

JULIAN BARBOUR

K O N I E C  
C Z A S U

Nowa rewolucja  
w fizyce

tłumaczenie  
Tomasz Lanczewski

## Najważniejsze zagadki

### Kolejna rewolucja w fizyce

**N**ie ma nic bardziej tajemniczego i nieuchwytnego niż czas. Wydaje się on najpotężniejszą siłą we wszechświecie, niosąc nas nieubłaganie od narodzin do śmierci. Ale czym on właściwie jest? Święty Augustyn, który zmarł w 430 roku, tak podsumował ten problem: „Jeśli nikt mnie o to nie pyta, wiem. Jeśli pytającemu usiłuję wytłumaczyć, nie wiem”. Wszyscy zgadzają się z tym, że czas związany jest ze zmianą, wzrostem i rozpadem, ale czy jest jeszcze czymś więcej? Pytania się mnożą. Czy czas płynie naprzód, powołując do istnienia stale zmieniającą się teraźniejszość? Czy przeszłość nadal istnieje? Gdzie znajduje się przeszłość? Czy przyszłość jest z góry ustalona i spokojnie oczekuje na nas, choć sami nie mamy pojęcia, czym ona jest? Wszystkie powyższe pytania zostaną omówione w tej książce, lecz najistotniejszym pozostaje to, na które święty Augustyn nie potrafił znaleźć odpowiedzi: czym jest czas?

O dziwo, fizycy starają się nie stawiać tego pytania, wołąc pozostawiać je filozofom. Powodem takiego stanu rzeczy jest prawdopodobnie kolosalny i dominujący wpływ Isaaca Newtona i Alberta Einsteina. To oni ukształtowali sposób, w jaki fizycy myślą o przestrzeni, czasie i ruchu. Każdy z nich stworzył

interpretację świata o niezrównanej przejrzystości. Lecz po znalezieniu własnej metody opisu struktury rzeczywistości nie przejmowali się zbytnio jej fundamentami. Otwiera to drzwi dla pojawienia się nieporozumień. Bez wątplenia ich teorie zawierają wspaniałe prawdy, natomiast obaj geniusze traktowali czas jako wielkość zadaną. Stanowi on podstawowy element na równi z przestrzenią – jest pierwotną substancją. W rzeczy samej, Einstein połączył go z trójwymiarową przestrzenią i w rezultacie powstała czterowymiarowa czasoprzestrzeń. Była to jedna z wielkich rewolucji w fizyce (ramka 1).

#### **RAMKA 1. Wielkie rewolucje w fizyce**

**1543: Rewolucja kopernikańska.** W dziele *De revolutionibus orbium coelestium (O obrotach sfer niebieskich)* Mikołaj Kopernik zasugerował, że Ziemia krąży wokół środka wszechświata. Tytuł ten stanowi źródło współczesnego znaczenia słowa „rewolucja”. Kopernik określił tam kształt Układu Słonecznego. Co ciekawe, Słońce odgrywa niewielką rolę w jego systemie; umieścił je tylko w pobliżu środka wszechświata. Mniej więcej 60 lat później Johannes Kepler wykazał, że Słońce jest prawdziwym centrum Układu Słonecznego, i wraz z Galileuszem przygotował fundament pod kolejną rewolucję.

**1687: Rewolucja newtonowska.** W dziele *Matematyczne zasady filozofii naturalnej* Newton sformułował swoje słynne trzy prawa ruchu oraz teorię powszechnego ciężenia. Pokazał, że wszystkie ciała – ziemskie i niebieskie – podlegają identycznemu prawom, a tym samym stworzył pierwszy schemat, w ramach którego można było opisać cały wszechświat jako wzajemnie ze sobą powiązaną jedność. Newton był twórcą nauki zwanej mechaniką, obecnie często nazywanej dynamiką, która zapoczątkowała okres rozwoju nowoczesnej nauki. Twierdził on, że wszystkie ruchy odbywają się w nieskończonej, nieruchomej, absolutnej przestrzeni oraz że czas również jest absolutny i „płynie jednostajnie niezależnie od wszelkich zewnętrznych wpływów”.

**1905: Szczególna teoria względności.** W stosunkowo krótkiej pracy na temat elektromagnetyzmu Einstein udowodnił, że jednoczesności nie można zdefiniować w sensie absolutnym dla rozdzielonych przestrzennie punktów oraz że przestrzeń i czas są ze sobą nierozzerwalnie związane. To, co traktujemy jako przestrzeń, i to, co wydaje nam się być czasem, zależy od ruchu obserwatora. Einstein dokonał zadziwiających przewidywań dotyczących zachowania się prętów pomiarowych i zegarów oraz wyprowadził swoje słynne równanie  $E = mc^2$ . W 1908 roku Hermann Minkowski sformalizował pojęcie czasoprzestrzeni jako sztywnej, niepodzielnej, czterowymiarowej areny zdarzeń dla całego wszechświata.

**1915: Ogólna teoria względności.** Szczególna teoria względności opisuje świat, w którym nie występuje grawitacja. Po ośmiu latach rozmyślań Einstein ostatecznie sformułował swoją ogólną teorię względności, w której sztywna scena czasoprzestrzeni Minkowskiego staje się elastyczna i dostosowuje się do obecności występującej w niej materii. Grawitacji nadał olśniewająco oryginalną interpretację efektu pochodzącego z zakrzywienia czasoprzestrzeni. Teoria ta wykazała, że czas może mieć początek (Wielki Wybuch) i że wszechświat może się rozszerzać lub kurczyć. Choć w przeważającym stopniu było to dzieło czystej myśli, wiele przewidywań tej teorii zyskało do dnia dzisiejszego bardzo mocne potwierdzenie doświadczalne. Opisuje ona wielkoskalowe właściwości materii oraz wszechświat jako całość.

**1925/6: Mechanika kwantowa.** Swoją nazwę teoria ta zawdzięcza temu, że pokazuje, iż pewne mechaniczne wielkości występują w przyrodzie wyłącznie jako wielokrotności nieciągłych (dyskretnych) wartości zwanych kwantami. Stanowi to charakterystyczną różnicę pomiędzy tym modelem a teoriami Newtona i Einsteina, które obecnie nazywane są teoriami klasycznymi (w odróżnieniu od kwantowych). Pierwsze efekty kwantowe zostały odkryte i opisane *ad hoc* przez Maxa Plancka (1900), Einsteina (1905) oraz Nielsa Bohra (1913), natomiast spójna teoria kwantowa ujrzała światło dzienne w dwóch odmiennych, lecz równoważnych postaciach: mechaniki macierzowej opracowanej przez Wernera Heisenberga (1925) oraz mechaniki falowej wprowadzonej przez Erwina Schrödingera (1926). Na tym polu wybitnymi osiągnięciami wykazał się

również Paul Dirac. Mechanika kwantowa opisuje właściwości światła, zwłaszcza laserowego, oraz mikroskopijny świat atomów i cząsteczek. Stanowi podstawę wszystkich współczesnych technologii elektronicznych, lecz jej wyniki w zaskakujący sposób przeczą zdroworozsądkowej intuicji i stawiają głębokie pytania dotyczące natury rzeczywistości. Zaskakujące jest również, że teorie posiadające całkowicie odmienną strukturę stosowane są do opisu makroskopowego wszechświata (klasyczna ogólna teoria względności) i mikroskopowych atomów (mechanika kwantowa).

To rewolucje sprawiają, że fizyka jest tak bardzo fascynującą nauką. Co pewien czas otwiera się całkowicie nowa perspektywa. Lecz nie wygląda to tak, że zamykamy okiennice jednego okna, otwieramy je na kolejnym i nagle zauważamy, że spoglądamy ze zdumieniem na całkowicie nowy krajobraz. Dawne perspektywy utrzymują się w nowym obrazie. Dobrą metaforą fizyki może być wspinaczka górską: im wyżej wchodzimy, tym szersza panorama prezentuje się przed naszymi oczami. Każdy nowy punkt obserwacji dostarcza lepszego zrozumienia wzajemnych powiązań między elementami rzeczywistości. Co więcej, stopniowe gromadzenie wiedzy jest przerywane nagłymi i zaskakującymi poszerzeniami horyzontu, tak jak wówczas, gdy docieramy do wierzchołka wzgórza i naszym oczom ukazują się widoki, których nie spodziewaliśmy się zobaczyć podczas podejścia. Kiedy już odnajdziemy nasze położenie w nowym krajobrazie, nasza ścieżka na ostatni zdobyty szczyt staje się wytuczona i zajmuje swoje honorowe miejsce w nowym świecie.

Dzisiaj fizycy z pełnym przekonaniem, a nawet ze zniecierpliwieniem, wyczekują nowej rewolucji. Ale czym ona będzie? W 1979 roku, kiedy, podobnie jak wcześniej Newton i Dirac, Stephen Hawking objął profesurę katedry Lucasa w Cambridge,

w swym inauguracyjnym przemówieniu ogłosił rychły koniec fizyki. W ciągu 20 lat fizycy mieli wejść w posiadanie teorii wszystkiego, stworzonej na podstawie podwójnej unifikacji: wszystkich sił występujących w przyrodzie oraz Einsteinowskiej ogólnej teorii względności z mechaniką kwantową. Fizycy mogliby wówczas poznać wszystkie zagadki istnienia i pozostałoby im jedynie zrozumienie wypływających z nich wniosków.

Jak do tej pory żadna z tych unifikacji nie doszła jednak do skutku, choć przynajmniej jedna lub nawet obie z pewnością powinny były już nastąpić. (Hawking niedawno stwierdził, że jego przewidywanie nadal pozostaje w mocy, ale „te 20 lat należy zacząć liczyć od teraz”). Jeśli o mnie chodzi, wątpię, aby owe unifikacje mogły być zapowiedzią końca fizyki. Natomiast unifikacja ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej może równie dobrze oznaczać *koniec czasu*. Mam przez to na myśli, że przestanie on odgrywać rolę w podstawach fizyki. W pewnym momencie zobaczymy, że czas nie istnieje. Mimo iż jest to wyłącznie perspektywa jawiąca się na horyzoncie, moim zdaniem to właśnie może stanowić kolejną rewolucję. Cóż to by było za niezwykle zwieńczenie historii nauki, gdyby okazało się to prawdą!

Uważam, że podstawowe elementy owej potencjalnej rewolucji – jej powody i prawdopodobny wynik – można dostrzec już teraz. W rzeczy samej, jak niebawem zobaczymy, wyraźne wskazówki dotyczące tego, że czas może nie istnieć oraz że gravitacja kwantowa – unifikacja ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej – dostarczy statycznego obrazu wszechświata kwantowego, zaczęły się pojawiać około 30 lat temu, lecz wywarły niezwykle mały wpływ na fizykę. Jest to jeden z powodów, dla których napisałem niniejszą książkę: zagadnienia te powinny zostać szerzej rozpropagowane. Dopiero teraz zaczynają

być opisywane w publikacjach przeznaczonych dla zwykłych czytelników, a nawet większość czynnych zawodowo fizyków zna je co najwyżej w niewielkim stopniu.

Niewątpliwie wiele osób odrzuci jako nonsens sugestię, że czas może nie istnieć. Bynajmniej nie zaprzeczam potężnemu zjawisku, które nazywamy czasem. Lecz czy jest on tym, czym się jawi? Przecież Ziemia też wydaje się płaska. Uważam, iż rzeczywiste zjawisko jest tak odmienne, że gdybym zaprezentował wam, czym moim zdaniem ono jest, bez używania słowa „czas”, nie przysłoby wam do głowy nazwać go w ten sposób.

Jeśliby usunąć czas z podstaw fizyki, nie poczulibyśmy wszyscy nagle, że ustał upływ czasu. Wręcz przeciwnie – nowe beczasowe zasady wyjaśniają, dlaczego *realnie* odczuwamy zjawisko upływu czasu. Powtórzy się schemat pierwszej wielkiej rewolucji w fizyce. Kopernik, Galileusz i Kepler nauczyli nas, że Ziemia porusza się i obraca, podczas gdy niebiosa są nieruchome, lecz nie zmieniło to ani na jotę naszej bezpośredniej obserwacji, że to niebo się porusza, a Ziemia nie zmienia swojego położenia. Zrozumienie wzajemnych powiązań między różnymi obiektami ostatecznie zmieniło się nie do poznania w sposób, którego nie dało się przewidzieć. Moim zdaniem nadeszła teraz pora na wykonanie nieco paradoksalnego odwrotu od rewolucji kopernikańskiej i zanurzenie się w głębię rzeczywistości, w której zupełnie nic, ani sfery niebieskie, ani też Ziemia, nie poruszają się. Panuje tu bezruch.

Ludzie często pytają mnie, jakie są konsekwencje nieistnienia czasu. Co będzie to oznaczać dla codziennego życia? Myślę, że nie możemy na to pytanie udzielić odpowiedzi. Kopernik nie mógł podejrzewać, jakie odkrycia poczyni Newton (nie mówiąc już o Einsteinie), choć wszystkie one miały swe źródło w jego

rewolucji. Ale możemy być pewni, że nasze koncepcje dotyczące czasu, przyczynowości i początków ulegną przeobrażeniu. Na poziomie osobistym rozmyślanie o tych sprawach przekonało mnie, że powinniśmy się troszczyć o terażniejszość. Że ona z pewnością istnieje i jest może nawet wspanialsza, niż to sobie wyobrażamy. *Carpe diem* – ciesz się chwilą. Szerzej zajmę się tą kwestią w epilogu.

## Rzeczy ostateczne

Książka ta koncentruje się wokół trzech pytań: Czym jest czas? Czym jest zmiana? Jaki jest plan wszechświata? Jedynym sposobem udzielenia na nie odpowiedzi jest zbadanie struktury naszych najbardziej udanych teorii. Musimy zgłębić architekturę przyrody. Jaką rolę, jeśli w ogóle, odgrywa czas w tych teoriach? Czy potrafimy określić najbardziej fundamentalną arenę świata?

Pytania te zostały narzucone fizykom przez badania, o których wspomniałem we wstępie. Jest to jedna z dwóch wielkich (i prawie na pewno ściśle ze sobą związanych) tajemnic współczesnej fizyki (ramka 2). Obie są aspektami jak dotychczas niezasypanej przepaści między fizyką klasyczną i kwantową.

### **RAMKA 2. Dwie wielkie tajemnice**

Jak wyjaśniono w ramce 1, fizycy obecnie opisują świat za pomocą dwóch bardzo odmiennych teorii. Właściwości dużych obiektów charakteryzowane są przez fizykę klasyczną, natomiast do opisu małych elementów świata materialnego stosowana jest fizyka kwantowa. Istnieją dwa problemy związane z tym obrazem.