

## Robacze dziury

Fizyka nie wyjaśnia, czym jest czas. Natomiast doświadczalnie weryfikowane badania jego matematycznej struktury wiele mówią o naturze czasu. Wiemy przeto, że upływa on w zmieniającym się tempie, a na granicy czarnej dziury staje zupełnie. Nie wiemy natomiast, czy prawa przyrody rzeczywiście uniemożliwiają powrót do przeszłości.

### Stanisław Mrówczyński

Fizycy jako spadkobiercy filozofów przyrody od wieków deliberują nad czasem. Starają się uchwycić, co decyduje o jego własnościach. Ciekawe, że najważniejsze, a zarazem najżywotniejsze koncepcje czasu ukształtowały się już wkrótce po narodzinach nowożytnej fizyki. Izaak Newton – prawodawca metody naukowej – umieścił w pierwszej części „Matematycznych zasad filozofii naturalnej”, zaraz po definicjach masy, pędu, siły, słynne stwierdzenie: „Czas absolutny, prawdziwy i matematyczny, sam z siebie i przez swą naturę, upływa równomiernie bez związku z czymkolwiek zewnętrznym i inaczej nazywa się trwaniem”. Dalej Newton jeszcze wyjaśnia: „Wszystkie ruchy mogą przyspieszać i zwalniać, ale upływanie absolutnego czasu nie ulega żadnym wpływom. Trwanie, czyli dążność do zachowania istnienia rzeczy, pozostaje to samo niezależnie od tego, czy ruchy są szybkie, czy wolne, czy też nie ma ich wcale. I dlatego też trwanie to powinno odróżniać się od tego, co jest tylko jego zmysłową miarą”.

Drugi z gigantów owej epoki Gottfried Wilhelm Leibniz przedstawił zupełnie odmienne stanowisko. Dla niego czas był tylko relacją – porządkiem następstwa rzeczy. Gdy czas Newtona ma naturę substancjalną, jest rzeczą, Leibniza jedynie własnością rzeczy. Jeśli ze świata Newtona usunąć wszelką materię, czas pozostanie nienaruszony. Natomiast czas Leibniza zniknie zupełnie, jeśli jego najlepszy ze światów pozbawić jakichkolwiek zdarzeń.

Jeszcze inny pogląd przedstawił współczesny Newtonowi i Leibnizowi George Berkeley. Ponieważ w jego filozofii „istnieć, znaczy być postrzeganym”, obserwator odgrywa tutaj kluczową rolę, a „czas jest niczym innym jak ciągiem idei w naszych umysłach”. Czas w podejściach Newtona i Leibniza jest zjawiskiem obiektywnym, Berkeley natomiast eksponuje jego subiektywny charakter.

W ciągu trzech wieków, jakie upłynęły od sformułowania tych koncepcji, wielokrotnie wracano do pytania o czas. Jednak udzielane odpowiedzi nie wnosiły zasadniczo nowych elementów, a jedynie modyfikowały lub precyzowały znane już stanowiska. Chociaż fizycy nadal nie rozumieją, czym jest czas, mogą dużo o nim powiedzieć, zajmując się nie samym czasem, lecz jedynie jego modelem. Usystematyzowane fakty doświadczalne określają matematyczną strukturę czasoprzestrzeni, reprezentującej czas i przestrzeń w fizycznym obrazie świata. Czasoprzestrzeń zaś determinuje własności czasu.

Newtonowska fizyka klasyczna wyrażała oparte na zdrowym rozsądku wyobrażenia o czasie. Za sprawą teorii względności, najpierw szczególnej, a potem ogólnej, wyobrażenia te musiały ulec zasadniczym zmianom. Czas utracił swój absolutny charakter, pojęcie równoczesności stało się relatywne – zdarzenia równoczesne dla jednego obserwatora są nierównoczesne dla innego. Tak jak w przestrzeni możemy się poruszać ze zmienną prędkością, czas upływa zależnie od ruchu raz szybciej, raz wolniej. Prowadzi to do słynnego paradoksu bliźniąt. Jeśli jeden z bliźniaków odbędzie podróż kosmicznym pojazdem, to po powrocie na Ziemię, gdzie pozostawił brata, będzie od niego młodszy. Zegar bowiem w szybko poruszającym się układzie chodzi wolniej niż identyczny zegar w układzie spoczywającym. Ponieważ „szybko” znaczy z prędkością bliską prędkości światła, a ta wynosi 300 tys. km na sek., problem nie ma praktycznego znaczenia dla naszego życia codziennego.

Jednak fizycy badający nietrwałe cząstki elementarne, które z takimi wielkimi prędkościami się poruszają, już całkiem przywykli do faktu, że szybkie cząstki żyją dłużej niż wolne. Paradoks bliźniąt polega w istocie na czymś innym. Ponieważ ruch jest względny, to z punktu widzenia tego z braci, który pędzi w pojeździe, w ruchu znajduje się ten, który pozostał na Ziemi. Wydaje się więc, że stwierdzenie, kto jest starszy, a kto młodszy, jest sprawą całkowicie subiektywną. Nie będę się wdawał w wyjaśnianie tego problemu, zaznaczę tylko, że sytuacje bliźniaków pomimo względności ruchu nie są zupełnie symetryczne. Ten z pojazdu, w przeciwieństwie do tego, który pozostał na Ziemi, doznawał przyspieszeń i to on właśnie będzie młodszy.

W ogólnej teorii względności sprawy się jeszcze bardziej komplikują. Tworząc swą teorię Einstein był pod przemożnym wpływem Ernesta Macha. Wierzył, że znajdzie w niej ucieleśnienie leibnizowska koncepcja czasu i przestrzeni całkowicie determinowanych przez świat materialny. Te oczekiwania tylko w części się sprawdziły. Struktura czasoprzestrzeni rzeczywiście zależy od rozkładu materii, lecz nie jest to związek jednoznaczny. Co więcej, teoria dopuszcza istnienie czasu i przestrzeni we wszechświecie pozbawionym zupełnie materii. A zatem czas nie jest tylko własnością rzeczy, lecz samoistnym bytem. Chociaż tego wniosku wynikającego z teorii względności potwierdzić doświadczalnie nie sposób, inne jej przewidywania zweryfikowano. Udało się na przykład udowodnić, że w polu grawitacyjnym zegary zmieniają swój chód.

Bardzo precyzyjne pomiary przeprowadzone w 1960 r. wykazały, że zegar umieszczony na wieży Uniwersytetu Harvarda chodził szybciej niż ten 23 metry poniżej.

Dotychczas nie wspominałem o najbardziej dojmującej własności czasu – jego jednokierunkowości; czas upływa, nigdy się nie cofając. Gdy rozważamy proste zjawiska, takie jak ruch wahadła czy zderzających się kulek, przeszłość i przyszłość są jakby wymienne, tzn. jeśli sfilmujemy owe zjawiska, a film puścimy od tyłu, nie dostrzeżemy istotnej różnicy. Gdy podobnie postąpimy ze zjawiskami bardziej złożonymi, takimi choćby jak rozplývająca się w wodzie kropla atramentu, okaże się, że cofający się film przedstawia sytuacje, które nigdy nie występują. Wszak nie zdarza się, aby rozcieńczony w wodzie atrament zebrał się z powrotem w kroplę. Fizycy przeto dzielą procesy na odwracalne i nieodwracalne. Pomijając pewien istotny wyjątek, można powiedzieć, że fundamentalne prawa dynamiki są odwracalne w czasie. Dzięki temu proste systemy również mają tę własność – ewolucja może zachodzić zarówno do przodu, jak i wstecz w czasie. Natomiast w przypadku układów złożonych, przyszłości nie można zamienić na przeszłość. Porcelanowe skorupy mogą być przyszłą formą całej filiżanki, nie mogą zaś stanowić jej przeszłości. Nie bywa przecież, aby skorupy wskoczyły na stół i skleiły się w filiżankę.

Od przeszło wieku fizycy starają się pogodzić odwracalność w czasie praw dynamiki z zachodzeniem procesów nieodwracalnych. Już kilkakrotnie zdawało się, że problem wyjaśniono, lecz za każdym razem okazywało się, że w rozumowaniu ukryte było założenie odróżniające przeszłość od przyszłości. Przyczyn występowania strzałki czasu – jego jednokierunkowości – wciąż nie rozumiemy. Są jednak poważne wątpliwości, czy stanowi ono nienaruszalne prawo przyrody. Aktualne więc staje się pytanie o podróże wstecz w czasie. Dlaczego nie możemy ich odbywać?

**Wyobraźmy sobie, że jakiś szalony konstruktor buduje wehikuł czasu i rusza w przeszłość. Spotyka tam swego dziadka i zabija go nim ten zdążył spłodzić ojca konstruktora. Mordując dziadka unicestwia również ojca, więc sam nie może istnieć. Całe zamieszanie wynikało z pogwałcenia zasady przyczynowości, która orzeka, że przyczyna zawsze poprzedza skutek. Tutaj zaś skutek, a więc wnuczek, pojawił się przed przyczyną, czyli ojcem. Fizycy długo żyli w błogim przekonaniu, że zasada przyczynowości jest bezwzględnie prawdziwa. Fizyka klasyczna wraz z właściwą sobie koncepcją absolutnego czasu całkowicie wykluczała możliwość powrotu do przeszłości. W szczególnej teorii względności czas może płynąć szybciej lub wolniej; może się nawet zatrzymać; nie może jednak biec do tyłu.**

Ostatnio zrodziły się poważne wątpliwości, czy ogólna teoria względności nie dopuszcza podróży w przeszłość. Już w 1949 r. Kurt Goedel znalazł rozwiązanie równań Einsteina, stanowiących fundament całej teorii, zawierające pętle czasowe, czyli drogi, po których – poruszając się – wrócimy do momentu czasu, kiedy wyruszyliśmy. Istnienie pętli jest oczywiście równoważne możliwości cofania się w przeszłość. Rozwiązanie Goedla można było uznać za niefizyczne, a więc takie, które jest nierealizowalne w istniejącym świecie. Jednak później znaleziono całą klasę podobnych rozwiązań. Czy wszystkie one są niefizyczne i można je spokojnie odrzucić? W ostatnich latach ogromne zainteresowanie wywołały rozwiązania ze specyficznymi tunelami, które łączą odległe obszary świata bądź różne światy. John Archibald Wheeler, któremu zawdzięczamy nazwę czarna dziura dla obiektu, z którego nic, nawet światło, nie może się wydobyć, nazwał te tunele robaczymi dziurami (*wormholes*). Dziury owe zdawały się być niefizyczne lub co najmniej niepokonywalne, tzn. podróże przez nie do odległych światów były wykluczone. Przyczyną był bardzo krótki czas, kiedy tunel jest otwarty, bądź potężne pole grawitacyjne, które rozerwałoby każdego podróżnika.

Jednak w 1988 r. Michael S. Morris i Kip S. Thorn opublikowali rozwiązanie równań Einsteina z robaczą dziurą, która zdaje się nadawać do bardzo dalekich wypraw. Tunel jest stale otwarty i panuje w nim umiarkowane pole grawitacyjne dzięki temu, że wypełnia go pewna egzotyczna forma materii. Trudno wskazać przyczynę natury podstawowej, aby jakaś odległa cywilizacja nie mogła budować takich tuneli. Marzenie autorów powieści science fiction byłoby zrealizowane – wjeżdżamy w robaczą dziurę i po krótkiej podróży znajdujemy się okolicach jakiejś odległej gwiazdy. Badania Morrisa i Thorna zainicjował rzeczywiście Carl Sagan – zmarły niedawno autor książek fantastycznych i popularyzator nauki. W przygotowywanej powieści „Kontakt” zamierzał przedstawić podróż „na skróty” w odległe rejony wszechświata i zwrócił się do Thorna o poradę. Chciał, aby opis wyprawy był możliwie sensowny z punktu widzenia współczesnej teorii grawitacji. Thorn odrzucił pierwotną wersję Sagana, w której podróż odbywała się przez czarną dziurę i zaproponował tunel wypełniony wspomnianą egzotyczną materią.

**Problem pokonywalności robaczycy dziur jest obecnie szeroko dyskutowany. Ogólna teoria względności jest teorią klasyczną, jedynie przybliżeniem bardziej fundamentalnej teorii kwantowej. A zatem robacze dziury, które zgodnie z teorią klasyczną są pokonywalne, mogą okazać się niepokonywalne po uwzględnieniu efektów kwantowych. I tak wielu fizyków, wśród nich słynny Stephen Hawking, uważa, że tunele zapycha „kwantowy kurz” (coś jakby bardzo silne promieniowanie) i podróże są wykluczone. Pozostawiając kwestię drożności robaczycy dziur nierozstrzygniętą, Thorn ze współpracownikami posunął się dalej w swych rozważaniach. Wykazał mianowicie, że jeśli wjazd do tunelu znajduje się w ruchu względem zewnętrznego świata, to podróż przez ten tunel może być wyprawą wstecz w czasie, odbywającą się przy tym w zupełnej zgodzie z ogólną teorią względności.**

Czy to oznacza, że wnuczek może pojechać w przeszłość i zamordować dziadka przed spłodzeniem swego ojca? Tego i podobnych paradoksów można uniknąć ograniczając podróżnikom do przeszłości wolność woli, czyli zabraniając działań takich właśnie jak mordowanie dziadka. Wybitny astrofizyk Igor Nowikow twierdzi, że tego typu zakaz wynika ze znanych już praw fizyki. Tak jak nie możemy chodzić po suficie, mówi, nie możemy naruszyć zgodności przeszłości z przyszłością, nawet podróżując wstecz w czasie.

**Autor jest fizykiem, pracuje w Instytucie Problemów Jądrowych w Warszawie oraz w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Kielcach.**