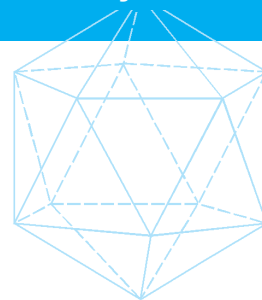




# Osiągnięcia Nauki i Techniki Kierunki Rozwoju i Metody

KONWERSATORIUM POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ  
Wkładka nr 12 do Miesięcznika Politechniki Warszawskiej nr 8/2007

Redaktor merytoryczny — Stanisław Janeczko



## Einstein po stu latach

Na podstawie odczytu wygłoszonego w dniu 22 marca 2007 roku

**Andrzej Kajetan Wróblewski**

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
e-mail: akw@fuw.edu.pl

O dokonaniach Alberta Einsteina większość ludzi wie tyle, że stworzył on teorie, które podobno zrewolucjonizowały fizykę. Panuje też przekonanie, zwłaszcza wśród części humanistów, że dzieła Einsteina nie da się w ogóle zrozumieć, ponieważ poglądy głoszone przez niego na temat czasu, przestrzeni i kwantów są sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem.

W tym wykładzie spróbujemy się zastanowić nad rolą „zdrowego rozsądku” w poznawaniu świata. Nietrudno będzie wykazać na przykładach, że pojęcie i zakres zdrowego rozsądku w ciągu wieków ulegały daleko idącym zmianom. Analiza twórczości Einsteina pomoże nam także wyjaśnić współczesne znaczenie słowa „rozumieć”.

Przypomnijmy, że przez długi czas uważano — zgodnie ze zdrowym rozsądkiem — że Ziemia jest płaska i leży w środku świata. O tym, że świat jest płaski, zda się nas przecież przekonywać codzienne doświadczenie. Wprawdzie w starożytnej Grecji pitagorejczycy pierwsi rozważali możliwość, że Ziemia ma kształt kuli, ale były to poglądy właściwe tylko nielicznej warstwie uczonych filozofów, podczas gdy zwykli ludzie byli przekonani, że żyją w świecie płaskim. Zresztą poglądy filozofów greckich zostały szybko odrzucone i wyśmiane u schyłku starożytności i we wczesnym średniowieczu.

W IV wieku Laktancjusz napisał znane dzieło *Divinorum institutionum libri VII* (*Boskie ustanowienie w sied-*

*miu księgach*). W trzeciej księdze *De falsa sapientia philosophorum* (*O fałszywej mądrości filozofów*) udowodnił jak niebezpieczne jest logiczne argumentowanie oparte na fałszywych przesłankach. Niektórzy filozofowie z faktu, że ciała niebieskie wschodzą na wschodzie a zachodzą na zachodzie — pisał Laktancjusz — wyciągnęli absurdalny wniosek, iż Ziemia jest kulista i że istnieją antypody. W rozdziale 24 tej książki Laktancjusz wyrażał się więc z ironią:

*Czy jest ktoś tak nierozsądny, żeby uwierzył, że są ludzie, którzy mają stopy nad głowami, ... że zboża i drzewa rosną w dół, że deszcz, śnieg i grad padają w górę na ziemię...*

Postęp nauk geograficznych i astronomii doprowadził jednak w końcu do uznania, że Ziemia ma kształt kulisty. Dziś uczy się o tym dzieci w szkole i niemal wszyscy są o tym przekonani. Niemal wszyscy, gdyż zdarzają się jednak wyjątki. Od dawna istniały różne stowarzyszenia, których celem było udowadnianie, że uczeni się mylą, a Ziemia jest w rzeczywistości płaska. Nawet postęp astronautyki i rozpowszechnienie widoków Ziemi z kosmosu nie zakończyły tej sprawy. Nadal istnieje Towarzystwo Płaskiej Ziemi (*Flat Earth Society*), które ma swą siedzibę w Lancaster (w Kalifornii) i ogłasza się w internecie. Za niedużą składkę członkowską można otrzymywać broszury propagandowe udowadniające płaskość Ziemi.

Kolejnym przekonaniem „zdroworozsądkowym” było to, że żyjemy w środku świata. Na tej zasadzie oparty był cały system Arystotelesa, który trwał przez wiele stuleci. Przypomnijmy więc, że kiedy Mikołaj Kopernik zaproponował inne rozwiązanie, to naraził się na ostrą krytykę. Astronom jezuita z Rzymu — Christopher Clavius wyraził się w 1570 roku, że Kopernik stawia hipotezy:

*niedorzeczne, absurdalne, sprzeczne ze zdrowym mniemaniem i zdrowym rozsądkiem i rzec można zuchwałe.*

Znów mieliśmy tu nawiązanie do zdrowego rozsądku, który po raz kolejny okazał się złym doradcą.

Isaac Newton na początku swego wielkiego dzieła *Zasady matematyczne filozofii naturalnej* podał definicje czasu i przestrzeni:

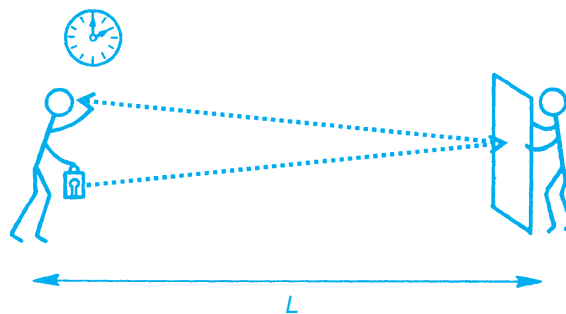
*Czas absolutny, prawdziwy i matematyczny, sam z siebie i przez swą naturę upływa równomiernie bez związku z czymkolwiek zewnętrznym i inaczej nazywa się trwaniem...*

*Przeźrzeń absolutna, przez swą naturę, bez związku z czymkolwiek zewnętrznym, pozostaje zawsze taka sama i nieruchoma...*

Te definicje, nazwane przez Newtona aksjomatami, były zgodne z powszechnym zdrowym rozsądkiem. Przestrzeń miała być tylko sceną, na której rozgrywają się zjawiska fizyczne i astronomiczne. Czas miał także nieubłaganie odmierzanie i nie można było mieć wpływu na jego bieg. Nic dziwnego, że aksjomaty Newtona dotyczące czasu i przestrzeni weszły do potocznej świadomości i do dziś przyjmuje je większość ludzi.

Tymczasem postęp fizyki zmusił nas do zmiany tych od dawna utrwalonych wyobrażeń o czasie i przestrzeni. To właśnie jest pierwsze z osiągnięć Einsteina, które tu omawiam. Zaczęło się to wszystko dawno temu od prędkości światła.

Zasadę pomiaru prędkości światła podał już Galileusz w swoich *Rozmowach i dowodzeniach matematycznych* (1638). Jego zdaniem do pomiaru potrzebne były dwie osoby, z których każda trzymała zapaloną latarkę lub inne źródło światła, w taki sposób by mogła ręką ją zasłaniać i odsłaniać przed wzrokiem drugiej. Te osoby, usytuowane naprzeciwko siebie w pewnej odległości, na przemian odsłaniały i zasłaniały światło — gdy jedna zobaczyła odsłaniające się światło u drugiej, zaraz odsłaniała swoje. Po nabraniu wprawy przez eksperymentatorów, po odsłonięciu jednego światła miało zaraz następować odsłonięcie drugiego. Znając odległość między obserwatorami oraz czas, po którym do pierwszego obserwatora dochodziło światło od drugiego, można było w zasadzie obliczyć prędkość światła. Zamiast drugiego obserwatora można było też zastosować zwierciadło, od którego mogło odbijać się światło (rysunek 1). Przepis podany przez Galileusza był poprawny, ale prędkość światła jest tak ogromna, że ocze-



Rysunek 1

kiwane przez niego ewentualne opóźnienie było nieznacznie małe.

Isaac Newton zastosował Metodę Galileusza chcąc zmierzyć prędkość dźwięku. Osoby zwiedzające piękny gmach Trinity College w Cambridge mogą nadal oglądać długą galerię, w której były wykonywane te pomiary. Galeria ta służy jako dobry falowód dla fal głosowych, dźwięk rozchodzi się tam doskonale i można słyszeć nawet wielokrotne echa. Stojąc na jednym końcu Newton klaskał w dłonie i za pomocą wahadła mierzył czas do usłyszenia echa — dwu-, trzy-, a nawet czterokrotnego.

Metodę Galileusza udoskonalono przystosowując ją do pomiaru niezmiernie krótkich odstępów czasu. Po raz pierwszy w połowie XIX wieku można było już zmierzyć prędkość światła z dokładnością lepszą niż jeden procent. Następnie uzyskano jeszcze większą dokładność — drobnego ułamka procenta i wtedy stwierdzono **zadziwiający fakt**. Otóż ze wszystkich doświadczeń, w których wykonywano pomiary prędkości światła wynikało, że prędkość światła (w próżni)  $c$  jest zawsze taka sama — niezmienna, niezależna od kierunku, barwy światła, prędkości ruchu źródła względem obserwatora itd.

Ten **fakt doświadczalny** jest oczywiście sprzeczny ze zdrowym rozsądkiem, ponieważ w doświadczeniach mechanicznych (na przykład przy rzucaniu piłką) obserwujemy proste dodawanie się prędkości — piłka rzucona przez osobę jadącą na wózku ma względem nieruchomego obserwatora większą prędkość niż względem osoby rzucającej.

Doświadczenia nie można jednak ignorować. Najwidoczniej światło ma szczególne właściwości, inne niż piłki i podobne przedmioty. W 1905 roku Albert Einstein postawił więc kropkę nad „i”. Niezmiennność prędkości światła przyjął jako postulat — podstawę swojej teorii, którą nazywamy dziś **szczególną teorią względności**. Przyjął jeszcze jeden postulat — nazwany zasadą względności — mówiący, że

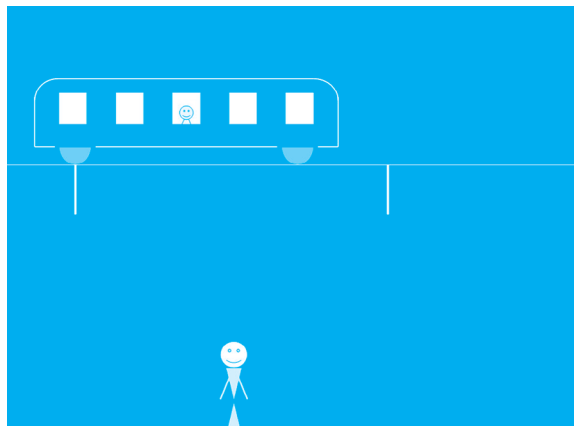
*prawa fizyki są takie same dla wszystkich obserwatorów, którzy poruszają się względem siebie jednostajnie po prostej.*

Ten postulat jest zgodny ze zdrowym rozsądkiem, bo przecież skąd miała by się brać różnica między obserwatorami będącymi względem siebie w ruchu.

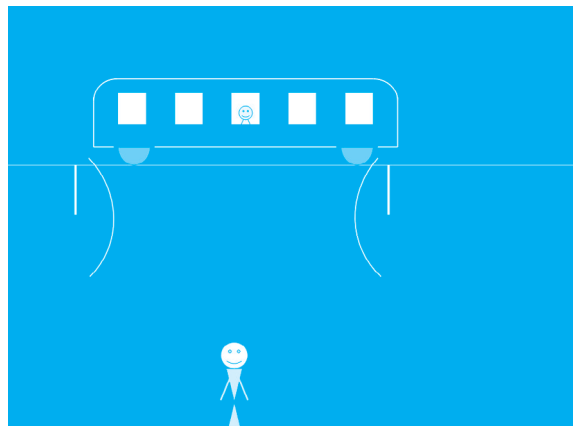
Teraz jednak zaczynają się niespodzianki. Na podstawie powyższych postulatów można łatwo udowodnić, że równoczesność zjawisk jest pojęciem względnym, a to oznacza, że czas płynie różnie dla różnych obserwatorów!

Względność równoczesności można wykazać bardzo łatwo w doświadczeniu myślowym rozpatrując dwie osoby — jedną w wagonie jadącego pociągu, a drugą siedzącą obok torów. Ilustruje to seria ośmiu rysunków (rysunki 2–9). Wagon porusza się jednostajnie z lewa

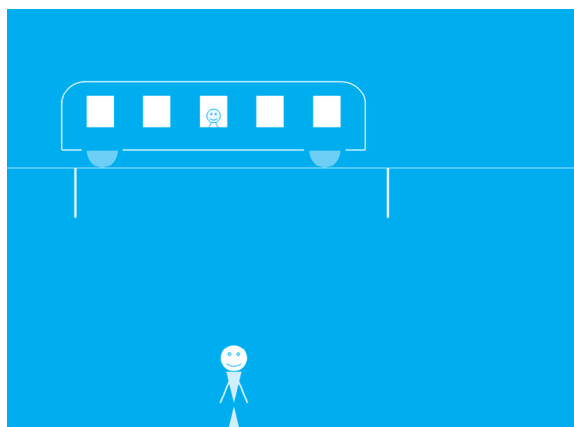
na prawo. Obok szyn są zaznaczone dwa wskaźniki odpowiadające długości wagonu. W chwili gdy wagon znajduje się przy tych wskaźnikach, uderzają w nie dwa pioruny (rysunek 4). Światło błyskawic biegnie w kierunku obserwatora stojącego przy torze i obserwatora w środku wagonu. Kolejne rysunki 5–7 obrazują rozchodzenie fali światła błyskawic. W pewnej chwili (rysunek 8) do obserwatora w wagonie dochodzi błysk światła z prawej strony, ale o błyskawicy z lewej jeszcze wtedy się nie dowiadyuje. Po chwili do obserwatora sto-



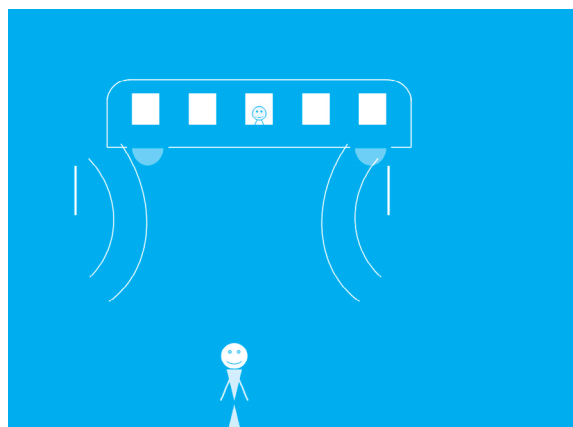
Rysunek 2



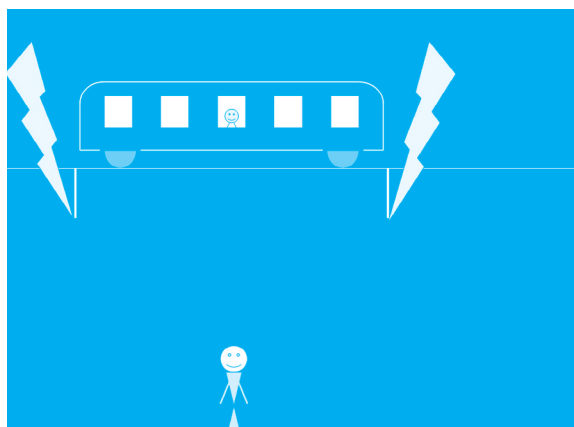
Rysunek 5



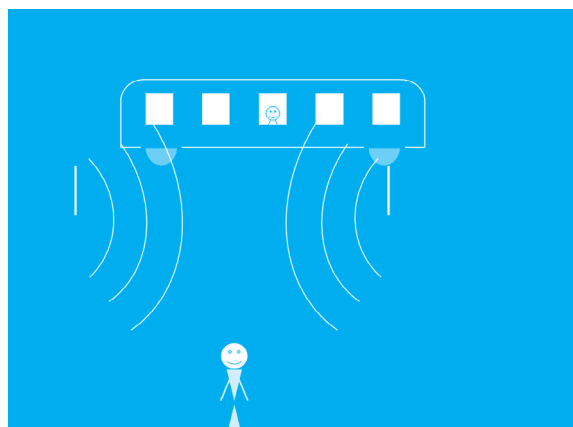
Rysunek 3



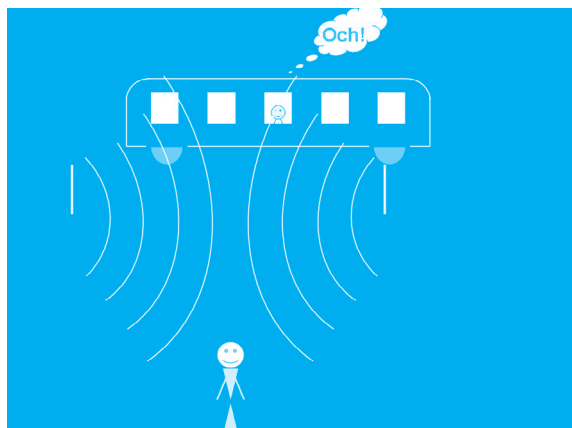
Rysunek 6



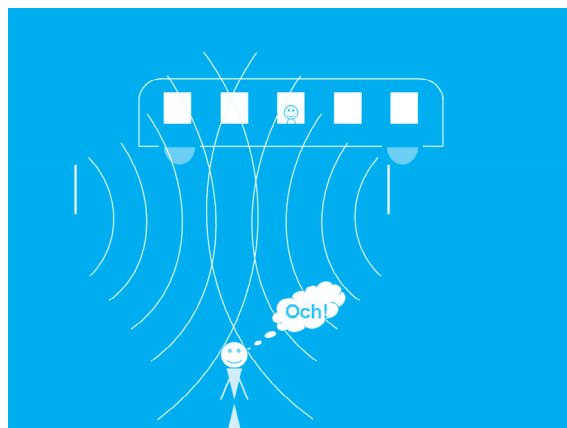
Rysunek 4



Rysunek 7



Rysunek 8



Rysunek 9

jącego przy torze dojdą błyski światła od obu błyskawic (rysunek 9) i będzie on traktował uderzenia obu piorunów za zdarzenia jednoczesne. Tymczasem do obserwatora w wagonie błysk światła z lewej dojdzie dopiero później, więc on potraktuje uderzenia piorunów jako zjawiska niejednoczesne!

Na podstawie prostych rozważań Einstein udowodnił, że zegar w ruchu idzie wolniej — to zjawisko nazywamy wydłużeniem (dylatacją) czasu. Warto podkreślić, że jest to efekt czysto kinematyczny i wzajemny. Wyjaśnia to rysunek 10. Kiedy obserwator „niebieski” porównuje swój zegar z ciągiem zegarów zsynchronizowanych w układzie, względem którego jest w ruchu z prędkością  $V$ , to stwierdza, że **jego zegar się późni**. **To samo** stwierdza obserwator „czarny” porównując chód swojego zegara z ciągiem zegarów zsynchronizowanych w układzie, względem którego jest w ruchu z prędkością  $-V$ . W obu przypadkach porównuje się chód **jednego zegara** w jednym układzie z chodem **ciągu zegarów** zsynchronizowanych w drugim układzie.

W życiu codziennym zjawisko dylatacji czasu jest na ogół poniżej dokładności pomiarów. Na przykład statki „Apollo” w drodze na Księżyc miały prędkość około 10 000 razy mniejszą od prędkości światła, czyli  $v/c \approx 0,0001$ . To daje różnicę w chodzie zegarów zaledwie około 0,00000001.

Przewidziany przez Einsteina efekt można było potwierdzić w bardzo dokładnych eksperymentach z ze-

garami atomowymi, które przeprowadzili w 1972 roku amerykańscy fizycy J.C. Hafele i R.E. Keating („Science”, vol. 177, 1972, s. 168). Skorzystali oni z czterech niezwykle dokładnych zegarów atomowych, które przewozili samolotami na wschód i na zachód i porównywali ich wskazania ze wskazaniem zegarów pozostawionych w laboratorium. Tak więc, przy locie na zachód przewidywane opóźnienie zegarów miało wynosić 275 ( $\pm 21$ ) miliardowych części sekundy, podczas gdy eksperyment dał wynik 273 ( $\pm 7$ ) w tych jednostkach. Była to średnia ze wskazań czterech zegarów, które pokazały opóźnienia odpowiednio 277, 266, 284 i 266 miliardowych części sekundy. Wyniki były więc bardzo spójne. Zgodne z przewidywaniami teorii były również wskazania zegarów przewożonych na wschód.

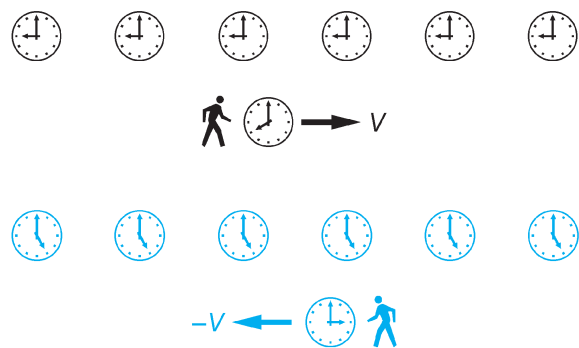
Musimy zatem przyjąć do wiadomości — jakkolwiek jest to sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem — że czas płynie w różny sposób dla różnych obserwatorów, a nie tak jak to sobie wyobrażał Newton.

Kolejny przykład, który przytoczę, dotyczy oporu przeciw koncepcji grawitacji wysuniętej przez Newtona. Nawet wielcy uczeni nie mogli uwierzyć w istnienie siły działającej na odległość. W liście do Gottfrieda Wilhelma Leibniza pisany 18 listopada 1690 roku wielki Christiaan Huygens wyraził się o Newtonie:

*Nie jestem przekonany przez jego teorie budowane na zasadzie przyciągania, która wydaje mi się absurdem. Dziwię się często, jak mógł on zadać sobie taki trud wykonania licznych badań i trudnych rachunków, nie mających innej podstawy niż ta zasada...*

Kolejny raz okazało się, że zdrowy rozsądek nie jest dobrym doradcą. Dziś przecież mało kto nie jest przekonany o istnieniu siły ciężkości.

Jak Einstein doszedł do swojej koncepcji? Wydaje się, że najlepsze wyjaśnienie znajdujemy w jego wspomnieniach autobiograficznych, w których pisał, że w czasach kiedy był studentem najbardziej fascynującym przedmiotem była dla niego teoria Maxwella. Ta teoria opisywała matematycznie pole elektromagnetyczne i przewidywała istnienie fal elektromagnetycznych. Ein-



Rysunek 10

stein pisał dalej, że gdy miał szesnaście lat natknął się na paradoks:

*...Jeżeli podążę za promieniem światła z prędkością  $c$  (prędkość światła w próżni), to taki promień powinienem widzieć jako pole elektromagnetyczne w spoczynku, ale oscylujące w przestrzeni. Wydaje się jednak, że coś takiego nie może istnieć, co wynika zarówno z doświadczenia, jak z równań Maxwella. Od samego początku wydawało mi się intuicyjnie jasne, że z punktu widzenia takiego obserwatora wszystko musi się dziać zgodnie z tymi samymi prawami, co dla obserwatora pozostającego w spoczynku względem Ziemi. W jaki bowiem sposób pierwszy obserwator mógłby wiedzieć lub stwierdzić, że jest w szybkim ruchu jednostajnym...*

Rozumując w podobny sposób Einstein uznał, że obserwator nie może osiągnąć prędkości światła w próżni, a to oznacza, że jest to pewna szczególna prędkość graniczna. Na tej podstawie w 1905 roku zbudował **szczególną teorię względności**, w której (przypomnijmy) przyjęł, że prawa fizyki są takie same dla wszystkich obserwatorów, którzy poruszają się względem siebie jednostajnie po prostej.

Analizując fakty dotyczące grawitacji Einstein w 1916 roku poszedł jeszcze dalej w swych rozważaniach i uogólnił zasadę względności, odrzucając ograniczenie jej stosowalności tylko do ruchu jednostajnego po linii prostej. W nowym ujęciu zasada ta głosi, że prawa fizyki są takie same dla wszystkich obserwatorów. Teoria Einsteina z 1916 roku nazywa się **ogólną teorią względności**. Opisuje ona właściwości przestrzeni i wpływ, jaki ma na nie materia powodująca zakrzywienie przestrzeni. Jednym z efektów przewidzianych przez tę teorię jest zakrzywanie toru promieni świetlnych w pobliżu masywnych ciał niebieskich. Efekt jest bardzo niewielki i wynosi zaledwie 1,75 sekundy łuku dla światła biegnącego tuż przy powierzchni Słońca. Przewidziane przez Einsteina zjawisko zostało potwierdzone po raz pierwszy przez obserwacje podczas całkowitego zaćmienia Słońca w 1919 roku, a potem jeszcze wielokrotnie, z coraz większą dokładnością.

Kończąc ten wątek przypomnę, że najbardziej znanim osiągnięciem Alberta Einsteina było stwierdzenie równoważności masy i energii, wyrażone równością  $E = mc^2$ . Ten najstojniejszy wzór fizyki został wielokrotnie sprawdzony doświadczalnie. Ostatni pomiar (wykonany w 2005 roku) potwierdził tę równość z dokładnością 0,00004% („Nature”, vol. 438, 2005, s. 1096).

Ostatnim zagadnieniem, które omówię, są kwanty energii. Dzięki ogromnemu autorytetowi Newtona już na początku XVIII wieku przyjęto wyrażony przez niego punkt widzenia, że światło ma naturę korpuskularną. Tak na przykład w pierwszym wydaniu słynnej *Encyclopaedia Britannica* (1771) czytamy:

*Światło składa się z niewyobrażalnie wielkiej liczby cząstek wylatujących we wszystkie strony*

*ze świecącego ciała. Te cząstki są tak małe, że wykraczają poza ludzkie wyobrażenia... Z jednej świecy wylatuje w każdej sekundzie ponad 6 000 000 000 000 razy tyle cząstek światła, ile jest ziarenek piasku w całej Ziemi, zakładając, że każdy cal sześcienny zawiera tych ziarenek 1 000 000. Te cząstki światła, wpadając do naszych oczu, wywołują w naszych umysłach wrażenie światła...*

Tymczasem od dawna znane były zjawiska, które trudno było wyjaśnić przyjmując pogląd Newtona. Mowa o interferencji światła. Zjawisko interferencji — nakładania się fal na wodzie — było znane od bardzo dawna. Już kilkaset lat temu było przedstawiane nawet w malarstwie (np. w obrazie *Chrzest Chrystusa* flamandzkiego malarza Gerarda Davida z 1508 roku). W przypadku interferencji światła występują barwy interferencyjne, które można obserwować patrząc na cienką warstwę oleju na chodniku, albo patrząc pod kątem na płytę kompaktową. Te barwy były opisane już w tekstach klinowych ze starożytnej Mezopotamii. Jednak pierwsze próby ich wyjaśnienia podjęto dopiero w drugiej połowie XVII wieku (Robert Hooke, Isaac Newton). Te wyjaśnienia nie były jednak przekonujące i dopiero na początku XIX wieku Anglik Thomas Young i Francuz Augustin Fresnel rozwinęli teorię falową światła, w której wspomniane barwy wyjaśnia się jako wynik interferencji fal poprzecznych rozchodzących się w eterze. Kiedy liczne doświadczenia okazywały się zgodne z teorią Younga-Fresnela, uznano ją za ostatecznie potwierdzoną, a sławny francuski uczoney Henri Poincaré wyraził się, że:

*Teoria światła oparta na pracach Fresnela i jego następców jest najdoskonalszą ze wszystkich teorii fizycznych (Théorie mathématique de la lumière, Paris 1889).*

Na tym historia się nie kończy, ponieważ w XX wieku uzyskano niezbitę dowody na to, że światło zachowuje się także tak, jakby było strumieniem porcji energii — kwantów, które nazywamy fotonami. Pierwszy krok w tym kierunku był dziełem Alberta Einsteina, który wprowadził pojęcie kwantów światła w pracy z 1905 roku (*O pewnym heurystycznym punkcie widzenia na wytworzenie i przemiany światła*, „Annalen der Physik”, vol. 17, s. 132–148) i w ramach tej teorii podał przekonujące wyjaśnienie wielu zjawisk optycznych — w tym zjawiska fotoelektrycznego. Cel tej pracy Einstein wyjaśnił w początkowych jej zdaniach:

*Istnieje głęboka różnica formalna między pojęciami teoretycznymi, które fizycy uformowali na temat gazów i innych ciał ważkich oraz teorią Maxwella procesów elektromagnetycznych w tak zwanej pustej przestrzeni. Podczas gdy uważamy, że stan ciała jest całkowicie wyznaczony przez położenia i prędkości bardzo wielkiej, ale skończonej liczby atomów i elektronów, dla opi-*

su stanu elektromagnetycznego elementu przestrzeni używamy ciągłych funkcji przestrzennych, tak że skończonej liczby wielkości nie można uznać za wystarczającą dla całkowitego opisu stanu elektromagnetycznego przestrzeni.

Dopiero w końcowej części pracy Einstein nawiązał do zjawiska fotoelektrycznego:

*Wydaje mi się, że obserwacje „promieniowania ciała czarnego”, fotoluminescencji, wytwarzania promieni katodowych przez światło ultrafioletowe i inne zjawiska związane z emisją i przemianą światła, są łatwiej zrozumiałe jeśli się założy, że energia światła jest w przestrzeni rozłożona nierównomiernie. Zgodnie z rozważanym tu założeniem, przy rozchodzeniu się promienia świetlnego wysłanego ze źródła punktowego, jego energia nie jest rozłożona w sposób ciągły w stale zwiększającej się objętości przestrzeni, lecz składa się ze skończonej liczby kwantów energii, które są zlokalizowane w punktach przestrzeni, poruszają się bez podziału i mogą być pochłaniane lub wytwarzane tylko jako kompletne całości.*

Nieliczni fizycy, którzy zainteresowali się wtedy artykułem Einsteina, wyobrażali sobie, że kwanty światła to pewnego rodzaju „kule światła”. Przykładem mogą być spekulacje Lorentza na temat kwantów (1910). Zwracał on uwagę, że eksperymenty interferencyjne Lummera i Gehrckego, w których różnica dróg optycznych dochodziła do 80 cm dają dolną granicę **rozciągłości podłużnej** kwantu światła. Podobnie, na co zwracał uwagę Lorentz, dolną granicę **rozciągłości poprzecznej** kwantu światła daje średnica 150 cm (średnica największego wówczas teleskopu na Mt. Wilson). *Jak to jest możliwe, że tak monstrualnie wielki kwant przechodzi przez źrenicę oka nie ulegając podziałowi?* — pytał Lorentz.

Od tego czasu nauczyliśmy się bardzo wiele o kwantach światła — fotonach (samą nazwę „foton” zaproponował w 1926 roku Gilbert N. Lewis). Właściwości tego niezwyklego obiektu fizycznego można podsumować w następujących punktach. Foton:

- nie jest „kulka” światła,
- niesie własny moment pędu,
- bardzo „lubi tłok” (opisuje to kwantowa statystyka Bosego-Einsteina),
- ma zdolność dyfrakcji i interferencji,
- ma bogatą i skomplikowaną strukturę,
- w próżni ma nieskończony czas życia,
- może być „splątany” z innym fotonem (co jest wykorzystywane w teleportacji).

Trudno się dziwić, że starając się pojąć naturę tak niezwyklego obiektu zdesperowany Einstein napisał w 1921 roku do Paula Ehrenfesta:

*Problem kwantów wystarczy żeby mnie zaprowadzić do domu wariatów.*

Dziś wiemy, że wyobrażanie sobie fotonu w ramach fizyki klasycznej jest skazane na niepowodzenie. Fotonem nie jest ani bardzo krótki impuls światła laserowego, ani bardzo krótki odcinek sinusoidy, którą tak chętnie wykorzystujemy do popularnego wyjaśnienia falowej natury światła.

Dzisiaj fotony opisujemy korzystając z elektrodynamiki kwantowej — najdokładniejszej teorii fizycznej. Wynika z niej, że pole elektromagnetyczne jest skwantowane, a jego energia może się zmieniać tylko skokowo, w porcjach wynoszących  $h\nu$ , co można wyrazić wzorem:

$$\int \frac{1}{2} (\epsilon_0 \vec{E}^2 + \mu_0 \vec{H}^2) dV = (n + \frac{1}{2}) \hbar \omega$$

W ujęciu elektrodynamiki kwantowej fotony są to mody pola elektromagnetycznego.

Dziś jesteśmy przekonani, że **światło jest zarówno falą jak i strumieniem fotonów**. Taka dwoistość przeczy oczywiście „zdrowemu rozsądkowi”. Czyż jednak nie przekonaliśmy się już jak często on nas zawodził w przeszłości i nadal zawodzi?

Wybitny fizyk niemiecki, jeden z twórców mechaniki kwantowej — Werner Heisenberg wspominał, że w 1922 roku, jako bardzo młody fizyk, słuchał w Getyndze wykładów Nielsa Bohra na temat fizyki atomów. Pewnego dnia zapytał Bohra: *Czy w ogóle zrozumiemy kiedyś atomy?* Bohr zwlekał przez chwilę i odpowiedział: *Tak. Ale jednocześnie dopiero wtedy dowiemy się, co znaczy słowo „rozumieć”...*

Istotnie, we współczesnej fizyce słowo „rozumieć” ma znaczenie nieco inne niż w życiu codziennym, w którym staramy się zawsze wyobrazić sobie zjawiska i korzystać ze zdrowego rozsądku.

Bardzo ładnie wyraził to wybitny fizyk brytyjski Freeman Dyson:

*Elektrodynamika kwantowa zajmuje pozycję wyjątkową we współczesnej fizyce. Jest to jedyna część naszej nauki, która została całkowicie zredukowana do układu precyzyjnych równań. Jest to jedyny obszar, w którym możemy wybrać hipotetyczny eksperyment i przewidzieć jego wynik z dokładnością pięciu miejsc po przecinku i mieć pewność, iż teoria bierze pod uwagę wszystkie istotne czynniki. Elektrodynamika kwantowa daje nam kompletny opis zachowania się elektronu; zatem w pewnym sensie pozwala nam zrozumieć, czym jest elektron...*

Richard Feynman, jeden z twórców elektrodynamiki kwantowej, w jednym ze swych popularnych wykładów w 1965 roku użył sformułowania, że:

*nikt nie rozumie mechaniki kwantowej.*

Miał oczywiście na myśli potoczne znaczenie słowa „rozumieć”. Inne znaczenie tego słowa miał na myśli Einstein, kiedy wyraził się, że

*najbardziej niezrozumiałe jest to, że wszechświat można zrozumieć.*

## Bibliografia

A. Einstein, *5 prac, które zmieniły oblicze fizyki*, tłum. z ang. Piotr Amsterdamski, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2005.

A.K. Wróblewski, *Historia fizyki od czasów najdawniejszych do współczesności*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.

## Abstract

In 1905 Albert Einstein published four papers which revolutionized physics. Einstein's ideas concerning energy quanta and electrodynamics of moving bodies have been received with scepticism, which only very slowly went away in spite of their solid experimental confirmation. For many people Einstein's results have

been contrary to common sense. However, history of physics provides numerous convincing examples of important discoveries, which were first rejected as contrary to common sense, and accepted only after a long time.

**Słowa kluczowe:** szczególna i ogólna teoria względności, względność równoczesności, dylatacja czasu, kwanty energii, fotony.

