

## **WIESŁAW MAREK LASKOWSKI**

Urodził się w 1978 r. w Wejherowie. Prorektor ds. badań naukowych Uniwersytetu Gdańskiego. W latach 1997–2002 studiował na Wydziale Matematyki i Fizyki UG, następnie został pracownikiem tej uczelni. Od 2007 r. doktor nauk fizycznych (na podstawie rozprawy *Nieklasyczne korelacje układów złożonych z wielu kubitów*). W latach 2009–2010 przebywał na stażu podoktorskim w Ludwig–Maximilians–Universität w Monachium. Od 2014 r. doktor habilitowany w zakresie fizyki, od 2020 r. profesor tytularny. Fizyk teoretyczny, specjalista od zagadnień związanych z mechaniką kwantową, w szczególności teorii splątania kwantowego. Prowadzi badania przy wykorzystaniu zaawansowanych metod numerycznych, nad sposobami charakteryzacji korelacji kwantowych na potrzeby kwantowej komunikacji i metrologii kwantowej. Autor prac publikowanych w „Physical Review Letters”. Współpracuje z naukowcami z Ludwig–Maximilians–Universität w Monachium i Atommagkutató Intézet w Debreczynie. Kierował projektami badawczymi Narodowego Centrum Nauki i Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, a także międzynarodowym projektem we wspólnym programie Narodowego Centrum Nauki i Deutsche Forschungsgemeinschaft. Od 20 maja 2020 r. przewodniczy Radzie Krajowego Centrum Informatyki Kwantowej.

### **FIZYCZNY CZAS**

Our whole universe was in a hot, dense state  
Then nearly fourteen billion years ago expansion started, wait  
The earth began to cool, the autotrophs began to drool  
Neanderthals developed tools  
We built a wall (we built the pyramids)  
Math, science, history, unraveling the mysteries  
That all started with the big bang (bang).

– tymi słowami utworu wykonywanego przez kanadyjski zespół rockowy Barenaked Ladies rozpoczyna się popularny serial *The Big Bang Theory*, przedstawiający życiowe perypetie kilkorga naukowców i ich przyjaciół. Utwór przemyca jedno z największych odkryć współczesnej kosmologii, jakim jest twierdzenie, że Wszechświat, w którym dzisiaj żyjemy, nie trwał

wiecznie i że miał swój początek. Teoria Wielkiego Wybuchu, potwierdzona obserwacyjnie, tłumaczy, w jaki sposób Wszechświat wyewoluował od stanu, w którym był bardzo gorący i gęsty. Z powstaniem Wszechświata, około 14 miliardów lat temu, narodziły się jego prawa i rozpoczęły się pierwsze procesy fizyczne. Pojawiło się również pojęcie czasu. A co było wcześniej? To pytanie nie ma większego sensu, przynajmniej wśród fizyków. Skoro nie było czasu, to też nie było żadnego „wcześniej”. Było tylko „później”.

Skoro już wiemy, kiedy nastąpił początek Wszechświata, od razu nasuwa się pytanie o jego koniec. W tej kwestii nie mamy jeszcze pewności, jak on będzie wyglądał, ale na pewno będzie dramatyczny. Jeden z modeli zakłada, że Wszechświat będzie się wciąż rozszerzał, a przez to wychładzał, dążąc do temperatury zera bezwzględnego ( $-273,15^{\circ}\text{C}$ ). To wyhamuje wszelkie procesy, skończymy więc w pustce i zimnie. W myśl innej koncepcji prędkość rozszerzającego się Wszechświata będzie rosła w takim tempie, że zostanie on rozerwany. Wszechświat może też zacząć się kurczyć i dążyć do stanu początkowego, z momentu jego powstawania. Stanie się ciasny i gorący. Żadna z tych wersji nie napawa optymizmem. Gdy Stephen Hawking miał wygłosić wykład w Japonii, został poproszony, by nie wspominał o tych katastroficznych koncepcjach, gdyż w ocenie Japończyków mogło to wpłynąć na notowania giełdy<sup>1</sup>.

Czym jest zatem czas? Dwie osoby ukształtowały myślenie o czasie znacznej większości fizyków – Isaac Newton i Albert Einstein. Jestem także przekonany, że klasyczna koncepcja czasu Newtona jest tą, z którą utożsamia się przeciętny człowiek.

## KLASYCZNY CZAS

W opublikowanych w 1687 r. przez Newtona *Matematycznych zasadach filozofii naturalnej* czytamy, że: „Absolutny, prawdziwy i matematyczny czas, sam z siebie i z racji swojej własnej natury, płynie jednostajnie, bez odniesienia do czegokolwiek zewnętrznego i inaczej nazywa się trwaniem. Natomiast względny, pozorny i potocznie rozumiany czas jest pewną zmysłową i zewnętrzną (czy to dokładną, czy niedokładną) miarą trwania, którą

---

<sup>1</sup> S. Hawking, *The beginning of time*, <https://www.hawking.org.uk/in-words/lectures/the-beginning-of-time> [dostęp: 1.02.2023].

można określić za pomocą ruchu; jest ona używana potocznie zamiast czasu prawdziwego; taką miarą jest godzina, dzień, miesiąc, rok”<sup>2</sup>.

Czas Newtona jest absolutny i niezależny od przestrzeni, a także od wszystkich procesów. Płyne tak samo w każdym zakątku Wszechświata. Co ciekawe, przestrzeń jest natomiast pojęciem względnym. Pisząc te słowa, siedzę w jadącym pociągu. Ten ruch widzą ludzie zgromadzeni na peronie. Ale chwileczkę, to nie ja się poruszam – to świat za oknem się przemieszcza. Te dwie perspektywy są tak samo uprawnione. Dlaczego więc nie miałyby być podobnie z czasem?

## UPŁYW CZASU JEST JEDNAK WZGLĘDNY

Musiało upłynąć wiele czasu, by Albert Einstein w 1905 r. zgłosił postulat absolutnej i skończonej wartości prędkości światła<sup>3</sup>. Prędkość światła w próżni wynosi zawsze tyle samo, w każdym inercyjnym<sup>4</sup> układzie odniesienia. To otworzyło drogę do względności czasu. W zasadzie to stwierdzenie leży u podstaw szczególnej teorii względności – reszta to tylko konsekwencje.

Aby pokazać, że dwa zdarzenia, które są jednoczesne w jednym układzie odniesienia, nie są jednoczesne w drugim układzie, możemy posłużyć się przykładem zaprezentowanym właśnie przez Einsteina. Pociąg porusza się z pewną prędkością wzdłuż peronu. Mamy obserwatora ulokowanego na środku pociągu. Nagle ludzie stojący na peronie zauważyli, że w przód i w tył pociągu uderzyła w tej samej chwili błyskawica. Czy dla obserwatora w środku pociągu uderzenia obu błyskawic były jednoczesne? Otóż nie. Należy zauważyć, że światło pochodzące od błyskawicy, która uderzyła w początek pociągu, przebyło krótszą drogę niż światło błyskawicy, która uderzyła w tył pociągu. Związane jest to z tym, że środek pociągu, który był w ruchu, przybliżył się do światła jednej błyskawicy i oddalał od drugiej. Im

<sup>2</sup> I. Newton, *Matematyczne zasady filozofii naturalnej*, przeł. S. Brzezowski, Kraków 2015; na podstawie wyd. 3 *Principiów* w angielskim przekładzie Andrew Motte’a z 1729 r.

<sup>3</sup> A. Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, „Annalen der Physik” 1905, Bd. 17, s. 891.

<sup>4</sup> Układ odniesienia, w którym każde ciało niepodlegające zewnętrznemu oddziaływaniu z innymi ciałami porusza się bez przyspieszenia (ruchem jednostajnym prostoliniowym) lub pozostaje w spoczynku.

większa prędkość pociągu, tym większą różnicę zauważyliby obserwatorzy. Dla małych prędkości, znacznie mniejszych od prędkości światła, ta różnica jest niedostrzegalna. Dlatego nie widzimy tego na co dzień. Podobnie by było, gdyby prędkość światła była nieskończona, jak u Newtona.

Czas przestał być absolutny. Został związany z przestrzenią, tworząc tzw. czasoprzestrzeń, ta zaś przestała być wolna od wpływu ciał, które się w niej znajdują. Masa zakrzywia czasoprzestrzeń niczym czterowymiarową trampolinę. Czas w pobliżu wielkich mas płynie wolniej. Oznacza to, że zegar odmierzający czas na Mont Everest chodzi szybciej w porównaniu do zegara w Gdańsku. Różnice są na tyle małe, że himalajscy po powrocie z gór ich nie odczuwają, ale już system satelitarny GPS wymaga korekt. Tak – mapy w naszych smartfonach korzystają z równań ogólnej teorii względności!

## STRZAŁKA CZASU

Co ciekawe, zarówno z praw Newtona, jak i Einsteina nie można odczytać kierunku upływu czasu. Prawa te działają równie dobrze w obu kierunkach y. Jeśli ktoś nagra lot piłki i odtworzy go widowni raz w sposób zgodny z rzeczywistością, a raz wstecz, nie będzie można rozpoznać, które nagranie przedstawia rzeczywisty ruch. Oba są możliwe. Aby odczytać kierunek upływu czasu, tzw. strzałkę czasu, musimy wyjść poza mechanikę (naukę o ruchu). Jeśli nagramy obraz tłuczenia szkła lub mieszania się mleka z kawą, to nie będziemy mieli wątpliwości, czy widzimy właściwy film, czy odtwarzany w przeciwnym kierunku. Fizyk Artur Eddington jako pierwszy wprowadził pojęcie „strzałki czasu” i powiązał je z entropią<sup>5</sup>. Drugie prawo termodynamiki stanowi, że stan układu zmienia się z uporządkowanego w kierunku mniej uporządkowanego. Rośnie jego entropia (miara nieuporządkowania). Zapach parzonej kawy rozejdzie się po całym pokoju („nieporządek”). Nie będzie unosił się tylko w pobliżu naczynia z kawą („porządek”).

---

<sup>5</sup> A. Eddington, *The nature of the physical world*, New York 1928.

## PODRÓŻE W CZASIE

Już wiemy, jak określić kierunek upływu czasu. Interesujące jest pytanie, czy możemy się po nim poruszać tak jak w przestrzeni. Może jest to zaskakujące, ale teoria Einsteina nie zabrania podróży w czasie. Przyjrzyjmy się najpierw podróży do przyszłości. Jest ona prosta z teoretycznego i bezpiecznego punktu widzenia. Teoria Einsteina stanowi, że czas w układach poruszających się względem nas z pewną prędkością płynie wolniej. Im większa prędkość układu, tym wolniej płynie czas. Ilustruje to tzw. paradoks bliźniąt. Jeśli jeden z dwóch bliźniaków zostanie na Ziemi, a drugi polecą rakieta z prędkością bliską prędkości światła, to gdy wróci na Ziemię, będzie młodszy od tego, który pozostał. Co ciekawe, bliźniak w rakiecie odczuwał upływ czasu tak samo jak bliźniak na Ziemi. Dopiero porównując bliźniaków po powrocie na Ziemię, możemy stwierdzić różnicę. Na tym polega względność czasu i wniosek, że w rakiecie płynął on wolniej. I co ciekawe, ten efekt zachodzi przy każdej prędkości, niekoniecznie zbliżonej do prędkości światła. Jest tylko znacznie mniej zauważalny.

W 1971 r. Joseph Hafele i Richard Keating umieścili na pokładzie samolotu superdokładny zegar atomowy. Samolot okrążył Ziemię zgodnie z jej kierunkiem obrotu i po wylądowaniu stwierdzono, że zegar, który był na jego pokładzie, spóźnia się o około 60 ns w stosunku do zegara pozostawionego na Ziemi<sup>6</sup>. Czyli w praktyce wylądował młodszy o 60 ns, zupełnie jakby przeniósł się w czasie. Teoretycznie, aby w ciągu 10 s przenieść się w czasie o jeden dzień, musielibyśmy uzyskać prędkość 99.9999993% prędkości światła. Na koniec może warto jeszcze wyjaśnić, dlaczego paradoks bliźniąt jest paradoksem. Otóż mogłoby się wydawać, że z punktu widzenia bliźniaka w rakiecie to bliźniak na Ziemi porusza się z dużą prędkością i to u niego czas płynie wolniej. Aby tak było, układy te powinny być inercjalne. Nie jest tak, ponieważ aby rakieta mogła poruszać się z daną prędkością, musi przyspieszyć, a potem musi wylądować, więc zwolnić. Sytuacja nie jest symetryczna. Koniec paradoksu.

Z podróżą „pod prąd” w czasie nie jest już tak „łatwo”. Podróż w przeszłość jest problematyczna z logicznego punktu widzenia. Istnieją argumenty, które pozwalają wątpić w taką możliwość. Na przykład po

---

<sup>6</sup> J.C. Hafele, R.E. Keating, *Around-the-World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains*, „Science” 1972, vol. 177, s. 166.

przeniesieniu się w czasie można by przypadkowo zabić swojego przodka, zanim wydał na świat potomstwo. Wtedy byśmy się nigdy nie urodzili, więc nie moglibyśmy odbyć podróży w czasie i go zabić. Wiele takich paradoksów jest w filmowej trylogii *Powrót do przyszłości* (reż. Robert Zemeckis). Ciekawa historia, związana z tym filmem, przydarzyła mi się dokładnie 21 października 2015 r. Jest to dzień, w którym filmowy Marty McFly przeniósł się do przeszłości. Gdy miało się to wydarzyć, odbywałem zaplanowaną podróż pociągiem z Debreczyna do Budapesztu. Bardzo chciałem dokładnie w tym czasie obejrzeć ten film, więc przed podróżą nagrałem go sobie na telefon. Po wejściu do pociągu udałem się na miejsce wskazane na bilecie. Ku mojemu zdziwieniu i irytacji siedział tam już jakiś inny pasażer, twierdząc, że ma bilet właśnie na to miejsce. Wezwany do rozwiązania problemu konduktor stwierdził, że owszem ten bilet jest wystawiony na to miejsce, ale na pociąg, który odjechał dzień wcześniej. Podróż w czasie?

Teoria Einsteina nie zabrania jednak podróży w przeszłość, choć ich realizacja wydaje się dużo bardziej zagmatwana. Mogłyby być zrealizowane przez teoretyczne byty, takie jak tunele czasoprzestrzenne, tzw. *wormholes*. Robak, zamiast przejść po jabłku na drugą stronę, może iść skrótem przez wygryziony przez siebie tunel. We Wszechświecie taki tunel mógłby powstać przez zakrzywienie czasoprzestrzeni za pomocą dużej masy (np. czarnej dziury). Można by takim tunelem szybko dostać się do odległego punktu Wszechświata, a także przenieść się w czasie.

Wspomniany już wcześniej Stephen Hawking postanowił zorganizować przyjęcie dla podróżników w czasie, jednak nikt się na nim nie pojawił. Zaproszenie na spotkanie ogłosił dopiero po jego zorganizowaniu. Gdyby podróże w czasie były możliwe w przyszłości, ktoś dowiedziałby się o przyjęciu i przeniósł się na nie do przeszłości. Hawking określił to jako eksperymentalny dowód, że podróże w czasie są niemożliwe.

Swoistą podróż w przeszłość można jednak odbyć bardzo prosto. Nie każdy zdaje sobie z tego sprawę. Popatrzymy w nocy na niebo – powiedzmy na pas Oriona, najpiękniejszego gwiazdozbioru nieba zimowego, jego gwiazdy są oddalone od Ziemi o około 1550 lat świetlnych. Oznacza to, że światło potrzebuje 1550 lat, by dotrzeć stamtąd do Ziemi. Gdy na nie patrzymy, widzimy więc światło, które zostało wypromieniowane w 473 r. i niebawem będzie świadkiem upadku Cesarstwa Rzymskiego.

Czas przestał być absolutny. Został związany z przestrzenią, tworząc tzw. czasoprzestrzeń, ta zaś przestała być wolna od wpływu ciał, które się w niej znajdują. Masa zakrzywia czasoprzestrzeń niczym czterowymiarową trampolinę. Czas w pobliżu wielkich mas płynie wolniej. Oznacza to, że zegar odmierzający czas na Mont Everest chodzi szybciej w porównaniu do zegara w Gdańsku. Różnice są na tyle małe, że himalaiści po powrocie z gór ich nie odczuwają, ale już system satelitarny GPS wymaga korekt.

*Wiesław Marek Laskowski*