

Michał HELLER

## TEORIE WSZYSTKIEGO

## AMBICJE POZNAWCZE I ICH KRYZYSY

W człowieku drzemie potężna pasja rozumienia. Często wolimy tworzyć pseudowyjaśnienia niż zostawić rzeczy takimi, jakimi są, to znaczy nie troszczyć się o poszukiwanie ich przyczyn lub o rozkładanie ich na coraz mniejsze elementy. Nie chcemy przyjąć do wiadomości, że jest, jak jest; chcemy wiedzieć dlaczego, jak i po co.

Historia filozofii i historia nauki dostarczają nieprzerwanego ciągu przykładów tej pasji. Nasza pasja rozumienia odznacza się jedną, bardzo charakterystyczną cechą — jest totalna. Rzadko i jedynie na krótko zadowala się wyjaśnieniami częściowymi; chciałaby za jednym zamachem przeniknąć wszystko, sięgnąć do najgłębszych podstaw i ogarnąć całość bytu. Prawie wszystkie wielkie systemy filozoficzne w swoich zamierzeniach były Teoriami Wszystkiego. Nic dziwnego, że tak wygórowane ambicje pozostawały niezaspokojone. Co więcej, ilekroć udawało się powstrzymać ambicje i dążyć jedynie mały wycinek rzeczywistości, postęp stawał się bardziej widoczny.

Właśnie tego rodzaju samoograniczeniom poznawczym zapędów nowożytnych nauki empiryczne zawdzięczają swoje istnienie. Z chwilą, gdy uczeni zrezygnowali z dociekania „tajemnic bytu” a zajęli się tym, „co da się zmierzyć”, wyniki zaczęły narastać lawinowo, tworząc coraz bardziej spójny obraz „mierzalnego aspektu” rzeczywistości.

Ale nasze totalitarne zapędy poznawcze bardzo szybko znowu powróciły do głosu. Skoro metoda empiryczna okazała się tak skuteczna w badaniu świata, to zapewne jest ona jedyną metodą, która z czasem wyjaśni wszystko. Mechanicyzm XIX stulecia można, w pewnym sensie, uważać za pierwszą fizyczną Teorię Wszystkiego. Istotnie, prawa mechaniki Newtona

---

\*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

funkcjonowały doskonale i nie istniały żadne podstawy, by sądzić, że nie wystarczy one do wyjaśnienia całej struktury „materialnego świata”. W takiej sytuacji przypuszczenie, że prawa biologii, a potem, psychologii i socjologii, da się „zredukować” do praw mechaniki stawało się odważnym, ale naturalnym, przypuszczeniem. Wielu myślicieli przypuszczenie to wypowiadało z odcieniem pewności w głosie. Mechanicyzm rzeczywiście pełnił funkcje Teorii Wszystkiego.

Sytuacja drastycznie zmieniła się z chwilą powstania teorii względności i mechaniki kwantowej. Stało się rzeczą widoczną „gołym okiem”, że mechanika klasyczna kontroluje (i to tylko „w dobrym przybliżeniu”) stosunkowo niewielki obszar rzeczywistości. Zarówno świat w najmniejszej skali, jak i świat w skali kosmicznej, rządzi się innymi prawami, które mogą różnić się zasadniczo od naszych potocznych wyobrażeń.

Rozpad fizyki na szereg działów, stosujących odmienne techniki badania, ponownie stał się faktem dokonany i tylko nieprzeciętnie zdolni ekscentrycy, jak Eddington, i geniusze, jak Einstein, nie utracili z pola widzenia wizji zunifikowanej fizyki.

## NOWE NADZIEJE

Dziś znowu koło historii wykonało pełny obrót. Fizyka nie przestała wprawdzie być rozdrobiona na dziesiątki wyspecjalizowanych działów (specjaliści w jednej dziedzinie nie bardzo już rozumieją, co mówią ich koledzy, zajmujący się sąsiednią dziedziną), ale dwa programy fizyki teoretycznej w ostatnich latach nabrały takiego rozmachu, że przyćmiewa on wszelkie podziały i znowu stwarza klimat dla totalitarnych zapędów.

Pierwszy program to program zunifikowania wszystkich fundamentalnych oddziaływań fizycznych. Znamy ich dzisiaj cztery: grawitacyjne, elektromagnetyczne, jądrowe słabe i jądrowe silne. Wiemy już także, że każde oddziaływanie wiąże się z pewną symetrią. Na początku Wszechświata, w niewyobrażalnie wielkich gęstościach i temperaturach, panowała pełna symetria. Odpowiadało jej tylko jedno oddziaływanie fizyczne. Gdyby marzenia jońskich filozofów przyrody o jednej zasadzie (*arche*) wyjaśniającej wszystko, odnieść do początku świata, nie byłyby one tak fantastyczne, jakimi nam się często wydają. Ale w miarę pęcznienia Wszechświata, temperatury i gęstości gwałtownie spadały. Z chwilą, gdy osiągnęły one pewien próg, nastąpiło złamanie pierwotnej symetrii i — jako pierwsze — z powszechnego, w pełni zunifikowanego oddziaływania wyłoniły się siły grawitacji. Scenariusz ten powtarzał się jeszcze w coraz niższych temperaturach.

Kolejno usamodzielniały się oddziaływania jądrowe silne oraz jądrowe słabe i elektromagnetyczne. Dziś mamy cztery odrębne symetrie, rządzące czterema odrębnymi oddziaływaniami fizycznymi.

Cały ten scenariusz nie jest tylko wydumanym schematem. Ostatni jego akt udało się odegrać w rzeczywistości. Weinberg i Salam dokładnie opisali (w języku matematyki) symetrię rządzącą zunifikowanym oddziaływaniem elektroslabym (tak się je dziś nazywa) i zbadali jej spontaniczne łamanie, które dało początek oddzielnym siłom elektromagnetycznym i oddzielnym jądrowym słabym. Doświadczenia przeprowadzone w akceleratorze w CERN-ie pod Genewą w pełni potwierdziły ten przebieg zdarzeń. Pozostałe etapy unifikacji oddziaływań fizycznych nie wychodzą dziś poza sferę teorii, ale teorii niezwykle obiecującej i otwierającej szerokie perspektywy.

Drugim wielkim programem współczesnej fizyki teoretycznej jest zagadnienie stworzenia kwantowej teorii grawitacji. Idzie tu również o zjednoczenie, ale zjednoczenie innego rodzaju. Współczesna fizyka teoretyczna jest podzielona na dwa wielkie obszary wpływów: mikrofizykę kontroluje mechanika kwantowa, a fizykę czasoprzestrzeni (w dużej skali) ogólna teoria względności. Wiadomo, że przy odpowiednio dużych natężeniach pola grawitacyjnego (a więc w bardzo małych obszarach lub bardzo blisko początku świata), grawitacja musi przejawiać swoją kwantową naturę i matematyczne metody obu tych wielkich fizycznych teorii muszą zespolić się w jedną matematyczną strukturę. Struktury tej dziś niestety nie znamy, ale istnieją rozmaite próby jej uchwycenia lub przybliżenia<sup>1</sup>. Próby te są niezwykle interesujące, gdyż po raz pierwszy w dziejach fizyki wskazują na mechanizmy, które mogły doprowadzić do *zaistnienia* świata bez żadnego uprzedniego tworzywa, czyli do jego powstania z *nicości*.

Wyobraźmy sobie, że w jakiś sposób dwa przedstawione powyżej programy współczesnej fizyki spotykają się: za jednym zamachem dokonujemy unifikacji wszystkich oddziaływań fizycznych (czyli odnajdujemy prąsymetrię), kwantujemy grawitację i wyjaśniamy, w jaki sposób kwantowy Wszechświat powstał z niczego. Okazuje się, że te wygórowane wymagania nie są całkowicie zawieszona w próżni. Pewna wersja tzw. teorii *superstrun* stwarza nadzieje na zrealizowanie w ten sposób nakreślonego superprogramu.

---

<sup>1</sup>Jedną z bardziej znanych tego rodzaju prób jest tzw. model Hartle'go–Hawkinga, spopularyzowany przez Hawkinga w jego znanej książce *Krótko historia czasu*, Alfa: Warszawa, 1990; pisałem o tym w „Problemach”, nry 10 i 11 1990.

Ale jeszcze nie jesteśmy w pełni zadowoleni. Świat ewentualnie moglibyśmy wyjaśnić przy pomocy tego rodzaju teorii, ale jak wyjaśnić samą teorię? Skąd się ona wzięła? Wszechświat jednak nie powstał całkiem z niczego lecz z praw tej teorii? Skąd zatem te prawa? Gdyby udało się udowodnić, że tylko jedna tego typu teoria jest możliwa, że druga taka samorealizująca się teoria nie istnieje, to nasz instynkt wyjaśniania zostałby zaspokojony, mielibyśmy Teorię Wszystkiego. W tym znaczeniu pojęcie Teorii Wszystkiego (skrót TOE od angielskiego *Theory Of Everything*) pojawiło się i funkcjonuje w literaturze fizycznej i popularno–naukowej. Teorii takiej jeszcze nie ma — musimy to stwierdzić z całym naciskiem, ale niektórzy fizycy (np. Frank Tipler) już w nią wierzą i zastanawiają się nad jej konsekwencjami. Nawet prasa tygodniowa zaczyna drukować sensacyjne nagłówki obwieszczające koniec fizyki i ostateczne zrozumienie wszystkiego. Sytuacja jest oczywiście ekscytująca: metoda fizyki, posunięta do granic swoich możliwości, stwarza zupełnie wyjątkowe perspektywy. Tym bardziej rzecz wymaga refleksji i spokojnego przemyslenia.

## PRZEMYŚLENIA FIZYKA

Znany fizyk angielski, John Barrow, swoje przemyślenia na ten temat zawarł w książce zatytułowanej *Teorie Wszystkiego*<sup>2</sup>. Zwróćmy uwagę na liczbę mnogą w tytule: jeżeli teorii wszystkiego jest wiele, to nie dają one ostatecznego wyjaśnienia. Bo dlaczego raczej ta niż inna teoria? Tytuł książki Barrowa niewątpliwie odzwierciedla współczesny stan rzeczy.

Zdaniem Barrowa, sam fakt, że poszukujemy jednego schematu teoretycznego, który byłby w stanie *wszystko* uczynić czytelnym, zrozumiałym, jest bardzo wymowny. Stanowi on niewątpliwie dziedzictwo naszej kultury, mającej swoje źródło w monoteistycznej tradycji, zgodnie z którą świat nie jest wynikiem działania nierozumnych potęg, jakiejś walki tytanów, dekretującej zachowania przyrody mocą brutalnej siły lub ślepego przypadku, lecz rezultatem racjonalnego planu, który można zrozumieć posługując się rozumem. Na założeniu, że świat ulega racjonalnej metodzie badania, opierają się nauki. Teorie Wszystkiego są doprowadzeniem tego założenia do ostatecznych granic jego możliwości. Ale Barrow nie przypuszcza, żeby — nawet wówczas, gdyby któraś z teorii wszystkiego okazała się prawdziwa — naprawdę wszystko dało się wyjaśnić przy pomocy jednego matematycz-

---

<sup>2</sup>J. Barrow, *Theories of Everything — The Quest for Ultimate Understanding*, Clarendon Press: Oxford, 1991. Niniejszy artykuł jest, w znacznej mierze, sprawozdaniem z lektury tej książki, wzbogaconym o pewne własne refleksje.

nego schematu. Teorie Wszystkiego, w technicznym znaczeniu tego określenia, mogą być jedynie warunkiem koniecznym zrozumienia świata, ale nie warunkiem wystarczającym. Barrow sądzi, że celem osiągnięcia pełnego zrozumienia *w fizyce*, należałoby również do końca zgłębić następujące zagadnienia: (1) natura i pochodzenie praw przyrody, (2) problem warunków początkowych, (3) problem identyczności sił i cząstek, (4) problem stałych przyrody, (5) mechanizmy łamania symetrii, (6) zasady organizujące powstawanie struktur we Wszechświecie, (7) efekty selekcji, zwłaszcza te, które wynikają z faktu, że jesteśmy obserwatorami badającymi świat, (8) kategorie myślenia. Zgłębienie tych wszystkich zagadnień wymagałoby wielu „nowych idei i spekulacji, które wykraczają poza tradycyjne myślenie w ramach i strukturach naukowego badania”<sup>3</sup>.

## PRAWA PRZYRODY

Od Teorii Wszystkiego żąda się przede wszystkim, by dało się z niej wyprowadzić wszystkie prawa przyrody, ale jeśli ma to być naprawdę teoria WSZYSTKIEGO, to powinna ona również wyjaśniać status poznawczy praw przyrody. A może on być różnoraki.

Przed wszystkim można sobie wyobrazić, że prawa przyrody istnieją w jakimś sensie „ponad” Wszechświatem, „wyrzedzają” go logicznie. Z jednej strony pogląd taki jest zgodny z potocznym sposobem mówienia: jeśli prawa przyrody „obowiązują Wszechświat” lub „rządzą nim”, to muszą być od niego logicznie wcześniejsze. Z drugiej strony pogląd ten odpowiada platońskiej wizji stosunku matematyki do świata: prawa przyrody są związkami matematycznymi, które istnieją niezależnie od świata danego nam w doświadczeniu. Zdaniem Barrowa Teorie Wszystkiego automatycznie faworyzują tego rodzaju punkt widzenia. Jeżeli bowiem istnieje matematyczna struktura, z której ma wynikać „wszystko”, to Wszechświat musi być w jakimś sensie wtórny w stosunku do tej struktury.

Z filozoficznego punktu widzenia atrakcyjna jest również sytuacja, w której prawa przyrody nie są czymś zasadniczo różnym od Wszechświata. Stanowiłyby one część jego struktury i nie byłoby sensu mówić o istnieniu praw przed zaistnieniem świata.

Można sobie wreszcie wyobrazić Wszechświat, który byłby czymś istotnie „większym” od zbioru zjawisk podlegających jakimkolwiek prawom. Mielibyśmy wówczas do czynienia z całkowicie chaotycznym światem, po-

---

<sup>3</sup>J. Barrow, dz. cyt., s. VII.

zbawionym wszelkich regularnych zachowań; istniałyby w nim tylko jakby wyspy zjawisk podlegających jakimś prawom. Pewną odmianą tej filozofii jest pogląd głoszący, że w ogromnych gęstościach, w sąsiedztwie Wielkiego Wybuchu „obowiązują” wszelkie dające się pomyśleć prawa przyrody, a więc faktycznie świat jest wówczas skrajnie chaotyczny. Dopiero z czasem, w miarę gdy temperatury i gęstości stają się niższe, z tego chaosu wyłaniają się prawa, stopniowo obejmujące kontrolę nad przebiegiem zjawisk.

Należy wszakże pamiętać, że przyjęcie obszarów zjawisk, nie podlegających żadnym prawom, oznacza rezygnację z ich wyjaśnienia, a zatem jest sprzeczne z ideą Teorii Wszystkiego.

## WARUNKI POCZĄTKOWE

Prawa przyrody są najczęściej wyrażane przy pomocy równań różniczkowych. Chcąc z takiego prawa wydobyc informację, należy równanie rozwiązać, ale by jednoznacznie określić rozwiązanie, musimy znać warunki początkowe. Na przykład ruch rzuconego kamienia jest określony przez rozwiązanie równania różniczkowego, które wyraża Newtonowskie prawo ruchu. Równanie ruchu ma wszakże wiele rozwiązań; odpowiada to dobrze znanemu faktowi, że kamień można rzucić na wiele różnych sposobów; można, na przykład, wybierać różne cele, w które kamień ma trafić. Wybierając ten a nie inny cel, „zadajemy” odpowiednie warunki początkowe, to znaczy rzucamy kamień tak, by trafić w cel.

Rozwiązania równania kodują w sobie fundamentalnie dopuszczalne zachowania się Wszechświata, podczas gdy warunki początkowe określają przypadkowe okoliczności determinujące wybór tej a nie innej możliwości. Napotykamy tu poważną trudność. Teoria Wszystkiego musi uporać się z problemem warunków początkowych: jeśli pozostawi je do wyboru, nie będzie teorią WSZYSTKIEGO. Jest to również zagadnienie kosmologiczne. Można bowiem postawić pytanie: jakie były warunki początkowe Wszechświata (które określiły detale kosmicznej ewolucji) i skąd się one wzięły?

Możliwe są tu rozmaite strategie. Można na przykład starać się udowodnić, że późniejsza ewolucja Wszechświata nie zależy od warunków początkowych, to znaczy: dowolne — wybrane na ślepo — warunki początkowe prowadzą zawsze do takiej samej późniejszej historii. Wyglądałoby to tak, jakby Wszechświat zapominał, z czego wystartował: znając jego późniejszą historię, nie da się odtworzyć jej warunków początkowych. Albo można starać się warunki początkowe wcielić do samego prawa, albo — jeszcze inaczej — poszukiwać jakiegoś „superprawa”, które rzuciłoby wyborem

warunków początkowych. Ciekawą wersję ostatniej możliwości zaproponowali Hertle i Hawking w swoim słynnym modelu kwantowego stworzenia Wszechświata<sup>4</sup>. W ich modelu warunki początkowe przyjmują postać tzw. warunków brzegowych, a jedyne „superprawo”, rządzące ich wyborem, srowadza się do zakazu istnienia jakichkolwiek warunków brzegowych. Nieco ściślej: geometria modeli Wszechświata ma być wybrana w ten sposób, żeby istnienie warunków brzegowych było automatycznie wykluczone.

Zagadnienie warunków początkowych stanowi poważny problem dla Teorii Wszystkiego. Wspomniane wyżej metody „eliminowania” lub „neutralizowania” warunków początkowych wydają się być czymś wyjątkowym wśród metod stosowanych standardowo w teorii równań różniczkowych. Co więcej, w wersji zapominania warunków początkowych przez Wszechświat byłibymy skazani na niewiedzę o nich nawet w wypadku, gdyby Teoria Wszystkiego była jednak prawdziwa. W istocie kontrolowałyby ona warunki początkowe, ale ponieważ byłyby one zapominane przez Wszechświat, nie mielibymy szans na ich poznanie. W tej wersji Teoria Wszystkiego nie dawałaby nam wiedzy o wszystkim.

## CZĄSTKI I POLA

Zdroworoządkowe wyobrażenia podpowiadają, że nie wystarczy znać prawa przyrody i warunki początkowe, by wyjaśnić wszystko. Trzeba jeszcze, żeby prawa miały czym rządzić. Należy więc wypełnić świat cząstkami (i polami), by cała kosmiczna machina mogła zacząć funkcjonować. Ale żadne równania nie mogą wyprodukować cząstek i z tego powodu rodzą się podejrzenia, czy Teoria Wszystkiego w ogóle jest możliwa.

Wątpliwości te mają uzasadnienie w ramach fizyki klasycznej. I właśnie dlatego mechanika klasyczna mogła pretendować do pełnienia roli Teorii Wszystkiego jedynie na mocy dekretu, to znaczy przez proste stwierdzenie, że jej prawa odnoszą się do „wszystkich ciał”. Z gruntu inaczej sytuacja przedstawia się we współczesnych teoriach pól kwantowych. Jeżeli roszczą one sobie pretensję do roli Teorii Wszystkiego, to czynią to nie na mocy dekretu lecz na mocy konstrukcji: fizycy starają się nadać tym teoriom taką matematyczną strukturę, która byłaby w stanie określić naturę i liczbę rodzajów cząstek, jakimi teoria ma „rządzić”. Takie ambicje nie są sprzeczne z pojęciowymi podstawami współczesnej fizyki.

---

<sup>4</sup>J. B. Hartle, S. W. Hawking, *Wave Function of the Universe*, w: „Physical Review”, D28, 1983, 2960–2975.

Łączy się to bezpośrednio z problemem indywidualności cząstek. W fizyce klasycznej każde ciało jest czymś niepowtarzalnym. Mogą istnieć ciała bardzo podobne do siebie, praktycznie nierozróżnialne, ale przez sam fakt, że są takie same, nie stają się tym samym ciałem. Nie możemy tych intuicji przenosić na cząstki elementarne. Wszystkie elektrony są więcej niż tylko takie same. Zamiana miejscami dwu elektronów nie zmienia w układzie absolutnie niczego. W teoriach pól kwantowych zagadnienie indywidualności cząstek staje się nietrywialnym problemem interpretacyjnym.

Mimo, że najnowsze teorie współczesnej fizyki są pod tym względem w znacznie lepszej sytuacji niż teorie fizyki klasycznej, nie rozwiązują one jeszcze wszystkich problemów. Przede wszystkim nie mamy pewności, czy znamy już wszystkie oddziaływania fundamentalne. Odkrycie nowych oddziaływań — nigdy nie wykluczone, choć wydaje się nam dziś mało prawdopodobne — mogłoby zasadniczo zmienić unifikacyjny schemat fizyki, a co za tym idzie również nadzieję na Teorię Wszystkiego. Nie udało się również dotychczas wydedukować z teorii liczby wszystkich możliwych typów cząstek elementarnych. Oczywiście bez dokonania tego nie może być mowy o Teorii Wszystkiego.

## STAŁE FIZYKI

Cała dotychczasowa fizyka składa się niejako z dwu „części”: z tego, co da się wydedukować z teorii i z tego, co trzeba zmierzyć. Wyniki pomiarów wyraża się zwykle w postaci rozmaitych stałych. Są one istotną częścią fizyki, ponieważ to właśnie za ich pośrednictwem matematyczne formuły wypełniają się treścią, mówiącą coś o rzeczywistym świecie. Teoria Wszystkiego, chcąc naprawdę być teorią WSZYSTKIEGO, musiałaby „odgadnąć” wartości wszystkich stałych fizycznych jedynie na podstawie przesłanek teoretycznych, bez posługiwania się mierzaniem. Innymi słowy, Teoria Wszystkiego przekreślałaby — przynajmniej w zasadzie — empiryczny charakter fizyki, czyniąc z niej naukę podobną do matematyki, w której wszystkie własności świata wynikałyby z podstawowych aksjomatów teorii. Doświadczenie przejęłoby jedynie funkcję sprawdzania trafności przewidywań teoretycznych.

Oczywiście już dzisiaj wiemy, że nie wszystkie stałe fizyczne są od siebie niezależne. Na przykład wiele stałych, charakteryzujących własności fizyczne lub chemiczne niektórych materiałów, da się wyprowadzić z bardziej podstawowych stałych fizyki. Ale istota Teorii Wszystkiego polegałaby na tym, że wszystko powinno być w niej zależne od wszystkiego i żadna wielkość (stała) nie powinna być po prostu dana (przez pomiar), lecz powinna



wynikać ze związków tworzących strukturę Wszechświata. Czy jest to możliwe do osiągnięcia?

Spośród wszystkich stałych fizycznych, trzy uważa się za najbardziej podstawowe: stałą grawitacji Newtona, stałą Plancka i stałą prędkość światła. Pierwsza z nich jest charakterystyczna dla fizyki klasycznej, druga dla mechaniki kwantowej, trzecia dla teorii względności. Czy w przyszłej, zunifikowanej fizyce stałe te okażą się naturalnymi konsekwencjami jakichś bardziej ogólnych związków? Trudno to sobie dziś wyobrazić, choć wielu fizyków–teoretyków wierzy, że tak.

We współczesnych teoriach fizycznych stałe fizyki pojawiają się zawsze jako stałe określające proporcjonalność pewnych wielkości (tzw. stałe proporcjonalności). Na przykład stała grawitacji Newtona określa proporcjonalność siły przyciągania pomiędzy dwiema masami do iloczynu tych mas. Problem polega na tym, że nie widać, w jaki sposób stałe proporcjonalności mogłyby wynikać z teorii. Chcąc zbudować Teorię Wszystkiego, należałoby wypracować zupełnie nową strategię rozgrywania problemu praw przyrody i występujących w nich stałych. Wydaje się, że tylko jedna droga pozostaje jeszcze niezamknięta: samozwartość przyszłej teorii mogłaby dyktować wartości pojawiających się w niej stałych. Ale wtedy należałoby wykazać, że samozwartość jest całkowita, to znaczy, że jakakolwiek, choćby najdrobniejsza, zmiana w strukturze teorii całkowicie niszczy jej logiczną zwartość. Teoria Wszystkiego stawia bardzo wygórowane wymagania!

## SPONTANICZNE ŁAMANIE SYMETRII

Sprawą istotnej wagi jest fakt, że nigdy nie obserwujemy praw przyrody lecz zawsze tylko wynik ich działania. Prawa mogą być bardzo proste, mogą one być aspektem matematycznie prostych i estetycznie pięknych symetrii, ale skutki działania tych praw — skutki, które obserwujemy lub mierzymy — na ogół bywają skomplikowane i trudne do rozszyfrowania. Symetrie, jakim podlegają prawa przyrody, są zupełnie niewidoczne w doświadczalnym kontakcie ze światem, o ile nie zostaną odpowiednio „ucztylnione” za pomocą niekiedy bardzo żmudnej analizy rachunkowej. Przy przejściu od oszczędnej harmonii i prostoty praw do bogactwa i skomplikowania skutków ich działania pierwotna symetria zostaje złamana (niekiedy w tym kontekście mówi się o spontanicznym łamaniu symetrii). Teoretycznie proste prawo produkuje nieprzewidywalne bogactwo skutków.

Rozpatrzmy przykład. Prawa statystycznej równowagi mają matematycznie prostą i symetryczną postać, ale spróbujmy przy ich pomocy wyli-

czyć dokładnie, w jaki sposób upadnie ołówek postawiony na zaostrowym szpicu? Ma on do wyboru nieskończenie wiele kierunków. Który z nich wybierze? Zależy to, jak powiadamy, od małych fluktuacji otoczenia: chwilowego drgnięcia powietrza, napięcia mięśni moich palców, tarcia grafitu o powierzchnię stołu, itp. Fluktuacje te nie są zawarte w samym prawie fizyki, lecz są uwarunkowane różnymi parametrami charakteryzującymi aktualny stan środowiska. Zjawisko łamania symetrii (przy przejściu od praw do ich skutków) wprowadza do świata element nie dającej się wyeliminować przypadkowości.

W skali kosmologicznej problem ten nabiera jeszcze większego znaczenia. Nie wiemy bowiem, za które aspekty globalnej struktury świata odpowiedzialnością należy obarczyć bezpośrednio jakiegoś prawa przyrody, a które jej aspekty są wynikiem przypadkowo złamanych symetrii. Na przykład: czy istnienie uniwersalnego czasu (jakim mierzymy historię Wszechświata) jest następstwem prawa przyrody, które „nakazuje”, żeby taki czas istniał (podobnie jak prawo grawitacji nakazuje, by każde dwie masy odpowiednio przyciągały się), czy też uniwersalny czas istnieje, ponieważ akurat w ten a nie inny sposób złamała się pierwotna symetria świata? W pierwszym przypadku wszystkie światy rządzone tymi samymi prawami przyrody musiałyby mieć czas uniwersalny; w drugim wypadku istnienie uniwersalnego czasu nie byłoby koniecznym elementem struktury świata, można by sobie wyobrazić światy (rządzone tymi samymi prawami przyrody co nasz), w których początkowa symetria została złamana w jakiś inny sposób, wykluczający istnienie uniwersalnego czasu. Taki świat nie mógłby mieć jednej historii!

Widzimy więc, że nawet gdybyśmy dysponowali pełną znajomością praw przyrody, warunków początkowych oraz dokładną liczbą wszystkich cząstek i pól, wypełniających Wszechświat, nasza wiedza byłaby niepełna: łamanie początkowych symetrii wprowadza element przypadkowości do struktury Wszechświata. Stawia to ogromne problemy przed Teorią Wszystkiego.

## ZASADY ORGANIZACJI STRUKTUR

Istnieje jeszcze jeden, szczególnie ważny, sposób łamania symetrii. Ma on miejsce wówczas, gdy układ wykazuje niejako nadwrażliwość na warunki początkowe. W zasadzie układ taki jest deterministyczny, tzn. absolutna znajomość warunków początkowych gwarantuje znajomość całej historii układu, ale znajomość warunków początkowych z najmniejszą choćby nieoznaczonością sprawia, iż przyszłe zachowanie się układu staje się zupełnie nieprzewi-

dywalne. Układy takie nazywają się *układami chaotycznymi* lub układami z *deterministycznym chaosem*. Z tego rodzaju układami nagminnie ma do czynienia meteorologia. Właśnie ta okoliczność sprawia, że wszystkie przewidywania pogody są najwyżej tylko prawdopodobne. Co więcej, wbrew dotychczasowym intuicjom, okazuje się, że w zbiorze wszystkich równań, które rozsądnie mogą kandydować do bycia prawami przyrody, występowanie deterministycznego chaosu jest raczej regułą niż wyjątkiem. Należy się więc spodziewać, że struktura Wszechświata jest pełna zjawisk nieprzewidywalnych.

W ostatnich latach badanie układów z dynamicznym chaosem poczyniło ogromne postępy. Procesy, w których występuje chaos deterministyczny, odgrywają ogromną rolę w powstawaniu i ewolucji zorganizowanych struktur we Wszechświecie. Układy z dynamicznym chaosem posiadają niezwykle ciekawą własność tworzenia zorganizowanych struktur. Dziś trudno już w to wątpić, że właśnie takie procesy odegrały decydującą rolę w ewolucji struktur, która w efekcie doprowadziła do powstania życia. Nie należy tego rozumieć ani w sensie redukcjonizmu, głoszącego sprowadzenie zjawiska życia wyłącznie do działania praw fizyki i chemii, ani w sensie powrotu do witalizmu, przyjmującego siłę życiową, jako całkowicie różną od tego, co znamy z fizyki i chemii. Życie od nie-życia różni się stopniem złożoności. Po przekroczeniu pewnego progu złożoności samoorganizujące czynniki dochodzą do głosu i proces ewolucji wkracza w nową „fazę”.

Często dziś mówi się o „zasadach organizujących”, które działają w procesie tworzenia coraz bardziej zorganizowanych struktur, ale których nie da się wyprowadzić z praw rządzących niższym poziomem. Prawa rządzące niższym poziomem są warunkiem koniecznym pojawienia się zorganizowanej struktury na wyższym poziomie, ale nie są warunkiem wystarczającym. Rolę warunku wystarczającego spełniają zasady organizujące. I tak na przykład prawa elektrodynamiki są warunkiem koniecznym do wyjaśnienia funkcjonowania komputera, ale z pewnością nie są warunkiem wystarczającym. W tym przypadku zasady organizujące są dostarczane przez człowieka w postaci reguł konstrukcji zespołów elektronicznych i programów komputerowych. Fakt interwencji człowieka sprawia, że komputera nie można uważać za układ samoorganizujący się. W przypadku układów samoorganizujących się występujących w przyrodzie odpowiednie zasady sterujące procesem samoorganizacji pochodzą z nieliniowych sprzężeń pomiędzy zjawiskami. Ponieważ w wielu wypadkach sprzężenia te są połączone z występowaniem deterministycznego chaosu, nie mogą być one przewidziane z niższego po-

ziomu. A więc wszystko wskazuje na to, że z Teorii Wszystkiego nie będzie można po prostu wydedukować praw rządzących pojawianiem się i ewolucją zorganizowanych struktur.

## EFEKTY SELEKCJI

W naukach eksperymentalnych błędy pomiarowe są czymś nieuniknionym. Są one kosztami własnymi metody, wkomponowanymi w nią samą. Istnieją błędy pomiarowe, wynikające z niedoskonałości aparatury. Wraz z postępem techniki eksperymentalnej błędy takie ulegają zmniejszeniu, chociaż oczywiście nigdy całkiem nie mogą zostać wyeliminowane. Matematyczna teoria błędów, przy pomocy różnych zabiegów o charakterze statystycznym, usiłuje zneutralizować zaciemniające działanie błędów i możliwie jak najwiarygodniej zrekonstruować niesfalszowany obraz rzeczywistości.

Znacznie „trudniejszy charakter” mają tzw. błędy systematyczne. Problem polega na tym, że nie wszystkie warunki eksperymentu znajdują się pod naszą kontrolą, a niekiedy są to takie warunki, od których wynik doświadczenia zależy w sposób istotny, a o istnieniu których możemy nawet wcale nie wiedzieć. Kiedy indziej bywa tak, że samo doświadczenie faworyzuje pewne wyniki kosztem innych. Mówimy wtedy o efektach selekcji. Jeżeli na przykład astronom pracuje nad sporządzeniem katalogu galaktyk, dających się obserwować przez teleskop, to jest rzeczą oczywistą, że łatwiej będzie on rejestrować galaktyki jaśniejsze, podczas gdy mniej jasne będą częściej uchodzić jego uwadze. Wniosek, że we Wszechświecie jest więcej galaktyk jaśniejszych niż mniej jasnych, byłby oczywiście fałszywy jako obciążony jawnym efektem selekcji. Sprawa staje się jeszcze bardziej skomplikowana, gdy efekt selekcji działa w sposób ukryty, gdy nie podejrzewamy nawet istnienia mechanizmów zniekształcających wyniki pomiarów.

Stosunkowo niedawno zauważono, że wszystkie obserwacje o znaczeniu kosmologicznym są obciążone silnie działającym efektem selekcji. Efekt ten jest niemal oczywisty, ale bardzo długo uchodził uwadze badaczy (prze-stroga, że niekiedy to, co oczywiste, wcale nie jest łatwo zauważalne). Efektem tym jest nasze istnienie jako obserwatorów. Nie możemy obserwować Wszechświata w dowolnej fazie jego istnienia, lecz tylko na takim etapie jego ewolucji, w którym może istnieć życie oparte na chemii organicznej czyli na chemii związków węgla. To, że w nocy widzimy ciemne niebo usiane gwiazdami, jest spowodowane faktem, iż węgiel, pierwiastek chemiczny niezbędny do naszego istnienia jako organizmów biologicznych, jest produkowany we wnętrzach gwiazd: nie moglibyśmy obserwować świata, wypełnionego go-

rażącą plazmą, w którym nie było jeszcze gwiazd, ponieważ nie istniały wówczas warunki konieczne do naszego zaistnienia. Wszystkie nasze obserwacje świata są skażone naszym istnieniem w świecie. Rozpoznanie funkcjonowania tego wszechobejmującego efektu selekcji nazywa się (*słabą*) *zasadą antropiczną*.

Nieuświadomienie sobie tego efektu selekcji przez długie stulecia powodowało absolutyzowanie obserwowanego obrazu świata. Przypuszczenie, że świat był zawsze takim, jakim go obecnie oglądamy, stanowiło milczące założenie wielu kosmologii starożytnych, średniowiecznych i nowożytnych.

Antropiczny efekt selekcji może fałszować nie tylko czasowy obraz Wszechświata, lecz także i jego obraz przestrzenny. Wyobraźmy sobie na przykład, że Wszechświat składa się z bardzo wielu, drastycznie różnych od siebie obszarów: jedne obszary rozszerzają się, inne kurczą, w jednych istnieją gwiazdy, w innych nie ma warunków do ich powstania, jedne obszary są wypełnione promieniowaniem, inne rozmaitymi rodzajami cząstek; w jednych obszarach obowiązują takie prawa przyrody, w innych zupełnie odmienne, itp., itp. Gdyby nasz Wszechświat był istotnie tego rodzaju chaotycznym zbiorowiskiem różnorodnych obszarów (a kto może zapewnić, że tak nie jest? być może, na przykład, fluktuacje odziedziczone po erze kwantowej prowadziły w różnych obszarach do drastycznie różnych ewolucji) i gdyby nawet udało się nam zbudować Teorię Wszystkiego, to w istocie nasza Teoria Wszystkiego byłaby jedynie teorią prowincjonalnego kawałka całości.

## KATEGORIE FILOZOFICZNE

Jeżeli słowo „Wszystko” w określeniu „Teorie Wszystkiego” rozumieć maksymalistycznie, to rozpatrując kwestię, czy takie teorie są możliwe, czy nie, nie da się uniknąć pytań filozoficznych. Natychmiast narzuca się problem, który można by umownie nazwać problemem Kanta: czy w ogóle możemy poznać „rzeczy w sobie”, to znaczy świat taki, jakim jest naprawdę? Jeżeli poznajemy rzeczywistość za pośrednictwem apriorycznych kategorii, wbudowanych w nasz aparat poznawczy, to na zawsze musimy pożegnać się z Teorią Naprawdę Wszystkiego.

Niekiedy przyrodnicy próbują neutralizować ten zarzut, odwołując się do teorii ewolucji: nawet jeżeli posiadamy jakieś aprioryczne kategorie poznania, to zostały one stworzone przez proces ewolucji w oddziaływaniu naszych organizmów ze środowiskiem, muszą więc być odpowiednio przystosowane do świata, dając jego przynajmniej przybliżenie wierny obraz.

Na przykład oko powstało ewolucyjnie jako detektor światła, przez oddziaływanie ze światłem pochodzącym z otoczenia, a więc oko nie może dawać przesadnie fałszywego obrazu otoczenia. Nie wdając się w filozoficzne dyskusje z tego rodzaju ewolucyjnym kontrargumentem, należy zauważyć, iż jest on zupełnie bezsilny wobec prawdy o świecie w skali kwantowej i w świecie w skali kosmologicznej. Nasz aparat poznawczy z pewnością nie kształtował się w środowisku mikro- lub megafizyki i nie możemy mieć nadziei, iż jest on odpowiednio przystosowany do poznawania także i tych dziedzin rzeczywistości.

Poprzestaśmy na problemie Kanta. Jest rzeczą oczywistą, że możliwość lub niemożliwość skonstruowania Teorii Wszystkiego (przy bardziej maksymalistycznym jej rozumieniu) istotnie zależy od wielu filozoficznych założeń (zarówno ontologicznych, jak i epistemologicznych). Nie da się mówić o Wszystkim, nie wchodząc na teren filozofii.

## O WSZYSTKIM

Zdając sobie sprawę z tego, że dokładne omówienie problematyki odnoszącej się do Teorii Wszystkiego wymagałoby pisania o wszystkim, przejdźmy jednak do próby zestawienia wniosków.

Po dotychczasowych wywodach jest rzeczą oczywistą, że nie da się stworzyć Teorii WSZYSTKIEGO, jeżeli „WSZYSTKO” rozumieć w sensie maksymalistycznym (nawet jeżeli pominąć WSZYSTKO, co odnosi się do zagadnień teologicznych). Jak widzieliśmy, Teoria Wszystkiego jest uwikłana w zbyt wiele zagadnień filozoficznych, by żywić rozsądną nadzieję na możliwość ich przewyciężenia. Dotychczasowe postępy nauk przyrodniczych stwarzają wrażenie (a może tylko złudzenie), że świat w całym swoim bogactwie jest zasadniczo poznawalny, to znaczy, że złamanie wszystkich tajemnic architektury świata jest tylko kwestią czasu i pomysłowości. Ale czy można nie mieć wątpliwości co do twierdzenia głoszącego, iż stopień złożoności struktury świata jest przystosowany do naszych możliwości jego rozumienia? Argumenty antropiczne, odwołujące się do mechanizmów selekcji są tu zupełnie bezsilne. Nie widać żadnej racji, dla której znajomość mechaniki kwantowej lub teorii unifikacji fizyki, miałyby ułatwiać biologiczne przetrwanie gatunku.

Od Teorii Wszystkiego wymaga się, by była to teoria w pełni zmatematyzowana, ale czy można marzyć o zmatematyzowaniu Wszystkiego? Jak ująć w matematyczne symbole piękno zachodu słońca, potęgę wizji Michała Anioła zakłęta w malowidłach kaplicy Sykstyńskiej, niezwykłą harmonię

muzyki Mozarta? Nawet jeżeli to wszystko jest w jakimś sensie „matematyczne”, to czy kiedykolwiek będziemy zdolni do stworzenia tak głębokich struktur matematycznych, by były one w stanie wyrażać rzeczy niewyrażalne?

Pytania te (i wiele innych, które można by jeszcze postawić) każą zakwalifikować nasze tęsknoty do ZROZUMIENIA WSZYSTKIEGO do sfery tych dynamizmów drzemających w naturze człowieka, które nigdy nie pozwolą mu uznać, że już doszedł do celu.

Teoria Wszystkiego w powyższym, filozoficznym sensie jest więc nie do zrealizowania, ale też i nie o taką teorię toczy się gra we współczesnej fizyce. Teoria Wszystkiego w sensie fizycznym nie ma aż takich ambicji, jej zadaniem jest zawarcie *całej fizyki* (ale też *tylko* fizyki) w jednej, odpowiednio zinterpretowanej strukturze matematycznej. Przez *całą fizykę* należy tu rozumieć wszystkie prawa fizyki, nie tylko te, które zostały rozpoznane do dziś. Prawa fizyki powinny logicznie wynikać z matematycznej struktury Teorii Wszystkiego. W szczególności dwa wielkie programy dzisiejszej fizyki, program unifikacji fizyki i program stworzenia kwantowej teorii grawitacji (tzn. program spójnego zespolenia metod ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej), powinny znaleźć swoją pełną realizację w Teorii Wszystkiego.

Panuje dziś powszechne przekonanie wśród fizyków, że matematyczna struktura Teorii Wszystkiego będzie wyrażać Fundamentalną Symetrię — prostą ale bogatą, piękną ale ulegającą rachunkowym manipulacjom — w której mieściłoby się Wszystko.

Stworzenie takiej teorii, choć *a priori* nie wiadomo czy do końca możliwe, pozostaje chwalebnym celem dążeń wielu prac, wytyczających drogi rozwoju współczesnej fizyki teoretycznej. Nie należy wszakże sądzić, że z chwilą wynalezienia Fizycznej Teorii Wszystkiego fizyka zakończy swoją działalność lub, w najlepszym razie, przeobrazi się w techniczną umiejętność dedukowania poszczególnych własności świata z matematycznej struktury Teorii Wszystkiego. Jak widzieliśmy powyżej, problem określenia odpowiednich warunków początkowych, mechanizmy łamania symetrii, zasady organizujące powstawanie i ewolucję struktur we Wszechświecie, rozmaite efekty selekcji, itp. sprawiają, że, nawet jeśli cała fizyka jest zawarta w Teorii Wszystkiego, to nie na sposób mechaniczny, jak klocki w pudełku, lecz raczej w sposób potencjalny: która z dopuszczalnych możliwości zostanie zrealizowana, zależy od wielu czynników o charakterze nieprzewidywalnym. Na zawsze zagwarantuje to uprawianiu fizyki element twórczości.

Niektórzy fizycy na Teorię Wszystkiego nakładają jeszcze jeden warunek: ma to być *jedynie możliwa* teoria tego rodzaju. Istniałaby więc tylko jedna matematyczna struktura, która mogłaby być interpretowana jako fizyczna Teoria Wszystkiego. Fakt ten zapewniałby fizyce pewnego rodzaju konieczność — zestaw podstawowych praw fizyki nie mógłby być inny niż jest. Świat byłby więc układem logicznie zamkniętym, usprawiedliwiałby niejako sam siebie. Pod adresem tego rodzaju wymagania nasuwa się jednak cały szereg zastrzeżeń. Teoria Wszystkiego mogłaby być jedynie możliwą Teorią Wszystkiego tylko względem pewnego zbioru założeń wyjściowych. Ale skąd brać te założenia? Czy jakiegokolwiek założenia mogą usprawiedliwiać same siebie? Czy zatem winny być przyjęte na mocy oczywistości? Ale oczywistość już wiele razy w historii nauki okazywała się tylko zadawnionym nawykiem myślowym. Dyskutując problem założeń dla Teorii Wszystkiego (nawet tylko w sensie fizycznym), trudno uniknąć zagadnień filozoficznych, a wejście na teren filozofii stawia więcej pytań niż rozwiązuje. Wszystko wskazuje więc na to, że nawet gdyby istniała Jedyna Teoria Wszystkiego i gdybyśmy ją nawet w jakiś sposób poznali, to nie byłibyśmy w stanie udowodnić, iż jest to istotnie jedynie możliwa teoria tego rodzaju.

I wreszcie nie można pominąć zagadnienia o znaczeniu fundamentalnym: w jakiej mierze ograniczenia metody matematycznej, wyrażane w tzw. twierdzeniach limitacyjnych, przenoszą się z matematyki na fizykę? Mam na myśli twierdzenia Gödla, Tarskiego, Churcha, Skolema–Lewenheima, Turinga. Wszystkie one mówią o rozmaitych ograniczeniach (lub o rozmaitych aspektach tego samego ograniczenia) tkwiących w idei (odpowiednio bogatego) układu aksjomatycznego. Konsekwencje tych twierdzeń dla filozofii, techniki komputerowej i zagadnienia sztucznej inteligencji są ciągle dyskutowane i ciągle jeszcze daleko do nawet przybliżonej zgody odnośnie końcowych wniosków. Wydaje się jednak, że dość wyraźnie zbliżamy się do zrozumienia, przynajmniej w najogólniejszych zarysach, znaczenia twierdzeń limitacyjnych dla fizyki teoretycznej.

Skoncentrujmy uwagę — przykładowo — na twierdzeniu Gödla. Mówi ono, że jeżeli rozpatrujemy układy aksjomatyczne, przynajmniej tak bogate, jak układ aksjomatyczny arytmetyki, to w języku tego układu można wypowiedzieć wiele sensownych stwierdzeń, co do których nie da się rozstrzygnąć, czy są one prawdziwe w tym układzie, czy nie (tzn. czy wynikają z aksjomatów układu, czy też z nich nie wynikają).

Metoda aksjomatyczna jest podstawową metodą matematyki. Mówiąc najogólniej, polega ona na dokładnym określeniu języka danej teorii ma-



tematycznej, wyróżnieniu jej założeń (aksjomatów) i dopuszczalnych reguł wnioskowania. Metoda aksjomatyczna byłaby więc maszynką do dowodzenia twierdzeń (wyprowadzania ich z aksjomatów), gdyby nie twierdzenie Gödla. Dzięki temu twierdzeniu wiemy, że jeżeli teoria matematyczna zawiera w sobie arytmetykę, to nie da się jej sprowadzić do zbioru mechanicznych operacji.

Chciałoby się powiedzieć po prostu: jeżeli tak jest w matematyce, to co dopiero w fizyce, która jest przecież matematyką, ale matematyką z pewnym naddatkiem interpretacyjnym, odnoszącym pewne struktury matematyczne do rzeczywistego świata. Wniosek taki należy jednak przyjąć z pewną ostrożnością. Wymagałby on znacznie dokładniejszych analiz niż te, na które można sobie pozwolić w końcowych partiach przeglądu artykułu.

Ściśle rzecz biorąc, ograniczenia, o jakich mówi twierdzenie Gödla, odnoszą się tylko do układów aksjomatycznych, a fizycy stosunkowo rzadko posługują się takimi układami i to raczej w celu porządkowania już uzyskanej wiedzy niż w zdobywaniu nowych terenów. Należałoby więc mówić nie tyle o wnioskach wynikających z twierdzenia Gödla dla Teorii Wszystkiego, ile raczej o morale płynącym z tego twierdzenia dla fizyki. A morał jest następujący: W fizyce z pewnością wykorzystuje się teorie matematyczne, zawierające arytmetykę. Należy więc oczekiwać, że gdyby udało się ująć całą fizykę w postaci jednego układu aksjomatycznego (co można by uznać za pewnego rodzaju Teorię Wszystkiego), to musiałyby istnieć nierozstrzygalne stwierdzenia fizyczne, a więc takie stwierdzenia, o których nie wiedzielibyśmy, czy są prawdziwe, czy nie. Nasza „Teoria Wszystkiego” nie byłaby w stanie rozstrzygać o wszystkim.

Co więcej, nawet gdyby udało się ująć całą fizykę teoretyczną w postaci jednego układu aksjomatycznego, to nie byłby to układ aksjomatyczny w sensie „czystej matematyki”; byłby on „zabrudzony” interpretacją fizyczną, to znaczy odniesieniem struktur matematycznych do świata. Fizyczna interpretacja struktur matematycznych nie jest prostym zabiegiem. Trudno uwierzyć, by nie dodawała ona własnych ograniczeń do ograniczeń tkwiących w naturze matematyki.

Castel Gandolfo, 6.10.1991.

*Michał Heller*