littrow zasugerował utworzenie masywnych kanałów płonących, aby komunikować się z istotami pozaziemskimi, o których przypuszcza się, że istnieją na Marsie. Francuski astronom Camille Flammarion zasugerował stworzenie dużych zestawów lamp elektrycznych z tego samego powodu. Pomimo najlepszych intencji tych wczesnych twórców kosmitów, wiemy teraz, że nawet gdyby istniało inteligentne życie na Marsie, nigdy nie bylibyśmy w stanie zbudować na Ziemi luster wystarczająco dużych, aby odbijały światło, które mogliby zobaczyć Marsjanie, a tym bardziej z odległości międzygwiazdowych. Chociaż teoretycznie jest możliwe, aczkolwiek szalenie niepraktyczne, zbudowanie luster o wymaganej wielkości w kosmosie, głównym problemem związanym z tą propozycją komunikacji międzygwiazdowej jest natura samego źródła światła. Brak spójności w świetle słonecznym poważnie ograniczyłby siłę lustrzanego sygnału. Jednak nawet gdybyśmy próbowali przewyciężyć rozbieżność światła słonecznego za pomocą soczewki, która skupiała światło słoneczne na naszym celu, aby zwiększyć siłę sygnału - podobnie jak szkło powiększające może być użyte do wzniecenia ognia na Ziemi - widma emisyjne światła słonecznego nadal utrudniłoby wykrycie naszego sygnału przez pozaziemskich astronomów optycznych. Powodem tego jest to, że światło słoneczne jest rozmazane przez widzialną część widma elektromagnetycznego, czyli potpourri częstotliwości lekko przesuniętych w kierunku niebieskiego końca widma optycznego. Aby transmisja optyczna wyróżniała się na tle światła gwiazd, sygnał musiałby być skoncentrowany w wąskim paśmie, wystarczająco mocnym, aby wyróżnić się na tle szumu naszego Słońca i łatwo modulowanym, aby można było w nim zakodować informacje. W 1953 roku zespół fizyków z Columbia University pod kierownictwem Charlesa Townesa stworzył pierwszy maser, urządzenie wytwarzające spójne wiązki promieniowania mikrofalowego. Wkrótce potem Townes i jego koledzy stworzyli koncepcję podobnego urządzenia, masera optycznego, które wytwarzałoby spójne wiązki widzialne i światło podczerwone. Do 1960 roku maser optyczny (obecnie lepiej znany jako laser) przeszedł od teorii do rzeczywistości, a Townes natychmiast pojął jego znaczenie dla komunikacji międzygwiazdowej. W artykule opublikowanym zaledwie sześć miesięcy przed zwołaniem przez Franka Drake'a Order of the Dolphin w Green Bank Townes nakreślił podstawy tego, co od tego czasu stało się znane jako optyczne SETI lub OSETI. Chociaż Townes przyznał, że technologie laserowe są „wciąż na szczytkowym etapie”, obliczył, że cywilizacja pozaziemska tak zaawansowana jak nasza w ciągu około dziesięciu lat świetlnych byłaby w stanie wygenerować wiązkę laserową, którą można by wykryć na Ziemi. Przewidział również, że komunikacja laserowa będzie „całkiem praktyczna” w komunikacji międzyplanetarnej w naszym Układzie Słonecznym. Lasery mogą być używane do komunikacji międzygwiazdowej jako sygnały impulsowe lub ciągłe światła ostrzegawcze, chociaż sygnały ciągłe są trudniejsze do wykrycia w świetle gwiazd w tle. Z drugiej strony sygnały impulsowe trwają tylko kilka miliardowych części sekundy i jako takie mogą wydawać się kilka tysięcy razy jaśniejsze niż gwiazda macierzysta ich nadawcy bez użycia nadmiernej ilości energii. Te krótkie impulsy światła widzialnego lub podczerwonego wyróżniałyby się jako sztuczne, ponieważ impulsy świetlne ze zjawisk astrofizycznych generalnie występują w skali mikrosekundowej. Co więcej, międzygwiazdowa komunikacja laserowa byłaby skoncentrowana w niezwykle wąskim zakresie częstotliwości, co byłoby łatwe do wykrycia jako skoki skoncentrowanej energii przez spektrometr o wystarczająco wysokiej rozdzielczości. Informacje można zakodować cyfrowo w sygnale optycznym poprzez modulację długości fali, przesunięcia polaryzacji lub synchronizację impulsów. Lasery są quasi-monochromatyczne powyżej określonego czasu trwania impulsu, więc cyfrowe kodowanie wiadomości z modulacją długości fali wymagałoby przesunięcia między dwiema lub bardziej wąskimi odstępami częstotliwości. Lasery spolaryzowane mają pole elektryczne, które oscyluje prostopadle do wiązki lasera, więc zmiana orientacji tej polaryzacji może

być również wykorzystana do kodowania informacji. Wreszcie, synchronizacja impulsów wykorzystuje krótkie i długie impulsy laserowe do kodowania informacji w sposób podobny do alfabetu Morse'a. Co ważne, każda z tych trzech metod przesyła dane z różnymi szybkościami, a wszystkie trzy formy modulacji można połączyć w jednym impulsie, aby umożliwić wysyłanie większej ilości danych lub dodatkową redundancję w komunikacie. Efekty rozpraszania ośrodka międzygwiazdowego sugerują, że lasery podczerwone są lepsze niż światło widzialne w przypadku wiadomości międzygwiazdowych wysyłanych na odległości większe niż 100 lat świetlnych. Biorąc jednak pod uwagę wpływ dyspersji na sygnały podczerwone (tj. te o długości fali większej lub równej 1 mikrometr), odległość do celu ogranicza jednak liczbę impulsów, które mogą być wysłane na sekundę. Na przykład sygnał optyczny o długości fali 1 mikrometra byłby ograniczony do około 1 biliona impulsów na sekundę, podczas gdy sygnał optyczny o długości fali 10 mikrometrów byłby ograniczony do 10 miliardów impulsów na sekundę. Pomimo tych ograniczeń optyczna komunikacja międzygwiazdowa jest cenna, ponieważ jest to medium o dużej gęstości informacji w porównaniu do komunikacji mikrofalowej. W naiwnym hipotetycznym scenariuszu, w którym system podczerwieni jest używany do przesyłania jednego impulsu na sekundę, a każdy impuls zawiera 1 bit danych, możliwe jest zasygnalizowanie układu gwiazdowego oddalonego o 100 lat świetlnych ze strumieniem fotonów dziesięć razy większym niż nasze Słońce, używając tylko 1 kilowat mocy. Oczywiście wraz ze wzrostem szybkości transmisji danych rosną również wymagane wymagania energetyczne. W porównaniu z sygnałami mikrofalowymi, komunikacja optyczna ma znacznie większe zapotrzebowanie na energię. lub na przykład, jeśli szerokopasmowa wiadomość radiowa wykorzystywałaby całe 9 GHz szerokości pasma w oknie mikrofalowym Ziemi, miałaby szybkość transmisji porównywalną do szczytowej szybkości transmisji danych przesłanej za pomocą podczerwieni o długości fali 10 mikrometrów, ale radio przekaz wymagałby do ośmiu rzędów wielkości mniejszej mocy niż przekaz optyczny. Ten przykład ma głównie na celu zademonstrowanie bardzo różnych wymagań dotyczących mocy między przesyłaniem komunikatów mikrofalowych i optycznych, a nie zasugerowanie, że obie techniki przesyłania komunikatów są równie wykonalne. Schemat kodowania niezbędny do stworzenia wiadomości obejmującej 9 GHz byłby nie tylko niezwykle złożony, ale również wymagałby radioteleskopu o efektywnej aperturze równej około połowie średnicy Ziemi, aby nadawać na dolnym końcu widma mikrofalowego do układów gwiazdowych 1000 lat świetlnych stąd. Pierwsza obserwacja OSETI miała miejsce w Związku Radzieckim w 1973 roku i zeskanowała kilka gwiazdnych celów. Od tego czasu dokonano tysięcy obserwacji OSETI i utworzono kilka dedykowanych obserwatoriów OSETI. OSETI wydaje się szczególnie obiecująca, ponieważ mamy już technologię optyczną na Ziemi do tworzenia wyrafinowanych urządzeń transmisyjnych, które mogą przysyłać sygnały o dużej mocy do odległych gwiazd, co sugeruje, że prawdopodobnie tak samo dzieje się z każdą pozaziemską inteligencją w naszym galaktycznym sąsiedztwie. Jednak pomimo obietnicy OSETI, nie było jeszcze żadnych projektów „OMETI”. W rzeczywistości NASA dopiero niedawno zaczęła eksperymentować z komunikacją laserową między Ziemią a Księżycem, która jest najdalszym łączem komunikacji laserowej, jaki kiedykolwiek ustanowiono. Brak projektów OMETI ma jednak więcej wspólnego z ochroną zasobów niż z ograniczeniami technologicznymi. Transmisje laserowe są nie tylko znacznie bardziej energochłonne niż transmisje mikrofalowe, ale teleskopy optyczne wymagają również wyrafinowanych adaptacji sprzętu, aby mogły transmitować sygnały laserowe. Jedynym projektem, który poważnie rozważa misję, którą można by sklasyfikować jako OMETI, jest Breakthrough Initiative, program badawczy finansowany przez rosyjskiego miliardera Jurija Milnera na kwotę 100 milionów dolarów. Oprócz poszukiwania pomysłów na zawartość międzygwiazdowych wiadomości (Breakthrough Message) i finansowania projektu SETI (Breakthrough Listen), inicjatywa Milnera obejmuje Breakthrough Starshot, ambitny plan wykorzystania szeregu laserów w skali kilometrowej do wytwarzania 100-gigawatowych impulsów laserowych, które będą napędzać miniaturowe nano-statki do Alpha Centauri z prędkością 20% prędkości światła. Alpha Centauri to trójśłoneczny układ, który kiedyś uważano za

gospodarza planety wielkości Ziemi, chociaż to twierdzenie zostało od tego czasu poddane poważnym wątpliwościom. Misją Breakthrough Starshot nie jest poszukiwanie inteligentnego życia wokół Alpha Centauri, ale raczej scharakteryzowanie naszego najbliższego gwiazdnego sąsiada. Niemniej jednak, jeśli projekt dojdzie do skutku, może również kwalifikować się jako pierwszy podany projekt OMETI, że wyciek z wiązki promieniowania używanego do napędzania statku kosmicznego będzie wykrywalny na dystansach międzygwiazdowych

SZTUKA JAKO JĘZYK UNIWERSALNY

Po wypuszczeniu złotych płyt Voyager, sztuki wizualne i muzyczne zaczęły zajmować coraz bardziej znaczące miejsce w projektowaniu wiadomości międzygwiazdowych. Pierwszym wystąpieniem sztuki nadawanym w kosmos był dźwięk skurczów pochwy balerin transmitowany z radaru Millstone MIT przez Joe Davisa w 1985 roku. Transmisja Davisa do Tau Ceti i Epsilon Eridani została ostatecznie przerwana przez siły powietrzne po tym, jak dowiedziały się o treści transmisji. Jednak w ciągu trzydziestu lat od transmisji Davisa w kosmos nadano co najmniej pięć innych artystycznych przesłań. Nacisk na elementy artystyczne w przekazach międzygwiazdowych nie jest zaskakujący, biorąc pod uwagę, że każda kultura na Ziemi wytwarza sztukę wizualną i słuchową. Rzeczywiście, sztuka jest często opisywana jako język uniwersalny, co sugeruje, że może służyć jako solidna podstawa do komunikowania się z pozaziemskimi inteligencjami. Widoczne zalety używania obrazów i muzyki do komunikacji międzygwiazdowej obejmują gęstość informacji, zmniejszoną abstrakcję (przynajmniej w przypadku ikon) i wyjątkowy wgląd w ludzkie poznanie. Jednak pomimo wszystkich swoich zalet, wiadomości oparte na sztuce zakładają duże domniemanie, że pozaziemski odbiorca ma również impuls artystyczny. Nawet jeśli istoty pozaziemskie produkują własną sztukę, to jednak nie rozwiązuje to znacznie większego problemu, w jaki sposób mają rozpoznać, że treść naszego przesłania ma charakter artystyczny, a nie językowy czy naukowy. Aby docenić trudność tego problemu, wystarczy wziąć pod uwagę, jak sporna jest definicja sztuki na Ziemi. Chociaż większość ludzi ma intuicyjne poczucie sztuki - „wiedzą ją, gdy ją widzą” - nie ma powszechnie przyjętej formalnej definicji sztuki, która odróżnia ją od innych dziedzin. Na przykład wiele definicji sztuki przywołuje kontekst jako czynnik determinujący. Ten nacisk na kontekst został wykorzystany w ready-mades Marcela Duchampa, z których najśłynniejszym jest Fontanna. Umieszczając pisuar w galerii i upiększając go wystawą, Duchampowi udało się zamienić całkowicie przyziemny przedmiot w dzieło sztuki. Stąd głównym problemem związanym z wykorzystaniem sztuki w przekazach międzygwiazdowych jest zapewnienie odpowiedniego kontekstu do jej prawidłowej interpretacji. Choć problem ten nawiedza także komunikaty językowe i matematyczne, w przypadku sztuki nasila się on w stosunku do innych systemów komunikacji symbolicznej. W końcu, co istoty pozaziemskie mogą zrozumieć z obrazu Salvadora Dalí? Czy założyliby, że Ziemia jest zamieszkała przez topiące się zegary i słonie na palach? Na Ziemi kantata Bacha lub obraz Dalego wywołują emocje i można je „zrozumieć” w kontekście ich środowiska, ale są one sprzeczne z określonym znaczeniem w sensie, który rozumiemy jako „Stop!” jako polecenie zatrzymania naszego ruchu. Z drugiej strony te dzieła sztuki można zrozumieć na poziomie technicznym. Na przykład fugi Bacha słyną z matematycznej precyzji, cechy, którą prawdopodobnie doceniłaby pozaziemska inteligencja - ale czy wyczułby melancholię Pasji według św. Mateusza? Jednym z możliwych rozwiązań jest użycie wyłącznie sztuki abstrakcyjnej, którą można uznać za powszechnie zrozumiałą, biorąc pod uwagę odrzucenie przez nią „kontekstów kulturowych, historycznych czy politycznych”. Pytanie o to, jaki rodzaj sztuki zawrzeć w międzygwiazdowym przesłaniu, jest ważne i warto rozważyć. Biorąc jednak pod uwagę brak jakiegokolwiek bezwarunkowej definicji sztuki, rozważymy tutaj zalety dwóch mediów artystycznych - obrazu i dźwięku - które mogą być zwana sztuką tylko w najluźniejszym tego słowa znaczeniu.

KONWENCJONALNOŚĆ OBRAZÓW

Dwa lata po tym, jak statek kosmiczny Voyager wyruszył w podróż poza Układ Słoneczny, Kongres Stanów Zjednoczonych upoważnił Departament Energii do budowy pilotażowej instalacji izolacji odpadów (WIPP) w pobliżu Carlsbad w Nowym Meksyku „w celu zademonstrowania bezpiecznego usuwania odpadów radioaktywnych wynikających z działań i programów obronnych Stanów Zjednoczonych”. Materiały transuranowe, które wytwarzają odpady nuklearne, często mają niezwykle długie okresy półtrwania rzędu tysięcy lat, co stanowi szczególnie trudny problem inżynierski dla osób, których zadaniem jest projektowanie obiektów składowania zużytego materiału rozszczepialnego. Z tego powodu WIPP i kilka innych istniejących składowisk odpadów radioaktywnych jest zasadniczo zaprojektowanych jak grobowce. Po zamknięciu nie należy ich ponownie otwierać. Jednak, jak przypomina nam archeologiczny podbój Egiptu i miejsc innych starożytnych cywilizacji, ludzie mają niewiele skrupułów przed łamaniem starożytnych pieczęci. Nie ma powodu, by podejrzewać, że przyszli ludzie nie będą kierować się podobną ciekawością. Chociaż niepokoiony Tutanchamon nie rzucił klątwy na ekipę wykopalisk Howarda Cartera, żaden przyszły Ziemianin, który odważyłby się wejść do naszych składowisk odpadów jądrowych, nie miałby tyle szczęścia. Znaczenie ochrony WIPP, pierwszego dedykowanego podziemnego składowiska odpadów nuklearnych w Stanach Zjednoczonych, od przyszłej ingerencji ludzi, nie zostały utracone przez jego architektów. W 1985 roku Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych wydała dyrektywę, która podkreśliła potrzebę stosowania znaczników ostrzegawczych, które zapobiegałyby nieumyślnemu wtargnięciu ludzi przez dziesięć tysięcy lat - zgodnie z przepisami obowiązującymi w repozytorium. Biorąc pod uwagę, że najstarsze pisemne zapisy na Ziemi pochodzą sprzed około pięciu tysięcy lat, a znaczenie kilku starożytnych zapisów zostało utracone dla historii, stworzenie wiadomości, która byłaby zrozumiała przez dwa razy więcej niż ten okres czasu, było trudnym wyzwaniem. Zgodnie z dyrektywą EPA, Sandia National Laboratories zwołało grupę roboczą złożoną z naukowców, lingwistów, antropologów i artystów, których zadaniem było zaprojektowanie komunikatów ostrzegawczych, które byłyby zrozumiałe przez dziesięć tysięcy lat. Godną uwagi cechą trzynastoosobowej grupy zadaniowej była silna reprezentacja badaczy SETI, w tym Woodruffa T. Sullivana, Franka Drake'a i Jona Lomberga, artysty, który zaprojektował oryginalną ikonografię dla złotych płyt Voyager. W liście odrzucającym zaproszenie do udziału w grupie zadaniowej Carl Sagan elokwentnie sformułował obecny problem. „Instytucje społeczne, konwencje artystyczne, język pisany i mówiony, wiedza naukowa, a nawet poświęcenie się rozumowi i prawdzie mogą się drastycznie zmienić” - napisał Sagan. „Potrzebujemy symbolu niezmiennego dla wszystkich możliwych zmian. Co więcej, chcemy symbolu, który będzie zrozumiały nie tylko dla najbardziej wykształconych i posiadających wiedzę naukową członków populacji, ale dla każdego, kto mógłby trafić na to repozytorium”. Sagan zalecał, by przesłanie ostrzegawcze trwające dziesięć tysięcy lat to czaszka i skrzyżowane piszczele, emblemat, który wydawał się mieć „niewątpliwe” znaczenie. „Jest to symbol używany na nadprożach mieszkań kanibali, flagach piratów, insygniach dywizji SS i gangów motocyklowych, etykietach butelek z trucizną” - stwierdził Sagan. „Ludzka anatomia szkieletu, możemy być pewni, nie zmieni się nierozpoznawalnie w ciągu najbliższych kilkudziesięciu tysięcy lat” (Trauth, Hora i Guzowski 1993). Przekonanie Sagana o uniwersalności czaszki i skrzyżowanych piszczeli jako znaku ostrzegawczego jest intuicyjne, ale nieprzekonujące. Ta makabryczna ikonografia jest wyraźnie

Zachodni symbol, który prawdopodobnie wyłonił się z kultury masońskiej i choć zawsze był symbolem śmierci, stosunkowo niedawno zaczął oznaczać na całym świecie toksyczność lub niebezpieczeństwo. Tak więc, jeśli futuryści mają rację i jesteśmy u progu integracji człowieka i maszyny, nasi przodkowie-cyborgi mogą interpretować czaszkę i skrzyżowane piszczele przy wejściu do naszych repozytoriów jądrowych jako znak starożytnej, dwudziestowiecznej kostnicy wypełnionej szczątkami ich przodków, które nadal były bardziej ciałem niż krzemem. Trudno sobie wyobrazić bardziej ekscytującą perspektywę dla archeologów przyszłości. Chodzi o to, że wszystkie obrazy są obarczone

niejednoznacznością, co jest jednym z wielu powodów, dla których twórcy przekazu WIPP przestrzegali przed zbytnim poleganiem na artystycznych ostrzeżeniach. Historycznie rzecz biorąc, wiadomości oparte na obrazie były uznawane za nadrzędny sposób komunikacji międzygwiazdowej zarówno pod względem gęstości informacji, jak i pozornie bezpośredniego związku między obrazem a tym, co on przedstawia. Termin określający obraz, który jest fizycznie podobny do rzeczy, którą reprezentuje, to „ikona”, podczas gdy obraz, który ma arbitralne, konwencjonalne powiązanie z rzeczą, którą przedstawia, jest „symbolem”. Na przykład propozycja Gaussa dotycząca międzyplanetarnej wiadomości składającej się z masywnego obrazkowego dowodu twierdzenia Pitagorasa w syberyjskiej tundrze jest ikoniczna, podczas gdy „ $a^2 + b^2 = c^2$ ” jest symboliczne. Jednak, jak widzieliśmy w przypadku użycia czaszki jako ostrzeżenia WIPP, to, czy obraz jest interpretowany jako symbol czy ikona, nadal może być kwestią konwencji i kontekstu.

Argumentowano, że ikony są preferowane dla wiadomości międzygwiazdowych, ponieważ drastycznie zmniejszają liczbę trudności interpretacyjnych związanych z symbolami. Wydaje się jednak, że wiele konwencji wiąże się nawet z ikonami, które zależą od subiektywnych lub kulturowych modeli rzeczywistości. Rozważmy na przykład historię spotkania szwajcarskiego artysty z członkiem plemienia Sioux w XIX wieku. Kiedy szwajcarski artysta narysował sylwetkę konnego mężczyzny, tylko jedną nogę można było zobaczyć z perspektywy artysty, a drugą zastępował koń. Jednak kiedy Sioux narysował tę samą scenę, mężczyzna na koniu był z profilu, ale obie nogi były widoczne dla widza. Chociaż szwajcarski artysta protestował przeciwko nierzeczywistości rdzennych przedstawień, Siouxowie mieli gotową obronę: „Ale widzisz, człowiek ma dwie nogi”. W tym przypadku zarówno szwajcarski, jak i Sioux artysta reprezentowali tę samą obiektywną rzeczywistość, ale ich modele rzeczywistości były różne. Jest to analogiczne do problemu niewspółmierności, który napotyka międzygwiazdowe przekazy naukowe, który zakłada, że nauka o kosmosach będzie taka sama jak nasza. Podobne trudności są nieodłączne w przypadku międzygwiazdowych wiadomości opartych na obrazach. Weźmy pod uwagę „piktogram” Drake'a wysłany z Arecibo w 1974 r. Mapa bitowa zawiera ikonyczną reprezentację DNA, ale nie ma powodu, aby sądzić, że ta dwuwymiarowa reprezentacja helikalnej struktury DNA jest jedynym sposobem jej przedstawienia lub że zostanie zinterpretowana takie jak. Rzeczywiście, kiedy neurobiolog Michael Arbib zbadał prototyp międzygwiazdowego przekazu Drake'a z 1960 roku, pokazał, jak reprezentację atomów Drake'a można zinterpretować jako „sześćonożne... wielkomózgowe stworzenia z ogonami”. Ten problem nie dotyczy wyłącznie bitmap, ale dotyczy również zdjęć zawartych na statku Voyager i zakodowanych w wiadomościach Cosmic Call. Rozważmy na przykład, czy chcielibyśmy wysłać zdjęcie Ziemi istotom pozaziemskim. Czy powinniśmy wysłać upływ czasu, który przekazuje prędkość obrotową planety, czy zdjęcie wschodu Ziemi z powierzchni Księżyca? A co z kompozytem planety, który usuwa całą pokrywą chmur? Żaden z tych obrazów nie jest „obiektywną” reprezentacją Ziemi. Każda z nich zawiera w sobie stronniczość fotografa, który świadomie podjął decyzję o podkreśleniu jednego aspektu planety nad innymi na zdjęciu. Ostatnim problemem związanym z komunikatami wizualnymi jest ich niezdolność do przekazywania wypowiedzi. Chociaż obrazy są bogate w informacje, ich zdolność do przekazywania twierdzeń o abstrakcyjnych ideach jest bardzo ograniczona. Weźmy na przykład pod uwagę trudność wizualnego przedstawienia „To jest stwierdzenie” lub jego zaprzeczenie. Jednak, jak zauważył historyk sztuki Ernst Gombrich, ubóstwo obrazów w komunikacji nie wynika wyłącznie z abstrakcyjności języka naturalnego. Jeśli ktoś miałby wizualnie przedstawić stwierdzenie, takie jak „kot jest na macie”, można by narysować kota siedzącego na macie. Nie udaje się to jednak uchwycić ważnych aspektów stwierdzenia, takich jak to, czy mówimy o tym pojedynczym kocie, czy o tym kocie jako przedstawicielu klasy „koty”, czy to stwierdzenie faktycznie dotyczy kota siedzącego na macie, czy pokazanie, jak kot wygląda od tyłu, czy ten kot obecnie siedzi na macie, kiedyś siedział na macie, czy też będzie siedział na macie w przyszłości. Jak Arbib później podsumował tę kwestię, „problem z obrazami polega na tym, że są one zbyt dosłowne,

aby przekazywać ogólne prawdy” . W naszym coraz bardziej nasyconym obrazem świecie wystanie międzygwiazdnej wiadomości pozbawionej jakichkolwiek elementów wizualnych oznaczałoby pominięcie dużej części tego, co to znaczy dla człowieka na Ziemi w XXI wieku. Chociaż są one wysoce konwencjonalne, obrazy obrazkowe niekoniecznie są straconą przyczyną, jeśli chodzi o komunikację międzygwiazdną, o ile towarzyszą im informacje pomocnicze. Jednym ze sposobów jest dostarczanie informacji kontekstowych, które mogą wprowadzać nieznanne obiekty w postaci znanych pojęć matematycznych. Rozważmy zapisy sondy Voyager, w których zastosowano przejście spin-flip neutralnego wodoru oraz odpowiednią częstotliwość emisji i długość fali jako podstawową jednostkę miary czasu i odległości, aby zapewnić skalę zdjęć. Alternatywnie, Lincos Ollongrena można również wykorzystać do opisanie obrazów w kategoriach metafizyka opartego na logice konstruktywnej. Inną opcją ujednoznaczniania obrazów jest renderowanie ich w trzech lub czterech wymiarach. To wyeliminowałoby potrzebę „przedstawiania obiektów z jednego, uprzywilejowanego punktu widzenia”, ale nadal istniałyby aspekty konwencjonalności w tych (ruchomych) obrazach, takich jak liczba klatek na sekundę i to, co jest wybrane do reprezentacji. Na przykład czterowymiarowy obraz przedstawiający idącego człowieka może sugerować istocie pozaziemskiej, że „uważamy się za ważny temat komunikacji” . Czterowymiarowe obrazy lub „ruchome obrazy” są szczególnie atrakcyjnym medium komunikacji, ponieważ uchwycą również zbyt ludzkie cechy ,impuls do opowiadania historii i łączenia poszczególnych wydarzeń w spójne narracje. W tym celu Harry Letaw Jr. zaproponował kinowy schemat przesyłania wiadomości, w którym ruchome obrazy są uzupełnione systemem symbolicznym. Niemniej jednak przekazy oparte na ruchomych obrazach muszą nadal odnosić się do kwestii odnotowanej przez Sola Wortha w jego przełomowej pracy nad komunikacją wizualną, w której stwierdził, że „obiektywna, pozbawiona wartości zapis filmowy” jest niemożliwy, ponieważ „każdy twórca filmu ma nieodłączne kulturowe uprzedzenia”. Ta obserwacja została zaczerpnięta z badań etnograficznych Wortha dotyczących plemienia Navajo, podczas których pokazał on publiczności Navajo wybór filmów nakręconych przez twórców innych niż Navajo. Filmy te nie zawierały ścieżki dźwiękowej i wszystkie były w języku angielskim, co skłoniło jednego z widzów Navajo do stwierdzenia, że nie mogą zrozumieć znaczenia filmu z powodu braku znajomości języka. Głębsza implikacja polega na tym, że wizualne metafory w filmie nie wystarczały, aby przekazać widzowi ich znaczenie bez pomocy języka, ze względu na kulturową specyfikę metafor. Aby rozwiązać ten problem w kontekście międzygwiazdnym, Letaw zaproponował użycie „elementów Rosetty”, które składałyby się z wizualnych przedstawień pozbawionych jak największej ilości metafor kulturowych. Te elementy Rosetty składałyby się z działań, które mogą być znane istotom pozaziemskim i obejmują takie klasy, jak fizyczne obserwowalne (zdarzenia pogodowe, ruch falowy, światło i cień itp.), Proste maszyny (dźwignie, koła, młoty), podstawowe czynności fizyczne (chodzenie, bieganie, jedzenie), a może nawet zajęcia domowe (budowanie schronień, polowanie, rolnictwo). Tak więc, jeśli nasz pozaziemski odbiorca ma żyć na planecie, która ma duże zbiorniki cieczy i cykl pogodowy, wiadomość może zawierać szybki film przedstawiający kroplę wody wpadającą do zbiornika wodnego. Ten „film” mógłby następnie zostać nałożony na system symboliczny opisujący to, co się dzieje w kategoriach matematycznych. Opierając się na tych elementach Rosetty, Letaw sugeruje, że możliwe byłoby stworzenie coraz bardziej wyrafinowanych filmów narracyjnych dla naszych międzygwiazdnych wiadomości, aby przedstawić abstrakcyjne koncepcje, takie jak ludzki altruizm. Chociaż to kinowe podejście pozwala na niesamowitą różnorodność w konstrukcji przekazu i rozwiązuje wiele dwuznaczności związanych z dwuwymiarowymi nieruchomymi obrazami, prześladuje go problem wyboru prymitywów. Jak odkrył Leibniz, system komunikacji oparty na zbiorze prymitywnych elementów nie jest odpowiednią podstawą dla powszechnie zrozumiałego języka, ponieważ są one arbitralne. Chociaż rozsądne jest założenie, że istota pozaziemska może być zaznajomiona z koncepcją cyklu pogodowego, nie można tego samego powiedzieć o nawet najbardziej podstawowych czynnościach ludzkich, takich jak spanie czy budowa schronienia. Chociaż Letaw nie miał złudzeń, że

możemy „zapewnić zrozumienie ze strony ETI”, wysyłając filmy narracyjne jako część międzygwiazdowego przekazu, utrzymujące się niejasności związane z komunikacją wizualną sugerując, że warto byłoby rozważyć inne drogi konstruowania przekazu.

MUZYKA SFER

Jako system, którego cechy obejmują melodię, rytm, tonację i harmonię, muzyka została zidentyfikowana w każdej kulturze na Ziemi, nawet jeśli jej formy są zupełnie inne. Wydaje się, że muzyka aktywuje wiele tych samych obszarów mózgu, co język i matematyka, ale nie jest pewne, czy zdolności muzyczne są wrodzone. W rzeczywistości muzyka wydaje się bardziej „technologią kulturową” rozwijaną przez tysiące lat. Podczas gdy każdy człowiek rozwija język, z wyjątkiem przypadków skrajnych patologii, większość ludzi potrafi docenić muzykę, nawet jeśli nie potrafią jej wyprodukować. Co więcej, chociaż w każdej kulturze istnieje jakaś forma muzyki, etnomuzykolodzy nie osiągnęli konsensusu co do tego, jakie cechy muzyki są naprawdę uniwersalne. Pomimo niepewności co do statusu muzyki jako uniwersalnej, w przeszłości zajmowała poczesne miejsca w międzygwiazdnych przekazach. Zaczęło się od złotych płyt Voyagers, które zawierały różnorodne pieśni ludowe z różnych kultur, a także piosenki reprezentujące nowsze innowacje muzyczne, takie jak rock and roll. W programie „Teen Age Message” z 2001 r., Nadawanym z radaru Evpatoria na Ukrainie, znalazł się koncert na żywo na tamminie zorkiestrowany przez rosyjskich nastolatków, którzy wybrali siedem piosenek do wykonania przez muzyków z moskiewskiego Theremin Center. Wkrótce potem Alexander Zajcew zaaranżował drugie przesłanie Cosmic Call w 2003 roku, które zawierało album węgierskiego zespołu rockowego KFT. W 2008 roku National Aeronautics and Space Administration wyemitował utwór Beatlesów „Across the Universe” w kierunku Polaris, aby uczcić rocznicę nagrania piosenki. Niedawno nowa organizacja non-profit METI International wysłała dwie wiadomości z radaru EISCAT w Norwegii, z których każda zawierała kilka krótkich utworów muzyki elektronicznej wyprodukowanych przez muzyków związanych z festiwalem muzycznym Sónar. Spośród tych muzycznych przekazów tylko Przesłanie Teen Age i dwa przesłania Sónar zaaranżowane przez METI International mają charakter naukowy. Chociaż komunikat NASA „Across the Universe” był szeroko (i błędnie) ogłaszany w prasie jako pierwszy przypadek wykorzystania muzyki do transmisji międzygwiazdnych, jest prawie pewne, że wszelkie istoty pozaziemskie, które mogą być na końcu transmisji, będą nie mogąc tego zrozumieć. Po pierwsze, nie uwzględniono standardów kodowania i kompresji używanych do digitalizacji muzyki na Ziemi, więc jest mało prawdopodobne, aby istota pozaziemska całkowicie nieznająca technologii Ziemi była w stanie wydobyć treść tej wiadomości. Jednak nawet gdyby ten problem został rozwiązany, szybkość transmisji wiadomości - 128 kb / s - jest około 300 000 razy większa niż minimalna szybkość transmisji potrzebna istocie pozaziemskiej do wydobycia wiadomości z sygnału przy użyciu odbiorników porównywalnych z tymi na Ziemi. Jeśli to wiadomość miała być retransmitowana w „dopuszczalnym” tempie, bliższym minimum, co znacznie zwiększyłoby prawdopodobieństwo, że zostanie odszyfrowana przez pozaziemskiego odbiorcę, ale wysłanie pojedynczej piosenki Beatlesów zajęłoby prawie 750 dni ciągłego nadawania (Zajcew 2008). W przypadku Teen Age Message, Zajcew porzucił zwykłe podejście do osadzania wiadomości w sygnale binarnym i zamiast tego zdecydował się wysłać muzykę bezpośrednio jako ciągły sygnał quasi-sinusoidalny. Do tej pory Teen Age Message jest jedyną międzygwiazdową transmisją wysyланą jako ciągły sygnał, a nie dyskretny sygnał, który przesuwa się między dwiema lub więcej częstotliwościami w celu zakodowania informacji. Ten wybór projektowy był motywowany muzyczną treścią przekazu: ciągły sygnał pomaga odróżnić wiadomość nie tylko od źródeł astrofizycznych, które wytwarzają funkcję stałej częstotliwości, ale także od sztucznych wiadomości niosących informacje logiczne lub językowe, które przejawiają się jako częstotliwość Zmiana między dwiema lub więcej dyskretnymi wartościami. Krótko mówiąc, ciągły sygnał quasi-sinusoidalny ma pozorną korzyść w postaci możliwości rozróżnienia sygnału jako zarówno sztucznego, jak i artystycznego. Dalszą przewagę

analogowego sygnału międzygwiazdowego w porównaniu z metodami cyfrowymi można dostrzec w drastycznie zmniejszonych czasach transmisji. Rozważmy hipotetyczny scenariusz transmisji, który polega na przesłaniu sygnału do cywilizacji pozaziemskiej oddalonej o siedemdziesiąt lat świetlnych, która posiada radioteleskop, którego obszar odbioru jest równy jednemu kilometrów kwadratowemu i ma temperaturę szumu nieco lepszą niż ta, która została opracowana na Ziemi. W tym przypadku przesłanie części koncertu teremin wiadomości Teen Age zajmie tylko czternaście minut przy użyciu kodowania analogowego, w przeciwieństwie do prawie pięćdziesięciu godzin transmisji dla równoważnej wiadomości zakodowanej cyfrowo. Tereminy zostały wybrane do transmisji międzygwiazdowej, ponieważ wytwarzają one podtrzymywane (samooscyłujące) sygnały, które nie zanikają z upływem czasu, w przeciwieństwie do tłumionych oscylacji bębnow, fortepianów lub gitar. Powiązaną zaletą jest to, że oscylacje wytwarzane przez teremin koncentrują się w wąskim paśmie wokół tonu podstawowego, minimalizując poziom alikwotów i umożliwiając płynne przejścia od jednej nuty (częstotliwości) do drugiej zamiast stopniowego przejścia. Razem służą one do koncentracji sygnału theremin w wąskim zakresie częstotliwości, co zwiększa szansę, że zostanie on wykryty przez odbiornik na tle szumu tła. Z technicznego punktu widzenia tereminów można również łatwo zintegrować z systemem transmisji radiowej. Instrumenty te działają poprzez konwersję w dół oscylatora wysokiej częstotliwości, który jest rdzeniem teremin, do widma słyszalnego poprzez mieszanie oscylacji o wysokiej częstotliwości z częstotliwością oscylatora odniesienia. Aby przekształcić go w międzygwiazdowy sygnał radiowy, zachodzi odwrotna transformacja, a oscylacje o wysokiej częstotliwości są przetwarzane w górę na częstotliwości mikrofalowe, aby mogły być nadawane w kosmos. Teremin ma dodatkową zaletę, że ma wysoką częstotliwość oscylacji, które można przekształcić w dowolne pasmo widma elektromagnetycznego. Tak więc, jeśli istota pozaziemska nie może usłyszeć dźwięku o tej samej częstotliwości co ludzie, możliwe jest przekształcenie sygnału na długość fali optycznej, aby wytworzyć „kolorową muzykę”, która jest czysto wizualna. Wreszcie, tereminy zajmowały w przeszłości znaczące miejsce w ścieżkach dźwiękowych filmów science fiction traktujących o życiu pozaziemskim, więc ich użycie jako rzeczywistego międzygwiazdowego przekazu wydaje się odpowiednie. Jeśli chodzi o wiadomości Sonar, te transmisje wyróżniały się tym, że były pierwszymi wiadomościami nadawanymi w kierunku znanej egzoplanety. Miejsce docelowe, znane jako Gwiazda Luytena, to czerwony karzeł znajdujący się około 12,4 lat świetlnych od Ziemi. W 2017 roku odkryto dwie planety krążące wokół Gwiazdy Luytena; jeden z nich, GJ237b, to planeta o masie prawie trzykrotnie większej od Ziemi, krążąca w ekosferze gwiazdy. Pierwsza wiadomość Sonara składała się z trzydziestu trzech krótkich kompozycji muzycznych, z których każda trwała około dziesięciu sekund, poprzedzonych początkowym sygnałem ostrzegawczym „hello” oraz tutorialiem do interpretacji przesłania. Celem latarni jest zwrócenie uwagi wszelkich istot pozaziemskich, które mogą nasłuchiwać na GJ237b, poprzez różnicowanie sygnału z naturalnych źródeł radiowych. Osiągnięto to poprzez zakodowanie serii liczb pierwszych (od 1 do 137) na dwóch różnych częstotliwościach radiowych i nadanie każdej liczby pierwszej na każdej częstotliwości przed przejściem do następnej liczby pierwszej. Każda liczba była reprezentowana przez równą liczbę impulsów w określonej częstotliwości z 16-milisekundową przerwą między kolejnymi impulsami. Po osiągnięciu 137 wiadomość rozpoczyna się ponownie, ale dwukrotnie szybciej i liczy liczby pierwsze do 193. Sygnał nawigacyjny kończy się wprowadzeniem pojęcia „bajtów”, czyli 8-bitowych bloków informacji binarnych. Ta część beaconsa liczy od 0 do 255, maksymalna liczba, którą można zakodować w 8 bitach: 00000000, 00000001, 00000010 ... 11111111. Następną część wiadomości Sonar to samouczek, który nieco się różnił w pierwszej wiadomości i druga wiadomość. W pierwszej wiadomości samouczek używał bajtów do wprowadzenia niewielkiego zbioru pojęć, takich jak operatory arytmetyczne i zjawiska fizyczne, takie jak pojęcie dźwięku, częstotliwości i prędkości światła. Samouczek używał również bajtów do opisanego prostych dźwięków jako fali sinusoidalnej, która jest tym samym formatem samych utworów muzycznych. Tak więc ta część samouczka zaczyna się od fali 100 Hz, a następnie

przechodzi do 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz i 1600 Hz. Wreszcie pokazuje, jak te różne częstotliwości można łączyć, aby wytwarzać bardziej złożone dźwięki. Druga transmisja Sónar, wysłana na początku 2018 roku, ma tę samą trzyczęściową strukturę - beacon, tutorial, muzykę - ale zawartość jego samouczka jest zupełnie inna. Drugi samouczek został zaprojektowany przez Yvana Dutila, który również kodował przesłanie dla Kosmicznych Zewów w 1999 i 2003 roku. W przypadku przesłania Sónara, Dutil w dużym stopniu wykorzystał koncepcyjne ramy wiadomości Kosmicznego Zewu, aby stworzyć samoczynną interpretację wiadomości opartej na słowniku pojęć zakodowanych jako małe obrazy. Ostatnim samouczkiem jest mapa bitowa, która przedstawia pojęcia, takie jak operatory arytmetyczne, wzory chemiczne i anatomia człowieka. Końcowa część drugiego samouczka została zaprojektowana przez naukowców z Instytutu Badań Kosmicznych Katalonii, którzy graficznie zademonstrowali pojęcie bajtów, licząc od 0 do 255 i przedstawiając każdą z tych liczb jako grupę pikseli na mapie bitowej, a następnie graficznie reprezentujące krótką sekwencję bajtów jako falę sinusoidalną. Rzeczywiste próbki muzyczne wysłane wraz z wiadomościami Sonar obejmowały wygenerowany przez sztuczną inteligencję „język muzyczny”, sonifikację binarnej reprezentacji pi, nagrań terenowych i muzyki elektronicznej. Oczywiście istnieje bardzo realna możliwość, że jakakolwiek pozaziemska inteligencja na GJ237b nie jest w stanie słyszeć i słyszy w innym zakresie niż ludzie, którzy są ograniczone do częstotliwości od 20 Hz do 20000 Hz. Mimo to te muzyczne przesłania wciąż mogą wiele nauczyć ETI o ludzkim poznaniu. Ludzie cenią muzykę ze względu na jej walory emocjonalne i estetyczne, ale jej piękno można również dostrzec po przełożeniu na matematykę i fizykę, co czyni ją atrakcyjnym środkiem komunikacji międzygwiazdowej. Matematyzację muzyki można prześledzić do Pitagorasa, greckiego filozofa i mistyka, który jako pierwszy skodyfikował zależność między wysokością nuty a długością struny, która ją wyprodukowała. Co ciekawe, Pitagoras i jego akolici rozszerzyli tę koncepcję muzycznej harmonii na ruch ciał planetarnych jako tak zwaną muzykę sfer. Jak Arystoteles opowiadał o tym systemie, pitagorejczycy widzieli, że „wszystko wydaje się być wzorowane na liczbach, a liczby wydają się być pierwszą rzeczą w całej przyrodzie, uważali, że elementy liczby są elementami wszystkich rzeczy, a całość ma być skalą muzyczną i liczbą”. Ostatnie badania wykazały, że harmoniczne planetarne rzeczywiście istnieją, chociaż nie są wynikiem żadnego prawa metafizycznego lub wszechświata zaprojektowanego z myślą o matematycznej elegancji. Wykazano raczej, że okresy orbitalne planet w naszym Układzie Słonecznym i kilku innych są powiązane stosunkami małych liczb całkowitych, co wynika z okresowego wpływu grawitacji między planetami, zjawiska znanego jako rezonans orbitalny. Ważną kwestią jest jednak to, że rozwój teorii muzyki na Ziemi jest głęboko związany z naszym rozumieniem matematyki i jak widzieliśmy we wcześniejszych rozdziałach, nasze rozumowanie matematyczne jest powiązane z naszym ucieleśnionym poznaniem. Na podstawowym poziomie przekaz muzyczny może zademonstrować fizjologię ludzkiej percepcji dźwiękowej. Ludzie słyszą dźwięki o częstotliwości od około 20 Hz do 20 000 Hz, ale większość instrumentów muzycznych działa tylko w ograniczonej części tego spektrum - od około 50 Hz do 5000 Hz. Tak więc, jeśli instrumentalna wiadomość zostanie wysłana do istot pozaziemskich, mogą błędnie uwierzyć, że zasięg naszych instrumentów jest zasięgiem naszego słuchu. Sugeruje to, że wiadomości słuchowe mogą odnieść korzyści z włączenia pełnego zakresu widma częstotliwości do wiadomości, postępującego liniowo od 20 Hz do 20000 Hz. Zapewniłoby to również wgląd w fizjologię ludzkiego słuchu, ponieważ nasz zakres częstotliwości jest ograniczony przez szybkość odpowiedzi naszego układu nerwowego. Podobnie moglibyśmy eksperymentować z zakresem dynamicznym w naszych wiadomościach międzygwiazdowych, aby wykazać, że jesteśmy w stanie zarejestrować natężenie dźwięku o wartości ponad 12 rzędów wielkości. Jeśli chodzi o poznanie, dostatecznie bogaty zbiór muzyki ziemskiej zawartej w międzygwiazdowym przesłaniu pokazałby istotom pozaziemskim nasze preferencje dla pewnych struktur i wzorów w aranżacjach muzycznych. Na przykład zachodnia muzyka klasyczna jest zdominowana przez 12-tonową skalę o jednakowym temperamencie, czyli system strojenia, w którym stosunek częstotliwości sąsiednich dźwięków jest taki sam w całej skali. W wyniku 12-tonowego

temperamentu powstaje pięć harmoniczných, ale istnieje kilka innych możliwych podstaw dla skal o równym temperamencie w muzyce polifonicznej. Na przykład arabski system tonów oparty jest na 24-tonowej skali o jednakowym temperamencie. Każdy system strojenia o równym temperamencie wymaga kompromisu między podzielnością oktawy na równe części a stosunkami częstotliwości, które ostatecznie dyktują liczbę dostępnych harmonik w skali. Wybór temperamentu w próbkach muzycznych może dać wgląd w percepcję muzyki przez człowieka, o ile ujawnia naszą wrażliwość na zmiany tonalne. Muzycznie nastawiony istota pozaziemska z bardziej wrażliwym aparatem słuchowym może preferować skalę 53-tonową lub nawet 72-tonową, a te różnice w wrażliwości muzycznej mogą wiele ujawnić o cywilizacji przekazującej. Zapewnienie szerokiej gamy próbek muzycznych może również pozwolić istotom pozaziemskim na wydobycie bardziej ogólnych cech ludzkich wzorców muzycznych poprzez badanie fizycznych właściwości dźwięku. Na Ziemi analizujemy muzykę pod kątem wysokości, tempa i innych elementów stylistycznych, z których każdy można przełożyć na fizyczną charakterystykę fali dźwiękowej. Analiza widma mogłaby ujawnić podteksty muzyczne i dlatego mogłaby zostać uznana za zastępującą tonację; analiza ruchu mogłaby zastąpić progresję harmoniczną przez ujawnienie wzorów akordów w czasie; a puls może zastąpić metr. Analiza korpusu muzycznego poprzez fizyczność dźwięków może zatem ujawnić ogólne wzorce występujące w różnych stylach i kulturach (Kaiser 2004). Ważnym pytaniem, jeśli chodzi o muzyczne przekazy międzygwiazdne, jest sposób przekazania treści muzycznych. Jedną z opcji jest przesłanie muzyki bezpośrednio w postaci ciągłej fali analogowej, tak jak to zrobiono w przypadku części koncertowej Teremina z 2001 Teen Age Message, lub jako fizyczny artefakt, jak to było w przypadku płyty Voyager. Takie bezpośrednie podejście zakłada, że muzyka będzie zrozumiała dla istot pozaziemskich przy założeniu, że muzyka wykazuje pewne struktury, które można uznać za uniwersalne. Bardziej sceptyczne podejście porzuca to założenie i zakłada, że sposób, w jaki ludzie doświadczają takich cech muzyki, jak wysokość czy tempo, będzie musiał zostać nauczony odbiorcy. Jedną z metod osiągnięcia tego jest kultowe podejście, w którym fizyczne właściwości fali radiowej są wykorzystywane do przekazywania koncepcji muzycznych. Chociaż częstotliwości transmisji używane do komunikacji międzygwiazdowej są daleko poza zasięgiem ludzkiej percepcji, mają te same podstawowe cechy słyszalnych fal dźwiękowych. Na przykład sygnał międzygwiazdowy mógłby być modulowany rytmicznie jako ikoniczne przedstawienie naszego pojęcia rytmu. Przesłanie muzyczne może również pomóc istotom pozaziemskim zinterpretować logiczne lub językowe cechy przekazu symbolicznego. Ollongren zademonstrował, jak indonezyjska muzyka gamelanowa może być użyta do wyjaśnienia logicznej struktury metajęzyka Lincos, który koduje lingwistyczną zawartość międzygwiazdowej wiadomości. Więc nawet jeśli nie zakładamy, że istota pozaziemska ma jakąkolwiek własną muzykę, włączenie komponentu muzycznego do wiadomości międzygwiazdowych może być nadal owocnie wykorzystywane jako mechanizm nauczania istot pozaziemskich o ludzkim poznaniu i fizjologii, a także jako elementarz dla interpretacji niemuzycznych elementów przekazu

WIELE PRZYSZŁOŚCI METI

METI od samego początku budzi kontrowersje. W 1974 roku Frank Drake wysłał pierwszą wiadomość w kosmosie przed oczarowaną publicznością około 250 osób w Obserwatorium Arecibo. Wkrótce potem Sir Martin Ryle, królewski astronom Anglii, wysłał „list pełen oburzenia i niepokoju” do przewodniczącego Międzynarodowej Unii Astronautycznej, prosząc, aby organizacja formalnie zakazała stosowania międzygwiazdowych wiadomości. W kolejnym liście do Drake'a Ryle powtórzył swoje wątpliwości i doszedł do wniosku, że „ujawnienie Galaktyce naszego istnienia i położenia jest bardzo ryzykowne; z tego, co wiemy, każde stworzenie może być złowrogie lub głodne”. Po omówieniu tej sprawy z Drake'em, IAU nie uznało, że zagrożenie związane z nadawaniem jest na tyle duże, by uzasadniać jakiegokolwiek działania. Niemniej jednak niepokój związany z wysłaniem wiadomości do istot pozaziemskich już nie ustąpił. Co więcej, wezwania do moratorium na METI nasiliły się, ponieważ

poprawiły się możliwości technologiczne w zakresie komunikacji międzygwiazdowej . W 2015 roku ponad dwa tuziny naukowców, pracowników akademickich i liderów przemysłu związanych z programem SETI Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley, prawdopodobnie wiodącym przedsięwzięciem poszukiwawczym na świecie, podpisało oświadczenie wzywające do moratorium na transmisje międzygwiazdowe do czasu, gdy „światowe naukowe, polityczne, i humanitarnej dyskusji ”. Ci krytycy METI podnieśli cztery podstawowe argumenty przeciwko transmisji, które można scharakteryzować jako „krzyk w dżungli”, argument pseudonauki, argument rozrzutnych transmisji oraz „Kto mówi w imieniu Ziemi?”

KRZYCZENIE W DŻUNGLI

Krytyka „krzyków w dżungli” odziedziczyła po Ryle'u. Opiera się na historycznej obserwacji, że kontakt kultur o asymetrycznym poziomie rozwoju technologicznego często prowadził do eksterminacji kultury mniej zaawansowanej technologicznie. Biorąc pod uwagę, że jakakolwiek pozaziemska inteligencja, z którą możemy się skontaktować, jest prawdopodobnie bardziej zaawansowana technologicznie niż nasza własna, historia Ziemi sugeruje, że kontakt z ETI może skutkować unicestwieniem człowieka. Niektóre wersje tego argumentu przewidują flotę międzygalaktycznych okrętów wojennych wykorzystujących tunele czasoprzestrzenne do fizycznego przemierzania ogromnej pustki kosmosu, podczas gdy inne sugerują, że istoty pozaziemskie mogą siać spustoszenie na odległość, odpowiadając na jedną z naszych transmisji wiadomością zawierającą niezemski wirus komputerowy lub pocisk wystrzelony z niewielkim ułamkiem prędkości światła. Stąd argument mówi, że transmitowanie naszego istnienia nieznanemu innemu byłoby podobne do „krzyczenia w dżungli” i oczekiwanie na przybycie bestii. W końcu zauważyliśmy wyraźny brak gadaniny w galaktyce po ponad stu wyszukiwaniach SETI trwających pół wieku. Czy to możliwe, że zaawansowani ETI wiedzą o niebezpieczeństwie, którego nie znamy i milczą, aby przetrwać? Aż do pierwszego kontaktu, dyskusja na temat prawdopodobieństwa, że istota pozaziemska będzie altruistyczna lub złowroga, sprowadza się do czystych domysłów. Chociaż rozlano dużo atramentu, tworząc uzasadnione argumenty dla obu stanowisk, dyskurs ten ostatecznie odzwierciedla raczej usposobienie autorów niż wiedzę o wszechświecie. W każdym razie, jeśli wezwania do moratorium na transmisje międzygwiazdowe są uzasadnione obawami o bezpieczeństwo naszej planety, może być już za późno. W latach po drugiej wojnie światowej nastąpił gwałtowny wzrost ilości transmisji radiowych o dużej mocy na Ziemi pochodzących z transmisji telewizyjnych i radiowych oraz astronomicznych i wojskowych systemów radarowych. Cała wystarczająco silna aktywność radiowa powyżej około 10 MHz powoduje wyciek w kosmos, ale charakter wycieku zależy od jego źródła. Na przykład transmisje radiowe i telewizyjne są powszechne na całej planecie, więc powoduje to prawie izotropowe promieniowanie w kosmos. Tworzy to rodzaj sfery szumu radiowego wokół Ziemi, której promień - obecnie około 80 lat świetlnych - jest równoważny czasowi, w jakim te transmisje miały miejsce. To samo dotyczy setek instalacji radarowych na powierzchni Ziemi. Te radary, takie jak Obserwatorium Arecibo i teleskop Evpatoria, a także liczne systemy wojskowe, wykorzystują potężne, zogniskowane wiązki radiowe do śledzenia asteroid i pocisków, które promieniają w kosmos „jak szpilki na poduszce do szpilek, przy czym większość wiązek jest skoncentrowana w półkuli północna ”. Chociaż wiązki te są wąskie i pokrywają łącznie tylko niewielką część nieba, obrót Ziemi prowadzi do szerokiego wzoru, który zwiększa ilość nieba wystawionego na działanie tych potężnych sygnałów radarowych. Teoretycznie każda pozaziemska cywilizacja posiadająca wystarczająco czuły radioteleskop byłby w stanie wykryć wyciek radiowy Ziemi, a tym samym zdmuchnąć pokrywę Ziemi. Chociaż jest to z pewnością „otróżwiająca myśl, że jedynymi oznakami inteligentnego życia na Ziemi, które można wykryć z odległości międzyplanetarnych, są dzienne seriale gospodyń domowych, rock and rollowy koniec pasma AM i półparanoidalny sieci obronne”, to również rodzi pytanie, jak wrażliwy musiałby być odbiornik pozaziemskich, aby wychwycić wyciek z Ziemi w pierwszej kolejności (Sullivan, Brown i Wetherill 1978).

Biorąc pod uwagę, że siła sygnału radiowego maleje wraz z odległością zgodnie z prawem odwrotnych kwadratów, moc sygnału u źródła w dużej mierze decyduje o jakości odbiornika potrzebnej do wykrycia w określonej odległości od Ziemi. Jeśli założymy, że pozaziemskie odbiorniki nie są bardziej zaawansowane niż nasze własne, musiałyby być zbyt duże, aby wykryć wycieki radiowe z transmisji telewizyjnych. Ponadto wykrycie transmisji telewizyjnych wymagałoby okresów integracji sygnału rzędu kilku miesięcy, co jest niemożliwe, biorąc pod uwagę rotację Ziemi, ale jest mało prawdopodobne, aby sygnał był nawet spójny do czasu osiągnięcia ETI, ponieważ różnice częstotliwości i faz wprowadziły rządowe organy regulacyjne. spowodowałoby znoszenie się sygnałów na dużych odległościach. Jednak radary z czasów zimnej wojny wytworzyły stosunkowo wąskopasmowy wyciek radiowy, który jest o rząd wielkości silniejszy niż transmisje telewizyjne, a zatem byłby znacznie łatwiejszy do wykrycia przez obcą cywilizację o porównywalnej technologii odbiornika, nawet z odległości do kilkuset lat świetlnych. Wykrywalność tych radarów zależy również od ścieżki ich wiązki przecinającej się z układem gwiazd, który jest „nieznacznie mały”. Rzeczywiście, próba ilościowego określenia tego prawdopodobieństwa wykazała, że prawdopodobieństwo przechwycenia przez ETI sygnału radarowego polującego na asteroidy z Arecibo jest mniejsze niż 1 na 500 000. Biorąc pod uwagę małe prawdopodobieństwo wykrycia wycieku radiowego, krytycy METI nie opowiadali się za całkowitą ciszą radiową na Ziemi. Zamiast tego, ich obawy skupiły się na przeszłych i przyszłych transmisjach, które są bardziej prawdopodobne, że zostaną wykryte i odszyfrowane, ponieważ są celowo skierowane w stronę systemów gwiazdnych i zakodowane, aby zachęcić do wydobywania ich treści. Dla niektórych krytyków to treść wiadomości, a nie wykrycie sygnału radiowego, jest tym większym zagrożeniem, ponieważ treść ujawnia, że inteligentne życie na Ziemi składa się z worków z mięsem na bazie węgla, a nasza technologia jest gorsza od ich własnej. Jednak obawy przed istotami pozaziemskimi wydobywającymi zawartość przeszłych transmisji mogą być przesadzone. Na przykład analiza komunikatu Cosmic Call z 1999 roku wykazała, że ETI byłby w stanie odzyskać zawartość informacji wolniejszej części transmisji (100 bitów na sekundę) z maksymalnej odległości około 19 lat świetlnych. Zakłada się, że ETI ma odbiornik porównywalny z Square Kilometer Array (SKA), który po ukończeniu będzie najbardziej czułym radioteleskopem na planecie. Energię tej transmisji można jednak wykryć z odległości około 650 lat świetlnych i prawdopodobnie rozpoznać ją jako sztuczny sygnał, ale zawarte w niej informacje zostałyby utracone z powodu szumu przy takiej odległości i szybkości transmisji. Zwiększenie prawdopodobieństwa, że ETI w promieniu 100 lat świetlnych będą w stanie wykryć i wyodrębnić zawartość informacji z wiadomości międzygwiazdowej wymagałoby ciągłej transmisji rzędu kilku miesięcy lub nawet lat. Jednak do tej pory większość wiadomości jest nadawana nieprzerwanie najwyżej przez kilka godzin. Rzeczywiście, wiele wiadomości jest nadawanych tylko przez kilka minut, co sugeruje, że powinny być one „traktowane jako symboliczne lub demonstracje ludzkiej technologii, a nie poważne wysiłki mające na celu rozmowę z cywilizacjami pozaziemskimi”. Oprócz bezpośredniego moratorium na wszelką komunikację międzygwiazdową, niektórzy badacze próbowali nakreślić protokoły, które mogłyby pomóc w ocenie ryzyka związanego z daną transmisją. W 2005 roku węgierski astronom Iván Almár zaproponował wskaźnik San Marino, porządkowy ranking ryzyka danej transmisji międzygwiazdowej w skali od jednego do dziesięciu. Indeks San Marino czerpie inspirację ze Skali Torino i Skali Rio, które są wykorzystywane odpowiednio do ilościowego określenia ryzyka uderzenia asteroidy i znaczenia kandydującego sygnału SETI. Indeks San Marino jest określany przez dodanie dwóch zmiennych, które reprezentują intensywność transmisji (I) i zawartość informacyjną wiadomości (C), reprezentowaną przez następujące

równanie: $SMI = I + C$

Każda zmienna może przyjąć wartość od 1 do 5. Intensywność sygnału (I) jest logarytmiczną miarą siły sygnału w stosunku do promieniowania naszego Słońca przy częstotliwości i szerokości pasma transmisji. Na przykład sygnał, który byłby 1000 razy większy od natężenia promieniowania

słonecznego, miałby wartość (I) 3. Chociaż nie ma obiektywnej podstawy do ilościowego określenia wpływu treści wiadomości (C), nadal można przypisać wartość porządkowa terminu. Na przykład latarnia międzygwiazdowa nie zawierająca treści wiadomości byłaby niższa niż ciągła transmisja z wiadomością wielopoziomową. Indeks San Marino został przyjęty przez Stały Komitet Międzynarodowego Stowarzyszenia Astronautycznego SETI w 2007 roku i podkreśla pogląd, że „nie wszystkie transmisje można uznać za równe”. Idealnie byłoby, gdyby do ustalenia, czy konieczne jest tymczasowe moratorium na planowaną transmisję, wykorzystano by wskaźnik San Marino. Można przypuszczać, że komunikat, który uzyskał niskie wyniki w skali, niesie ze sobą niewielkie ryzyko, podczas gdy przesłanie na wysokim poziomie prawdopodobnie wymagałoby międzynarodowych konsultacji. Poza indeksem San Marino, Billingham i Benford zalecają, aby wszystkie przyszłe okupy musiały opisywać prawdopodobieństwo wykrycia transmisji na podstawie założeń dotyczących wrażliwości odbiorników pozaziemskich oraz aby opis ten podlegał rygorystycznej ocenie wzajemnej. Twierdzą, że powinno to obejmować dokładny opis parametrów nadajnika (np. Moc, częstotliwość i szerokość pasma), a także parametry wiadomości (np. Przepływność, metoda kluczenia i liczba powtórzeń wiadomości), oraz że informacje te powinny być udostępniane online w standardowym formacie.

CZY METI JEST NAUKOWY?

Kolejną krytyką METI jest to, że jest to raczej forma „nieautoryzowanej dyplomacji” niż twarda nauka. Krytyka ta zależy jednak od tego, jak zdefiniowana jest nauka, co jest tematem spornym wśród filozofów. Filozof Karl Popper przedstawił jedno z najpowszechniej akceptowanych rozróżnień między nauką a pseudonauką, który zdefiniował nauką hipotezę lub teorię jako falsyfikowalną. Jeśli chodzi o METI, oskarżenie, że komunikacja międzygwiazdowa jest pseudonauką, ma więcej wspólnego z transmisją wiadomości niż z ich projektem. Na przykład praktycy METI mogą wysunąć hipotezę, że istota pozaziemska istnieje w danym układzie gwiazdowym i wysłać wiadomość, aby przetestować tę hipotezę. Jednak brak odpowiedzi na wiadomość nie potwierdza ani nie obala istnienia pozaziemskiej inteligencji w tym układzie słonecznym. Być może wiadomość została pominięta przez istotę pozaziemską lub po prostu zdecydowali się nie odpowiadać. Oczywiście mogłoby być podobne roszczenie do pseudonauki wniesione przeciwko SETI. W obu przypadkach nigdy nie ma obalenia hipotezy, a jedynie potwierdzenia. Chociaż wiele transmisji międzygwiazdowych nie było naukowych, hipotezy dotyczące ich projektu są w zasadzie falsyfikowalne. Rozważ hipotezę, że istoty pozaziemskie rozumieją naszą matematykę. Nawet jeśli otrzymamy odpowiedź od istoty pozaziemskiej, nie gwarantuje to, że wiadomość została zrozumiana, czego Frank Drake nauczył się po otrzymaniu odpowiedzi Barneya Olivera na jego prototypową międzygwiazdową wiadomość. W takim przypadku Oliver zrozumiał, jak zakodował wiadomość, ale nie zdołał zinterpretować jej treści. Podobna zasada działa przy projektowaniu wiadomości, które są nadawane w kosmos, chociaż ich falsyfikowalność zależy od odpowiedzi. Aby te wiadomości były naukowe, powinny zawierać pytania, na które istoty pozaziemskie mają odpowiedzieć, aby zademonstrować zrozumienie, a nie tylko odbiór. Możliwe jest również naukowe przetestowanie konstrukcji wiadomości międzygwiazdowych na Ziemi. Planetolog Michael Busch i fizyk Rachel Reddick przetestowali schematy kodowania binarnego podobne do zaproponowanego przez Freudenthala, aby ustalić, czy ten typ wiadomości może zostać zdekodowany, jeśli zostanie odebrany na Ziemi. W tym teście Busch zaprojektował wiadomość binarną składającą się z około 75 kilobitów informacji i przekazał tę wiadomość Reddickowi i pięciu innym ochotnikom, którym powierzono zadanie jej zinterpretowania. Wiadomość została zaprojektowana w taki sposób, że przypadkowo brakuje 10 do 20 procent bitów, aby zamodelować sytuację, w której późne wykrycie i przestój przyrzędu spowodowały utratę części wiadomości. Komunikat binarny ustalił jednostki miary, które następnie zostały użyte do opisu aspektów naszego Układu Słonecznego, takich jak masa i promień Słońca oraz masy i temperatury planet. Wysoce ustrukturyzowany schemat kodowania

pozwoił Reddickowi określić, że pewne ciągi odpowiadają ogranicznikom, takim jak „=” i operatorom arytmetycznym. Reddick był w stanie poprawnie zinterpretować treść wiadomości po około dwunastu godzinach pracy, co sugeruje, że możliwe jest „ustalenie wspólnego słownictwa i opisanie układu słonecznego ze znacznymi szczegółami” przy ograniczonej ilości informacji. Chociaż te metody nie gwarantują, że te wiadomości zostaną zrozumiane przez pozaziemskich odbiorców, pomagają zwiększyć pewność, że przekaz zostanie zrozumiany zgodnie z zamierzeniami.

TRANSMISJE PROFLIGACYJNE

Zaledwie miesiąc przed zrzućeniem przez Stany Zjednoczone broni nuklearnej na Hiroszimę i Nagasaki, szef amerykańskiego Biura Badań Naukowych i Rozwoju, które nadzorowało prawie wszystkie badania wojskowe podczas II wojny światowej, przedstawił prezydentowi Henry'emu Trumanowi raport, który przedstawił namiętny argument za wartość nauk podstawowych. W raporcie argumentowano, że badania podstawowe, czyli pogoń za wiedzą o świecie „bez myślenia o praktycznych celach”, były podstawą innowacji technologicznych, a zatem były integralną częścią przyszłego dobrobytu Stanów Zjednoczonych. To był przełomowy element poparcia dla nauki, który wyznaczył kierunek wydatków publicznych na badania naukowe w Stanach Zjednoczonych na nadchodzące dziesięciolecie. Faktycznie, raport ostatecznie zaowocował powołaniem National Science Foundation, która sfinansowała utworzenie National Radio Astronomy Observatory, gdzie Drake miałby zainaugurować współczesne poszukiwania pozaziemskiej inteligencji w 1960 roku. Trudno wyobrazić sobie bardziej fundamentalny paradygmat badawczy niż komunikacja międzygwiazdowa. Chociaż nie ma wątpliwości, że pierwszy kontakt miałby drastyczny wpływ na religię ziemską, politykę i wiedzę naukową, duże szanse i niejednoznaczny charakter tego wydarzenia spowodowały, że programy SETI musiały walczyć zębami i paznokciami, aby uzasadnić swoje koszty ponad pół wieku. Chociaż NASA była zaangażowana w kilka projektów SETI w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku, wszystkie fundusze federalne na poszukiwania zakończyły się w 1993 roku po tym, jak Kongres Stanów Zjednoczonych zagłosował za wyeliminowaniem finansowania pierwszego intensywnego projektu agencji SETI, badania o wysokiej rozdzielczości. Z wyjątkiem niedawno ukończonego w Chinach teleskopu sferycznego o średnicy 500 metrów (FAST), wszystkie programy SETI na Ziemi w ciągu ostatniego ćwierćwiecza były finansowane ze środków prywatnych. Mimo to, miliony dolarów funduszy publicznych, które zostały przeznaczone na krasnoluda SETI w przeszłości publiczne wydatki na projekty METI, które wyniosły kilka minut radaru, monografia sponsorowana przez NASA, tablice Pioneer i Voyager złote rekordy. Obecnie zarówno SETI, jak i METI są całkowicie zależne od finansowania prywatnego, ale ten kapitał jest głównie przekazywany na projekty SETI. Ta dysproporcja inwestycyjna podkreśla popularną krytykę METI, który charakteryzuje transmisje jako ekstrawaganckie marnotrawstwo zasobów materialnych, które reprezentuje „hazard z wysokimi kosztami i nieznanymi korzyściami”. Oczywiście przesyłanie wiadomości w kosmos jest znacznie bardziej energochłonne niż bierne nasłuchiwanie sygnału międzygwiazdowego. Podczas gdy SETI zbliża się do możliwości wykonywania przeglądów całego nieba na milionach, a nawet miliardach kanałów częstotliwości, przesyłanie wiadomości międzygwiazdowych wymaga skupienia się na jednej gwiazdzie i nadawania w wąskim zakresie częstotliwości na czas. Biorąc pod uwagę miliardy możliwych częstotliwości i tysiące gwiazdnych celów w promieniu stu lat świetlnych od Ziemi, szanse na wybranie odpowiedniej częstotliwości i celu są niepokojąco niskie. Ponadto transmisje METI w przeszłości trwały najwyżej kilka godzin z powodu zacieklej konkurencji o dostęp do urządzeń radarowych; uczynienie tych sygnałów wykrywalnymi wymagałoby nieprzerwanego czasu nadawania rzędu miesięcy, jeśli nie lat. Dedykowany optyczny lub radiowy nadajnik METI rozwiązałby ten problem, ale nawet wtedy koszty energii potrzebne do utrzymania wystarczająco mocnego sygnału ciągłego wymagałyby inwestycji milionów dolarów utrzymywanych przez wiele pokoleń, aby dać czas na odpowiedź. Wiele niewiadomych związanych z komunikacją międzygwiazdową, zarówno pod względem parametrów

transmisji, jak i wyników kontaktu, sprawia, że niezmiernie trudno jest określić, czy duże nakłady na ciągłą transmisję będą tego warte w dłuższej perspektywie. Zwolennicy komunikacji międzygwiazdowej argumentują, że wiedza, którą można zdobyć dzięki kontaktowi, jest nieoceniona, czy to poprzez kontakt z technologią pozaziemską à la Contac, wgląd w pozaziemską biologię i społeczeństwo, czy po prostu potwierdzenie, że nie jesteśmy sami w wszechświecie. Oczywiście tę wiedzę można również zdobyć, czekając na transmisję międzygwiazdową bez znacznych inwestycji w transmisję. Problem polega oczywiście na tym, że jeśli wszyscy w galaktyce słuchają i nikt nie nadaje, to kontakt nigdy nie nastąpi. Nawet jeśli kontakt nigdy nie zostanie nawiązany, inwestycja w METI może być nadal uzasadniona jako projekt archiwalny, którego celem jest zachowanie zapisu ludzkiej kultury poprzez przeniesienie go do kosmosu, gdyby cywilizacja ludzka groziła wyginięciem w wyniku zmian klimatycznych, wojny nuklearnej, uderzenie asteroidy lub jakaś jeszcze nieznaną przyczyną. Biorąc pod uwagę, że przeszłe transmisje prawdopodobnie nie zostaną odebrane, a tym bardziej zrozumiane, przez istoty pozaziemskie, argument, że te międzygwiazdowe transmisje były marnotrawstwem zasobów, jest uzasadniony tylko w wąskim znaczeniu. Prawdopodobnie ich wartość pod względem zaangażowania publicznego i postęp w projektowaniu wiadomości sprawił, że były tego warte, nawet jeśli wydatki energetyczne na transmisję nie „opłacą się” przy pierwszym kontakcie. Chodzi o to, że METI nie może być zredukowane do działalności nadawczej. Prawdopodobnie najważniejszym aspektem METI jest zaprojektowanie treści wiadomości, program badawczy, który poczynił wielkie postępy w ciągu ostatnich kilku dekad przy jedynie niewielkich inwestycjach. Badania nad projektowaniem wiadomości są również ściśle powiązane z celami SETI, ponieważ tworzą ramy dla interpretacji sygnału pozaziemskiego, gdyby kiedykolwiek został odebrany. Ponadto pomaga ustalić protokoły i standardy tworzenia odpowiedzi na otrzymaną transmisję, która może być jednym z najbardziej spornych wydarzeń w historii ludzkości. Przygotowanie teoretycznych podstaw przed tym wydarzeniem może okazać się nieocenione w przyszłości. Nie oznacza to jednak, że przekładnie nie mogą być zaprojektowane tak, aby były bardziej opłacalne. W wielu analizach kosztów i korzyści METI nie uwzględniono szybkiego przyjęcia technologii energii odnawialnej, takiej jak wiatr i słońce. Inne postępy technologiczne, takie jak komercyjne reaktory rozszczepienia jądrowego lub tak zwane nadprzewodnictwo w temperaturze pokojowej, spowodowałyby gwałtowny spadek kosztów energii i wzrost czułości czujników do punktu, w którym potężne, ciągłe transmisje międzygwiazdowe stanowiłyby niewielki wydatek. W międzyczasie jednym z możliwych rozwiązań jest całkowite porzucenie komunikatów informacyjnych i skupienie się na beaconingu. Na przykład dedykowana latarnia optyczna lub mikrofalowa mogłaby zostać użyta do namierzenia tysięcy pojedynczych gwiazd przez ułamki sekundy każda, aby zwrócić uwagę na Ziemię i ułatwić komunikację.

KTO MÓWI W SPRAWIE ZIEMI?

Jedno z najtrudniejszych pytań do METI zostało pierwotnie zadane przez Carla Sagana: „Kto mówi w imieniu Ziemi?” Komunikacja międzygwiazdowa nie jest rozmową między jednostkami, ale całymi cywilizacjami, które mogą istnieć w skali planetarnej lub galaktycznej. Dlatego krytycy METI argumentują, że każda wiadomość wysłana z Ziemi musi zostać stworzona przy udziale wszystkich jej członków. Ta krytyka nawiedza międzygwiazdową komunikację od czasu, gdy tablice umieszczone na sondach Pioneer były krytykowane za ich etnocentryzm. Chociaż różne projekty METI próbowały naprawić tę wadę, tworząc bardziej reprezentatywne wiadomości, takie jak nagrania Voyager lub kosmiczne wezwania i inne wiadomości pochodzące z tłumu, decyzja o nadawaniu tych wiadomości, a także ich podstawowy projekt, została podjęta tylko przez kilka osób. Naprawienie tego niedociągnięcia to niemałe zadanie. Tekst ten skupiał się głównie na wysiłkach zmierzających do wyeliminowania uprzedzeń gatunkowych (homocentryzmu) w komunikatach międzygwiazdowych poprzez śledzenie podstaw i granic epistemicznych uniwersaliów. Jak widzieliśmy, w wielu przypadkach nawet najbardziej pozornie „obiektywną” wiedzę, taką jak matematyka, można przypisać

idiosynkrazjom ucieleśnionego ludzkiego poznania. Powiązaną i równie trudną kwestią jest eliminacja uprzedzeń kulturowych (etnocentryzmu) w przekazach międzygwiazdowych. Zaproponowano wiele rozwiązań tego problemu, ale nieliczne są zadowalające. Jednym z możliwych rozwiązań jest pobranie wszystkich danych z farm serwerów na całym świecie i wysłanie całego internetu. Inne rozwiązania proponują projekty przekazów oparte na aspektach ludzkiej egzystencji, które są obecne we wszystkich kulturach, takich jak muzyka czy altruizm. Pełne omówienie treści wiadomości wykracza poza zakres, ale rozważenie tej kwestii w sensie abstrakcyjnym rodzi głębokie i niepokojące pytanie, z którym musi się zmierzyć każdy, kto projektuje międzygwiazdową wiadomość: czy chcemy powiedzieć istotom pozaziemskim prawdę? Biorąc pod uwagę, że nawet wiadomość, która ma najlepsze intencje, będzie tylko przybliżona różnorodności życia na Ziemi, może być pożądane wyraźne odniesienie się do tego niedociągnięcia w samym przesłaniu. Oznaczałoby to uznanie nie tylko naszej zdolności do altruizmu, ale także pękniętego charakteru naszych międzykulturowych i międzyludzkich relacji. Ujawniłoby, że pomimo naszych ogromnych osiągnięć artystycznych, politycznych i naukowych, globalne wojny i ogromne nierówności ekonomiczne są napędzane przez dogmatyczne systemy wierzeń, bigoterię, ignorancję i chciwość. Jak dotąd nasze wiadomości w kosmos były filtrowane przez zabarwione na różowo okulary. Gdyby istoty pozaziemskie zobaczyły cały obraz, czy nadal miałyby ochotę z nami porozmawiać? O ile możemy stwierdzić w tym momencie historii, Ziemia znajduje się w galaktycznym zaścianku. Nasi gwiazdni sąsiedzi są nieliczni, a jeśli w sąsiednich układach słonecznych są inteligentni mieszkańcy, ich cisza jest widoczna. Nasza fizyczna izolacja nie musi jednak skazać nas na samotność. Nawet jeśli globalny konsensus ustanowi moratorium na transmisje, sztuka i nauka projektowania międzygwiazdowych wiadomości nigdy nie przestanie być cenna ze względu na to, czego może nas o nas nauczyć. Każda wiadomość, niezależnie od tego, czy jest nadawana, jest jak lustro, które odzwierciedla ducha epoki, która ją stworzyła. O ile projekt przekazów międzygwiazdowych wymaga dialogu międzykulturowego i chęci zrozumienia perspektywy kogoś, kto może być radykalnie odmienny, jest to paradygmat badawczy, który może również okazać się wektorem do łagodzenia napięć i podziałów na Ziemi. Jesteśmy tak niechętni, aby ujawniać je istotom pozaziemskim. Treść i struktura przyszłych transmisji międzygwiazdowych będą prawdopodobnie tak różnorodne, jak gatunek, który je stworzył, ale wszystkie połączy jedna wizja: Per linguam ad astra.