

tom 56 zeszyt 6 rok 2005

nr indeksu 369721 cena 12 zł (0% VAT)

000091353
UNIWERSYTET MARII CURIE-SKŁODOWSKIEJ
Biblioteka Instytutu Fizyki
ul. Marii Curie-Skłodowskiej 1
20-039 Lublin tel. 537 11 11

POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



Albert Einstein

Rok 1905



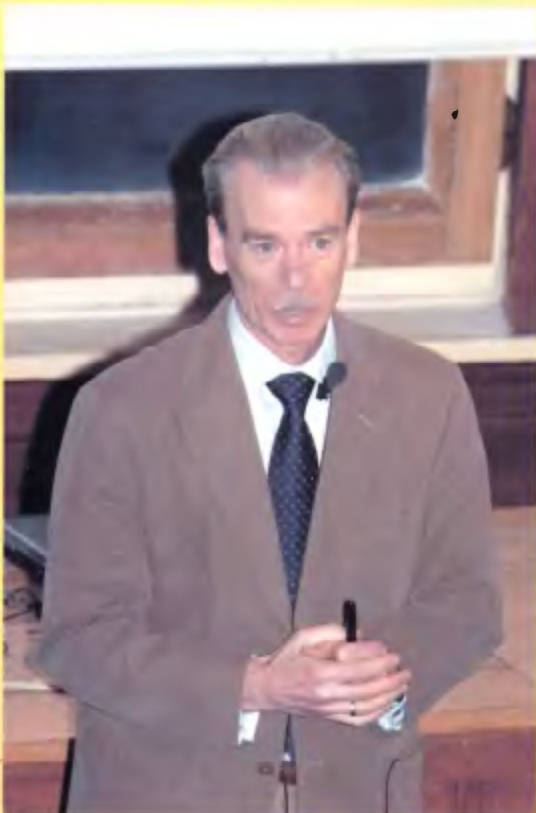
Symposium „Albert Einstein – rok 1905” (fot. Janusz Rosiek)



Stanisław G. Rohoziński



Andrzej Mencwel



Jarosław Piasecki



Iwo Białynicki-Birula

(dalsze zdjęcia na III stronie okładki)

RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący), Mieczysław Budzyński, Andrzej Dobek, Witold Dobrowolski, Zofia Gołąb-Meyer, Adam Kiejna, Józef Szudy

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobieczewski

KOMITET REDAKCYJNY

Jerzy Gronkowski (redaktor naczelny), Mirosław Łukaszewski, Magdalena Staszal, Marek Więckowski, Barbara Wojtowicz

Adres Redakcji:

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, e-mail: postepy@fuw.edu.pl, Internet: postepy.fuw.edu.pl

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Maciej Piętka (Białystok), Marian Głowacki (Częstochowa), Ryszard Drozdowski (Gdańsk), Roman Bukowski (Gliwice), Jerzy Warczewski (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Małgorzata Nowina Konopka (Kraków), Elżbieta Jartych (Lublin), Marcin Ostrowski (Łódź), Ewa Pawelec (Opole), Lidia Skibińska (Poznań), Małgorzata Klisowska (Rzeszów), Małgorzata Kuzio (Słupsk), Janusz Typek (Szczecin), Winicjusz Drozdowski (Toruń), Aleksandra Miłosz (Warszawa), Bernard Jancewicz (Wrocław), Justyna Jankiewicz (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Maciej Kolwas (prezes), Katarzyna Chałasińska-Macukow i Reinhard Kulesa (wiceprezesi), Helena Białkowska (sekretarz generalny), Marek Kowalski (skarbnik), Bernard Jancewicz, Franciszek Krok, Maria Mucha, Andrzej Ptok, Barbara Sagnowska i Mirosław Trociuk (członkowie)

Adres Zarządu:

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, tel./fax: (22) 6212668, e-mail: ptf@fuw.edu.pl, Internet: ptf.fuw.edu.pl

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Eugeniusz Żukowski (Białystok), Stefan Kruszewski (Bydgoszcz), Michał Piasecki (Częstochowa), Marek Grinberg (Gdańsk), Andrzej Klimasek (Gliwice), Wiktor Zipper (Katowice), Janusz Braziewicz (Kielce), Zbigniew Majka (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Bogusław Broda (Łódź), Ryszard Pietrzak (Opole), Roman Świetlik (Poznań), Marian Kuźma (Rzeszów), Grzegorz Karwasz (Słupsk), Adam Bechler (Szczecin), Ryszard S. Trawiński (Toruń), Jerzy Garbarczyk (Warszawa), Adam Kiejna (Wrocław), Paweł B. Szczaniecki (Zielona Góra)

REDAKTORZY NACZELNI INNYCH CZASOPISM

WYDAWANYCH POD EGIDĄ PTF

Jerzy Prochorow – Acta Physica Polonica A, Andrzej Staruszkiewicz – Acta Physica Polonica B, Andrzej Jamiołkowski – Reports on Mathematical Physics, Marek Kordos – Delta, Zofia Gołąb-Meyer – Foton, Adam Smólski – Fizyka w Szkole

Czasopismo ukazuje się od 1949 r.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Zeszyt dofinansowany przez Komitet Badań Naukowych

Wydano pod patronatem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Skład komputerowy w redakcji

Opracowanie okładki: Studio Graficzne etNova Piotr Zendak i Wspólnicy sp.j., tel.: (22) 8735520, e-mail: etnova@etnova.pl

Druk i oprawa: „UNI-DRUK”, Warszawa, ul. Bućczuk 7b

ISSN 0032-5430

SPIS TREŚCI

S.G. Rohoziński – Sympozjum „Albert Einstein – rok 1905”	242
J. Piasecki – Fizyka statystyczna w pracach Einsteina do roku 1905	244
I. Białyński-Birula – Foton jako cząstka kwantowa	247
S.L. Bazański – Powstawanie i wczesny odbiór szczególnej teorii względności. I. Zasada względności i elektrodynamika ciał w ruchu	253
S.L. Bazański – Powstawanie i wczesny odbiór szczególnej teorii względności. II. Równoważność masy i energii	262
Ł.A. Turski – Annus mirabilis 1905: wtedy i dziś ...	269
NOWI PROFESOROWIE	276
RECENZJE	278
LISTY DO REDAKCJI	281
PTF	283
KRONIKA	284



Drodzy Czytelnicy,

dobiega końca Światowy Rok Fizyki 2005, upamiętniający setną rocznicę fundamentalnych prac Alberta Einsteina, rok, który także w naszym kraju przyniósł wiele udanych imprez popularyzujących fizykę i okolicznościowych sesji poświęconych einsteinowskiemu „cudownemu roku” sprzed stu lat. Zeszyt specjalny Postępów, który dziś Państwu składamy pod choinkę, zawiera teksty wykładów wygłoszonych podczas wiosennych sympozjów zorganizowanych na dwóch warszawskich uczelniach. Artykuły profesorów Piaseckiego, Białyńskiego-Biruli, Bazańskiego i Turskiego opisują zarówno treść fizyczną słynnych prac genialnego uczonego, jak i kontekst historyczny ich powstawania. Wypada wyrazić wdzięczność wszystkim wymienionym Autorom tego zeszytu za tak staranne przygotowanie swych opracowań w formie pisemnej, dzięki czemu możemy dokładniej zrozumieć wagę omawianych prac i lepiej wczuć się w ducha tamtych niezwykłych czasów.

Życzę wszystkim Państwu miłej lektury i szczęśliwego Nowego Roku 2006,



Jerzy Gronkowski



Symposium „Albert Einstein – rok 1905”

Niektórzy fizycy zapewne niezbyt interesują się historią rozwoju fizyki i w swojej pracy opierają się tylko na współczesnej wiedzy fizycznej. Niemniej warto czasem, choćby dla lepszego zrozumienia obecnego stanu wiedzy, zbadać, jak powstawały i jak rozwijały się poglądy na temat opisu określonego zjawiska fizycznego. Można wtedy stwierdzić, jak krętymi ścieżkami podążała często myśl ludzka i jaki wysiłek intelektualny włożono, aby dojść do współczesnego stanu wiedzy. Okazją do takiego spojrzenia wstecz jest Światowy Rok Fizyki 2005 ogłoszony w stulecie „cudownego roku” Alberta Einsteina, roku opublikowania jego słynnych prac, które „zmieniły oblicze fizyki”.

Starszemu pokoleniu – wychowanemu w PRL – rok 1905 kojarzy się zapewne ze strajkiem szkolnym i rewolucją na terenach Królestwa Polskiego oraz całej carskiej Rosji. Ale przecież obchodzimy Światowy Rok Fizyki w stulecie zupełnie innej rewolucji. Czy na pewno rewolucji? Wydaje mi się, choć może się mylę, że rewolucje w fizyce przebiegają znacznie łagodniej niż rewolucje społeczne. Autorzy dzieł rewolucjonizujących fizykę mają zwykle swoich poprzedników albo sami już wcześniej dali tym dziełom początki. Nawet doświadczalne odkrycie nowego zjawiska bądź obiektu fizycznego trudno uznać za początek rewolucji, bo albo było ono już wcześniej przewidziane, albo jest z początku fałszywie interpretowane i dopiero po jakimś czasie okazuje się, jakie miało znaczenie. Dokładne daty przełomów w fizyce są więc raczej umowne. Grają tylko rolę kamieni milowych ustawianych na drodze rozwoju fizyki. Takim kamieniem milowym, który znaczy prawdziwy początek fizyki XX wieku, jest bezsprzecznie rok 1905. Jak już wspomniałem, jeden fizyk-teoretyk – Albert Einstein – dał wtedy światu pięć prac naukowych, które, jak się uważa, zmieniły oblicze fizyki. Jakie oblicza pokazała fizyka XX wieku? Jedno oblicze było relatywistyczne, drugie – kwantowe. Trzecie – mikroskopowe albo atomistyczne, aby nie powiedzieć – atomowe. Niestety, fizyka XX wieku pokazała także – znacznie później – to złowrogie oblicze atomowe.

Przyjmujemy dzisiaj, że właśnie w roku 1905 dokonana się rewolucja w pojmowaniu i opisie otaczającego nas świata. To pojmowanie i opis świata to jest właśnie fizyka. Myślę, że uświadomienie społeczeństwu tej roli fizyki powinno być głównym przesłaniem Światowego Roku Fizyki.

Właśnie w ramach ŚRF Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego zorganizował 12 maja 2005 r. symposium „Albert Einstein – rok 1905” poświęcone współczesnemu spojrzeniu na te pięć prac Einsteina, które, aby użyć terminologii rewolucyjnej, wstrząsnęły światem.

Czy był to przełom tylko w fizyce, czy też przełom o szerszym znaczeniu kulturowym i światopoglądowym? Tej kwestii poświęcony był wykład inauguracyjny, który wygłosił prof. Andrzej Mencwel, historyk kultury, dyrektor Instytutu Kultury Polskiej UW. Tytuł jego wykładu, nieco tajemniczy dla fizyków, brzmiał „Wiek XX: ekwiwalencja zamiast reprezentacji”.

Pozostałe wykłady na Symposium wygłosili profesorowie IFT UW. Wprowadzeniem do dwóch prac Einsteina z 1905 r. na temat fizyki statystycznej był wykład Jarosława Piaseckiego o jeszcze wcześniejszych publikacjach Einsteina z tej dziedziny (ten zeszyt, s. 244). Te dwie prace zreferował zaś Bogdan Cichocki. Pierwszą z nich była rozprawa doktorska Einsteina przedłożona Uniwersytetowi w Zurychu. Jest to najczęściej cytowana praca Einsteina w literaturze naukowej. W drugiej Einstein podał niezależnie i prawie równocześnie z Marianem Smoluchowskim teorię ruchów Browna.

Dzisiaj uważa się Einsteina za odkrywcę fotonu, ale ten termin w roku 1905 jeszcze nie padał. W pracy o zjawisku fotoelektrycznym, uhonorowanej w 1921 r. Nagrodą Nobla, Einstein przyjął, że promieniowanie elektromagnetyczne przenosi energię w postaci skończonej liczby kwantów, które mogą być wysyłane lub pochłaniane tylko w całości. Poprzednio, w roku 1900, Planck tłumaczył promieniowanie ciała doskonale czarnego emisją i absorpcją kwantów energii świetlnej. Iwo Białynicki-Birula przedstawił na Symposium historię odkrycia fotonu jako cząstki kwantowej i zakończył swój wykład (s. 247), podając własną konstrukcję funkcji falowej fotonu.

Albert Einstein jest powszechnie znany przede wszystkim jako twórca teorii względności. Jego pracę „O elektrodynamice ciał w ruchu” z 1905 r. słusznie uważa się za narodziny szczególnej teorii względności, choć transformacja Lorentza była znana już wcześniej, a czterowymiarowy formalizm tej teorii został podany przez Minkowskiego kilka lat później. Istotą dzieła Einsteina, przedstawioną na Symposium przez Andrzeja Trautmana (a w tym zeszycie – przez Stanisława Bazańskiego, s. 253), była idea względności czasu i jednoczesności zjawisk, tak kluczowa dla dzisiejszego pojmowania czasoprzestrzeni. Cudowny rok Einsteina wieńczy praca o zależności bezwładności ciał od energii. Któż nie zna słynnego wzoru $E = mc^2$, choć próżno go w tej pracy szukać. Tok rozumowania Einsteina prowadzącego do tej relatywistycznej zależności między masą a energią przedstawił na zakończenie Symposium Stanisław Bazański (s. 262).

Symposium einsteinowskie w IFT UW miało jeszcze swoje drugie zakończenie tydzień później, kiedy

na Konwersatorium im. Leopolda Infelda referat zatytułowany „Albert Einstein: A Man for the Next Millennium” wygłosił John Stachel z Boston University Center for Einstein Studies, wybitny znawca twórczości Einsteina, redaktor wydania tych pięciu słynnych prac, którym poświęcone było Symposium, zatytułowanego *Einstein's Miraculous Year: Five Papers that Changed the Face of Physics*. Stachel opatrzył je własnym komentarzem. Ostatnio Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego wydały ten zbiór pod tytułem *Albert Einstein: 5 prac, które zmieniły oblicze fizyki* (patrz Kronika w zesz. 2/2005).

Dalsze informacje o Symposium można znaleźć na stronie internetowej IFT UW (www.fuw.edu.pl/~ajduk/IFT/einstein1905.html). Wszystkie wykłady wygłoszone na Symposium zostały zarejestrowane

przez Akademicką Telewizję Naukową i można je zobaczyć oraz usłyszeć w Internecie (www.atvn.pl). Szkoda tylko, że inne media nie zainteresowały się imprezą. A liczne audytorium świadczy o tym, że była to impreza pożyteczna i udana. Przyczynili się do tego wszyscy wykładowcy i słuchacze. Wypada więc w tym miejscu wszystkim im podziękować. Pomysłodawcą, współorganizatorem oraz jednym z wykładowców Symposium był prof. Bogdan Cichocki i jemu należą się podziękowania szczególne. Składam także podziękowania wszystkim osobom, które bezpośrednio lub pośrednio brały udział w organizacji symposium „Albert Einstein – rok 1905”.

Stanisław G. Rohoziński
Instytut Fizyki Teoretycznej
Uniwersytet Warszawski

Z okazji Roku Fizyki 2005
INSTYTUT FIZYKI TEORETYCZNEJ
UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO
zaprasza na
symposium
ALBERT EINSTEIN – ROK 1905
dnia 12 maja 2005, godz. 12:15
Sala Duża Doświadczalna,
Wydział Fizyki UW, ul. Hoża 69, Warszawa



PROGRAM

- 12:15 – 12:20 Otwarcie symposium – Stanisław G. Rohoziński
- 12:20 – 12:55 Wiek XX: ekwiwalencja zamiast reprezentacji – Andrzej Mencwel
- 13:00 – 13:35 Fizyka statystyczna w pracach Einsteina do roku 1905 - Jarosław Piasecki
- 13:40 – 14:30 Foton jako cząstka kwantowa – Iwo Białynicki-Birula
- 14:30 – 15:15 Przerwa na obiad
- 15:15 – 16:05 Realność atomów: doktorat Einsteina i jego praca o ruchach Browna – Bogdan Cichocki
- 16:05 – 16:30 Przerwa na kawę
- 16:30 – 17:30 Powstawanie i wczesny odbiór szczególnej teorii względności – Stanisław Bazański i Andrzej Trautman

Fizyka statystyczna w pracach Einsteina do roku 1905*

Jarosław Piasecki

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

Einstein's work on the foundations of statistical mechanics before 1905

Abstract: The three papers on the statistical description of thermal equilibrium published by Albert Einstein in the years 1902–1904 in *Annalen der Physik* are reviewed.

W kolejnych latach 1902, 1903 i 1904 ukazały się w czasopiśmie *Annalen der Physik* trzy prace Alberta Einsteina poświęcone podstawom fizyki statystycznej. Postawione w nich zostało zasadnicze zagadnienie wyprowadzenia praw termodynamiki z mechanicznego modelu układów fizycznych w ścisłym powiązaniu z rachunkiem prawdopodobieństwa. W refleksji Einsteina nad tym problemem istotną rolę odegrały oryginalne koncepcje teorii kinetycznej rozwinięte przez Maxwella i Boltzmann. Jest to szczególnie widoczne w pracy [1] z 1902 r. W kolejnym artykule [2], opublikowanym w roku 1903, Einstein postawił już sobie za cel sformułowanie podstaw termodynamiki opartych na ogólniejszych założeniach; szczególną ilustracją tych podstaw miała być teoria kinetyczna gazów. Wreszcie, w 1904 roku ukazało się ważne uzupełnienie [3], zawierające m.in. analizę fluktuacji energii.

W ogólnej formie teorii mechaniczny model oznaczał przyjęcie, iż stany układu fizycznego można w pełni opisać przez podanie wielkiej, lecz skończonej liczby parametrów (p_1, p_2, \dots, p_n) , $n \gg 1$. W przypadku układu izolowanego znajomość tych parametrów w pewnej chwili jednoznacznie określa ewolucję stanu układu. Opisuje ją układ równań

$$\frac{dp_i}{dt} = \phi_i(p_1, \dots, p_n), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Einstein czyni tu uwagę, iż układ funkcji ϕ_i powinien spełniać warunek zgodności z doświadczalnie obserwowanym faktem dążenia makroskopowych układów izolowanych do stanu równowagi termodynamicznej. Nie formułuje jednak tej uwagi w postaci określonego warunku na dopuszczalną klasę funkcji. Dalsze założenia odpowiadają w istocie hipotezie ergodycznej:

- jedynym niezmiennikiem ruchu układu izolowanego jest energia $E(p_1, \dots, p_n) = \text{const}$,

- ułamek czasu przebywania stanu układu w jakimkolwiek obszarze powierzchni stałej energii ma skończoną granicę, gdy całkowity czas ewolucji dąży do nieskończoności.

Prowadzi to do wniosku, że rozkład wielkiej liczby ($N \gg 1$) identycznych układów w przestrzeni parametrów stanu w granicy odpowiadającej osiągnięciu stanu równowagi przybiera postać

$$dN = \epsilon(p_1, p_2, \dots, p_n) dp_1 \dots dp_n, \quad (2)$$

przy czym spełnione jest równanie ciągłości

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial(\epsilon \phi_i)}{\partial p_i} = \frac{d\epsilon}{dt} - \epsilon \sum_{i=1}^n \frac{\partial \phi_i}{\partial p_i} = 0. \quad (3)$$

W przypadku równań ruchu Lagrange'a (lub Hamiltona) warunek (3) przybiera postać $d\epsilon/dt = 0$, co stanowi bezpośrednią konsekwencję twierdzenia Liouville'a. Oznacza to, że funkcja ϵ może zależeć od parametrów stanu jedynie za pośrednictwem energii. Stąd wniosek Einsteina, że miara prawdopodobieństwa znalezienia przypadkowo wybranego układu w jakimkolwiek obszarze g warstwy energetycznej $(E, E + \delta E)$, przy czym $\delta E \ll E$, dana jest wzorem

$$dW = \text{const} \int_g dp_1 \dots dp_n. \quad (4)$$

Wzór (4) odpowiada dokładnie postulatowi zespołu mikrokanonicznego Gibbsa.

Gdy powstawały omawiane tu prace [1–3], Einstein najprawdopodobniej nie znał jeszcze książki Gibbsa *Elementary Principles in Statistical Mechanics* wydanej przez Uniwersytet Yale'a w 1902 r. Nie wiadomo też, w jakim stopniu znane mu były prace Boltzmann'a niezawarte w słynnych *Vorlesungen über Gas-theorie* (Lipsk 1896). W każdym razie w artykułach [1]

*Wykład wygłoszony 12 maja 2005 r. na sympozjum „Albert Einstein – rok 1905” zorganizowanym przez Instytut Fizyki Teoretycznej UW.

i [2] poza wprowadzeniem zespołu (4) znajdujemy również rozumowanie prowadzące do rozkładu prawdopodobieństwa dla stanów układu pozostającego w kontakcie termicznym z otoczeniem o względnie nieskończonej energii, a więc do kanonicznego zespołu statystycznego Gibbsa. Warto przyrzeć się oryginalnemu rozumowaniu Einsteina.

Zaczyna się ono od uwagi, że w rozkładzie (4) można równie dobrze zastąpić stały czynnik przez $\text{const} \cdot \exp(-2hE)$, gdzie h jest stałą. Pomijając energię oddziaływania układu z otoczeniem i traktując układ złożony jak układ izolowany o energii $\bar{E} = E$ (energia układu) + H (energia otoczenia), można rozkład stanów dla badanego układu zapisać w postaci

$$dN = \text{const} \cdot \exp(-2hE) dp_1 \dots dp_n \times \int dP_1 \dots dP_l \exp(-2hH). \quad (5)$$

Całkowanie względem parametrów stanu otoczenia (P_1, \dots, P_l) rozciąga się tu na warstwę energetyczną zdefiniowaną nierównością $\bar{E} - E < H < \bar{E} - E + \delta\bar{E}$. Einstein wskazał na możliwość jednoznacznego doboru stałej h , tak by w granicy nieskończonego otoczenia rozkład (5) zależał od parametrów stanu małego podukładu (p_1, \dots, p_n) jedynie przez czynnik wykładniczy $\exp(-2hE)$. Przy tym wyborze, h jest stałym parametrem charakteryzującym otoczenie. Analityczna postać zależności rozkładu dla układu sprzężonego termicznie z otoczeniem została w ten sposób znaleziona.

Dla stałej h Einstein uzyskał wzór

$$2h = \frac{d}{d\bar{E}} \ln \omega(\bar{E}),$$

$$\omega(\bar{E}) \delta\bar{E} = \int_{\bar{E} < H < \bar{E} + \delta\bar{E}} dP_1 \dots dP_l, \quad (6)$$

a teoria kinetyczna gazów pozwoliła jednoznacznie połączyć h z temperaturą termodynamiczną T otoczenia:

$$\frac{1}{2h} = 2\kappa T. \quad (7)$$

We wzorze (7) pojawiła się przy tym stała uniwersalna κ . Jej interpretacji poświęcił Einstein szczególną uwagę.

Odwolując się do teorii kinetycznej gazów atomowych, Einstein przypomniał wyniki Boltzmana, zgodnie z którymi średnia energia kinetyczna środka masy atomu wynosi $3\kappa T$. Równanie stanu dla jednego mola gazu $pv = RT$ porównane z wynikiem teorii kinetycznej

$$pv = \frac{2}{3} N \cdot (\text{średnia energia kinetyczna atomu}) \quad (8)$$

prowadzi do równości $2\kappa N = R$. Znajomość stałej gazowej $R = 8,31 \cdot 10^7$ erg/K oraz liczby atomów w molu $N = 6,4 \cdot 10^{23}$ (według Mayera) dała wartość $\kappa = 6,5$

$\cdot 10^{-17}$ erg/K (współcześnie $2\kappa = k_B$ nazywamy stałą Boltzmana).

Analiza Einsteina nie ograniczyła się jedynie do teorii kinetycznej. Poszukiwania ogólniejszej interpretacji stałej κ skierowały go ku analizie fluktuacji energii [3]. Zgodnie z rozkładem (5) miara prawdopodobieństwa zaobserwowania energii E układu w kontakcie termicznym z otoczeniem ma postać

$$dW = C \exp(-E/2\kappa T) \omega(E) dE. \quad (9)$$

Różniczkując względem temperatury równość

$$\int dE [\langle E \rangle - E] e^{-E/2\kappa T} \omega(E) = 0, \quad (10)$$

Einstein znalazł miarę fluktuacji energii

$$\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2 = 2\kappa T^2 \frac{d\langle E \rangle}{dT} \quad (11)$$

i nazwał ją miarą stabilności termicznej.

Jako zastosowanie zaproponował zbadanie fluktuacji w obszarze o objętości V wypełnionym promieniowaniem o określonej temperaturze. Jego rozumowanie, prowadzone na poziomie oceny rzędów wielkości, jest tym bardziej interesujące, że wcale nie było oczywiste, iż można równanie (11) zastosować do promieniowania. Gdy rozmiary liniowe $\sqrt[3]{V}$ obszaru wypełnionego promieniowaniem są rzędu wielkości długości fali λ_m odpowiadającej maksymalnej energii promieniowania, fluktuacje stają się duże, rzędu wielkości średniej energii:

$$2\kappa T^2 \frac{d\langle E \rangle}{dT} \approx \langle E \rangle^2.$$

Prawo Stefana–Boltzmana $\langle E \rangle = cVT^4$ prowadzi wówczas do relacji

$$\sqrt[3]{V} = \frac{2}{T} \sqrt[3]{\frac{\kappa}{c}}. \quad (12)$$

Podstawiając tu wartość stałej Boltzmana oraz stałej z prawa Stefana–Boltzmana, Einstein uzyskał oszacowanie długości fali λ_m :

$$\lambda_m \approx \sqrt[3]{V} \approx \frac{0,43}{T}. \quad (13)$$

Podkreślił przy tym, że uzyskana zgodność z doświadczeniem zależności λ_m od temperatury nie mogła być dziełem przypadku.

W pracach [1–3] znajduje się zatem sformułowanie podstaw teorii zespołów statystycznych opisujących stany równowagi układów izolowanych i układów w kontakcie termicznym z otoczeniem. Wyprowadzając analityczną postać odpowiednich rozkładów prawdopodobieństwa, Einstein kierował się w istocie ideami teorii ergodycznej. Analiza rozwoju stanu układu w czasie odegrała też podstawową rolę przy dyskusji

zasad termodynamiki. W pracach Einsteina sprecyzowane zostały pojęcia nieskończenie powolnych procesów quasistatycznych, które dopuszczają opis w postaci ciągów stanów równowagi.

W procesach adiabatycznych wewnętrzna dynamika układu pozostaje określona przez równania ruchu (1), z tym że funkcje ϕ_i zależą dodatkowo od określonych parametrów λ_ν charakteryzujących mechaniczny wpływ otoczenia. Einstein wyróżnia procesy wynikające wyłącznie z kontaktu termicznego, bez zmiany parametrów odpowiedzialnych za przemiany adiabatyczne, używając do ich określenia terminu „isopycnic”. Ta klasyfikacja zostaje następnie wykorzystana do wyprowadzenia wzoru na entropię.

W dowolnym procesie quasistatycznym zmiana energii opisana jest równaniem

$$\begin{aligned} dE &= \sum_{\nu} \frac{\partial E}{\partial \lambda_{\nu}} d\lambda_{\nu} + \sum_i \frac{\partial E}{\partial p_i} dp_i \\ &= \sum_{\nu} \frac{\partial E}{\partial \lambda_{\nu}} d\lambda_{\nu} + dQ. \end{aligned} \quad (14)$$

Zmiana energii, która nie jest związana ze zmianą parametrów λ_{ν} , reprezentuje z definicji przepływ ciepła dQ . Oznaczając przez $\exp(c)$ czynnik normujący rozkład prawdopodobieństwa zespołu statystycznego (5), otrzymuje się relację

$$dc - 2Edh - 2h \sum_{\nu} \frac{\partial E}{\partial \lambda_{\nu}} d\lambda_{\nu} = 0. \quad (15)$$

Z równania (14) oraz ze związku stałej h z temperaturą T wynika równość definiująca entropię S :

$$\frac{dQ}{T} = d \left(\frac{E}{T} - 2\kappa c \right) = dS. \quad (16)$$

Einstein podaje pełny wzór w postaci

$$S = \frac{E}{T} + 2\kappa \log \int \exp(-2hE) dp_1 \dots dp_n. \quad (17)$$

Zauważa wreszcie, że w przypadku czysto termicznego kontaktu z otoczeniem można wyznaczyć zmianę entropii, korzystając ze związku

$$\frac{1}{2\kappa T} dE = d \log[\omega(E)],$$



JAROSŁAW PIASECKI jest profesorem w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego. Prowadzi badania podstawowe z dziedziny fizyki statystycznej. Głównym przedmiotem jego zainteresowań jest teoria kinetyczna gazów oraz teoria przemian fazowych. Zajmuje się ostatnio statystyczną teorią stanów stacjonarnych oraz zagadnieniem kondensacji Bosego–Einsteina w układach oddziałujących bozonów.

co prowadzi do wzoru

$$S = \int \frac{dE}{T} = 2\kappa \log[\omega(E)], \quad (18)$$

uogólniającego wynik teorii kinetycznej gazów Boltzmannna.

Pozostaje jeszcze podstawowe pytanie, w jakim sensie z przedstawionej teorii można wyprowadzić drugą zasadę termodynamiki. Rozumowanie Einsteina jest tu następujące.

- Analiza wagi prawdopodobieństwa znalezienia stanów układu izolowanego w elementach rozkładu cienkiej warstwy energetycznej na rozłączne obszary wskazuje, że maksymalna waga prawdopodobieństwa odpowiada równowagowemu rozkładowi jednorodnemu.
- Należy przyjąć postulat, że ewolucja dynamiczna prowadzi zawsze od stanów mniej prawdopodobnych do stanów bardziej prawdopodobnych, a więc takich, którym odpowiada obszar warstwy energetycznej $[E, E + \delta E]$, $\delta E \ll E$, o większej objętości.
- Zgodnie z definicjami (16) i (18) przejściu do stanów bardziej prawdopodobnych towarzyszy wzrost entropii.
- Bilans entropii w procesie quasistatycznym, w którym maszyna (ciało robocze) podlega przemianie cyklicznej, oddziałując termicznie z nieskończonym zbiornikiem ciepła o temperaturze T i z adiabatycznie sprzężonymi układami o względnie nieskończonej energii, wynosi $-Q/T$, gdzie Q jest ciepłem przekazanym maszynie. Wzrost entropii oznacza więc $Q < 0$, czyli niemożliwość skonstruowania perpetuum mobile drugiego rodzaju.

Literatura

- [1] A. Einstein, „Kinetische Theorie des Wärmegleichgewichtes und des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik”, *Annalen der Physik* **9**, 417–433 (1902).
- [2] A. Einstein, „Eine Theorie der Grundlagen der Thermodynamik”, *Annalen der Physik* **11**, 170–187 (1903).
- [3] A. Einstein, „Zur allgemeinen molekularen Theorie der Wärme”, *Annalen der Physik* **14**, 354–362 (1904).

Foton jako cząstka kwantowa*

Iwo Białynicki-Birula

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN oraz Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

Photon as a quantum mechanical particle

Abstract: Our present understanding of the nature of photons differs significantly from what was known years ago when the concept of a photon had only been emerging. Unfortunately, very little of this knowledge trickles to those students who do not specialize in theoretical physics. In this lecture, in addition to giving a historical perspective on „the problem of the photon”, I shall say something about the description of the photon as a quantum mechanical particle. In addition, I shall show how the quantum description merges with the classical description of the electromagnetic field.

Wykład mój podzieliłem na dwie części. W części historycznej prawie bez komentarzy przedstawiam poglądy ówczesnych wybitnych fizyków na naturę fotonu. W części współczesnej przedstawiam moje poglądy na to, jak należy dziś naturę tę opisywać.

1. Foton – migawki historyczne

Pojęcie fotonu (choć nie sama nazwa) jako kwantu promieniowania elektromagnetycznego pojawiło się sto lat temu w artykule Alberta Einsteina [1] zatytułowanym „O pewnym heurystycznym punkcie widzenia na produkcję i przemianę światła”. Kluczowe zdanie w tym artykule brzmi¹:

According to the assumption considered here, when a light ray starting from a point is propagated, the energy is not continuously distributed over an ever increasing volume, but it consists of a finite number of energy quanta, localized in space, which move without being divided and which can be absorbed or emitted only as a whole.

(Zgodnie z wprowadzonym tu założeniem, gdy wiązka światła rozchodzi się od jakiegoś punktu, jej energia nie jest rozłożona w sposób ciągły w narastającej objętości, ale składa się ze skończonej liczby niepodzielnych kwantów energii zlokalizowanych w przestrzeni, absorbowanych i emitowanych zawsze w całości).

W pracy [1] pojawił się sławny wzór Einsteina wiążący energię elektronu wybijanego z powierzchni metalu z częstością padającego kwantu światła. Współczesna postać tego wzoru

$$eU = h\nu - W$$

różni się od swego pierwowzoru

$$\Pi\varepsilon = (R/N)\beta\nu - P,$$

który zawierał stałą Plancka w bardzo zakamuflowanej postaci.

Ze skróconej perspektywy może nam się dziś wydawać, że upłynęło niewiele czasu między ukazaniem się pracy Einsteina i jej powszechną akceptacją. W rzeczywistości minęło prawie dwadzieścia lat! Oto co 2 czerwca 1920 r. na temat hipotezy Einsteina powiedział Max Planck w swoim przemówieniu z okazji otrzymania Nagrody Nobla (podaję tu angielskie tłumaczenie niemieckiego oryginału [4] dostępne w witrynie Fundacji Nobla pod tytułem „The genesis and present state of development of the quantum theory”).

There is in particular one problem whose exhaustive solution could provide considerable elucidation. What becomes of the energy of a photon after complete emission? Does it spread out in all directions with further propagation in the sense of Huygens' wave theory, so constantly taking up more space, in the boundless progressive attenuation? Or does it fly out like a projectile in one direction in the sense of Newton's emanation theory? In the first case, the quantum would no longer be in the position to concentrate energy upon a single point in space in such a way as to release an electron from its atomic bond, and in the second case, the main triumph of the Maxwell theory – the continuity between the static and the dynamic fields and, with it, the complete understanding we have enjoyed, until now, of the fully investigated interference phenomena – would have to be sacrificed, both being very unhappy consequences for today's theoreticians.

(Występuje w szczególności jeden problem, którego wyczerpujące rozwiązanie mogłoby w istotny sposób rozjaśnić nam obraz. Co się staje z energią oddzielnego kwantu energii po całkowitym zakończeniu emisji? Czy rozchodzi się ona we wszystkich kierunkach, podlegając prawom propagacji wynikającym z teorii falowej Huygensa, pokrywając coraz to większą przestrzeń i ulegając nieograniczonemu osłabieniu? Czy też leci ona jak pocisk w jednym

*Wykład wygłoszony 12 maja 2005 r. na sympozjum „Albert Einstein – rok 1905” zorganizowanym przez Instytut Fizyki Teoretycznej UW.

¹ Podaję tu angielskie tłumaczenie wzięte z książki D. ter Haara [2]. Polski przekład całego artykułu Einsteina opublikowano w zbiorze [3]. W niniejszym artykule podaję własne tłumaczenia wszystkich cytowanych tekstów.

kierunku w sensie emisyjnej teorii Newtona? W pierwszym przypadku kwant nie byłby w stanie dostarczyć skoncentrowanej energii do pojedynczego punktu przestrzeni, tak by uwolnić elektron związany w atomie. W drugim zaś przypadku musielibyśmy poświęcić główny triumf teorii Maxwella – ciągle przejście między statycznymi i dynamicznymi polami, a wraz z tym pełne zrozumienie, które tak nas dotąd cieszyło, zbadanych w najdrobniejszych szczegółach zjawisk. Obie sytuacje unieszczęśliwiłyby dzisiejszych teoretyków).

Swoj wykład zakończył jednak Planck bardziej optymistycznie.

Be that as it may, in any case no doubt can arise that science will master the dilemma, serious as it is, and that which appears today so unsatisfactory will in fact eventually, seen from a higher vantage point, be distinguished by its special harmony and simplicity. Until this aim is achieved, the problem of the quantum of action will not cease to inspire research and fructify it, and the greater the difficulties which oppose its solution, the more significant it finally will show itself to be for the broadening and deepening of our whole knowledge in physics.

(Tak czy owak, nie ma wątpliwości, że nauka zdoła przezwyciężyć ten poważny dylemat, i to, co wydaje się dziś niezadowalające, będzie ostatecznie, oglądane z wyższego punktu widzenia, wyjątkowo proste i harmonijne. Zanim ten cel zostanie osiągnięty, problem kwantu działania nie przestanie inspirować i zapładniać badań. Im większe będą trudności hamujące rozwiązanie, tym bardziej znaczące ono będzie dla rozszerzenia i pogłębienia całej naszej wiedzy fizycznej).

Na marginesie chciałbym zwrócić uwagę na zabawne potknięcie tłumacza tego tekstu, którym był zapewne jakiś fizyk niezbyt biegły w sprawach historii fizyki. Otóż w mowie Plancka pojawia się wielokrotnie termin „Lichtquantum”, które ów nie poinformowany osobnik tłumaczy jako „photon”, nie bacząc na to, że termin ten pojawił się dopiero sześć lat później. Szkoda, że komitet noblowski nie skorzystał z opublikowanego już w 1921 r. tłumaczenia wykładu Plancka na angielski wykonanego przez polskiego fizyka Ludwika Silbersteina, o którym będzie jeszcze mowa w moim wykładzie.

Planck otrzymał Nagrodę Nobla dopiero w 1918 r. za odkrycie w roku 1900 kwantów energii², ale odbierał ją z dodatkowym opóźnieniem wywołanym perturbacjami po zakończeniu wojny. Pierwszy cytat z jego mowy świadczy doskonale o tym, z jakimi oporami przyjmowana była hipoteza Einsteina.

Nie ma lepszej ilustracji tezy Plancka, iż problem kwantu działania będzie inspirować badania, niż wytrwałe i wieloletnie doświadczenia Millikana nad zjawiskiem fotoelektrycznym. Millikana lepiej pamiętamy z jego pomiarów ładunku elementarnego, ale Nagrodę Nobla przyznano mu za oba osiągnięcia: „for his work on the elementary charge of electricity and on the photoelectric effect”. Jego wykład noblowski wygłoszony 23 maja 1924 r. miał tytuł „The electron and the light-quant (sic! – IBB) from the experimental point of view”. Zanim przejdę do części tego wykładu po-

święconej fotonom, nie mogę odmówić sobie przyjemności zacytowania bardzo celnej opinii Millikana na temat roli doświadczenia i teorii w fizyce. Poniższe dwa fragmenty wykładu noblowskiego dedykuję tym, którzy zeszli na manowce „czystej teorii”.

The fact that Science walks forward on two feet, namely theory and experiment, is nowhere better illustrated than in the two fields for slight contributions to which you have done me the great honor of awarding me the Nobel Prize in Physics for the year 1923.

(Fakt, iż Nauka idzie naprzód na dwóch nogach, którymi są teoria i doświadczenie, nie znajdzie nigdzie lepszej ilustracji niż w dwóch dziedzinach, za mój skromny wkład do których spotkał mnie wielki zaszczyt otrzymania Nagrody Nobla z fizyki za rok 1923).

Sometimes it is one foot which is put forward first, sometimes the other, but continuous progress is only made by the use of both – by theorizing and then testing, or by finding new relations in the process of experimenting and then bringing the theoretical foot up and pushing it on beyond, and so on in unending alternations.

(Czasami jedna noga robi najpierw krok do przodu, a czasami druga, ale stały postęp dokonuje się tylko przy użyciu obu – przez teoretyzowanie poddawane następnie sprawdzeniu, bądź przez znajdowanie nowych zależności przy eksperymentowaniu, czego następstwem jest ruch teoretycznej nogi do przodu, i tak na przemian, bez końca).

A oto fragment wykładu pokazujący, jak mozolnie rodziło się pełne doświadczalne potwierdzenie hipotezy Einsteina.

After ten years of testing and changing and learning and sometimes blundering, all efforts being directed from the first toward the accurate experimental measurement of the energies of emission of photoelectrons, now as a function of temperature, now of wavelength, now of material (contact e.m.f. relations), this work resulted, contrary to my own expectation, in the first direct experimental proof in 1914 of the exact validity, within narrow limits of experimental error, of the Einstein equation, and the first direct photoelectric determination of Planck's h .

(Po dziesięciu latach sprawdzania, zmieniania i uczenia się, a czasem i błędzenia, kierując od początku cały wysiłek na dokładny pomiar energii fotoelektronów, bądź to w funkcji temperatury lub długości fali, czy też w zależności od materiału (potencjały kontaktowe), praca ta zaowocowała w 1914 r., wbrew moim oczekiwaniom, pierwszym dokładnym eksperymentalnym dowodem, w ramach niewielkich błędów doświadczalnych, równania Einsteina oraz pierwszym bezpośrednim wyznaczeniem planckowskiego h na podstawie zjawiska fotoelektrycznego).

Wzór Einsteina wyszedł zwycięsko z konfrontacji z doświadczeniem, ale...

This work, like that on the electron, has had to run the gauntlet of severe criticism, for up to 1916 not only was discussion active as to whether there were any limiting velocity of emission, but other observers who had thought that a linear relation existed between energy and frequency had not found the invariable constant h appearing as the ratio. But at the present time it is not too much to say, that the altogether overwhelming proof furnished by the experiments of many different observers, working by different methods in many different laboratories, that Einstein's equation is one of exact validity (always within the present

² In recognition of the services he rendered to the advancement of Physics by his discovery of energy quanta.

small limits of experimental error) and of very general applicability, is perhaps the most conspicuous achievement of Experimental Physics during the past decade.

(Praca ta, podobnie jak ta o elektronie, musiała przejść przez „ścieżkę zdrowia”³ surowej krytyki, ponieważ aż do roku 1916 dyskusja toczyła się nie tylko nad tym, czy jest jakaś graniczna prędkość emisji, ale inni badacze, którzy sądzili, że istnieje liniowa zależność między energią i częstotliwością, nie znajdowali tej samej stałej h jako ilorazu tych wielkości. Obecnie jednak można bez przesady powiedzieć, że eksperymenty wykonane przez wielu badaczy, używających różnych metod w różnych laboratoriach, dostarczyły niepodważalnych dowodów na to, że równanie Einsteina obowiązuje dokładnie (oczywiście w ramach obecnych małych błędów doświadczalnych) i we wszystkich przypadkach, co jest być może najbardziej widocznym osiągnięciem Fizyki Doświadczalnej ostatniej dekady).

Wciąż jednak istniały wątpliwości co do rzeczywistości kwantów światła.

In view of all these methods and experiments the general validity of Einstein's equation is, I think, now universally conceded, and to that extent the reality of Einstein's light-quanta may be considered as experimentally established. But the conception of localized light-quanta out of which Einstein got his equation must still be regarded as far from being established.

(Myślę, że w wyniku wszystkich tych metod i eksperymentów słuszność równania Einsteina jest w ogólności uznawana i pod tym względem rzeczywistość einsteinowskich kwantów światła została doświadczalnie ustalona. Jednakże koncepcja zlokalizowanych kwantów światła, z której Einstein wywiódł swoje równanie, musi być ciągle uważana za wielce niepewną).

Dodatkowe potwierdzenie słuszności hipotezy kwantów światła pojawiło się w wyniku doświadczeń z bardziej energetycznymi kwantami promieniowania – kwantami promieni rentgenowskich.

Within the past year, however, a young American physicist, Arthur H. Compton of the University of Chicago, by using the conception of localized light-quanta, has brought forward another new phenomenon which at least shows the fecundity of the Einstein hypothesis. Compton goes a step farther than Einstein in that he assumes not only the existence of light-quanta but also that in the impact between a light-quant and a free electron the laws of conservation of energy and of conservation of momentum both hold. This assumption enables him to compute exactly how much the frequency of ether waves which have collided with free electrons will be lowered because of the energy which they have given up to the electron in the act of collision, and therefore the loss which their own $h\nu$ has experienced. He then finds experimentally that there is approximately the computed lowering in frequency when monochromatic X-rays from molybdenum are scattered by carbon.

(W czasie ostatniego roku młody amerykański fizyk, Arthur H. Compton z Uniwersytetu w Chicago, używając pojęcia zlokalizowanych kwantów energii, zwrócił jednak uwagę na inne zjawisko, które dowodzi płodności hipotezy

Einsteina. Compton idzie jeszcze krok dalej niż Einstein⁴, zakładając nie tylko samo istnienie kwantów światła, ale także to, iż w zderzeniu kwantu światła ze swobodnym elektronem obie zasady zachowania – energii i pędu – są spełnione. Założenie to pozwala mu dokładnie obliczyć, o ile częstość fali eteru, która zderzyła się ze swobodnym elektronem, zmniejszy się w wyniku straty energii w akcie zderzenia, prowadzącej do zmniejszenia wielkości $h\nu$ dla tej fali. Następnie potwierdza on doświadczalnie, że w rozpraszaniu na węglu monochromatycznych promieni X z molibdenu w przybliżeniu występuje obliczone obniżenie częstości).

Ciągle jeszcze brak jest logicznego powiązania korpuskularnego i falowego obrazu promieniowania.

It may be said then without hesitation that it is not merely the Einstein equation which is having extraordinary success at the moment, but the Einstein conception as well. But until it can account for the facts of interference and the other effects which have seemed thus far to be irreconcilable with it, we must withhold our full assent.

(Można więc powiedzieć bez wahania, że to nie jedynie równanie Einsteina odnosi obecnie nadzwyczajne sukcesy, ale także koncepcja Einsteina. Zanim jednakże koncepcja ta uzasadni występowanie interferencji i innych zjawisk niedających się dotąd z nią pogodzić, musimy powstrzymać się z jej pełną akceptacją).

A tak sam Compton opisywał swoje odkrycie [6]:

The present theory depends essentially upon the assumption that each electron which is effective in the scattering scatters a complete quantum. It involves also the hypothesis that the quanta of radiation are received from definite directions and are scattered in definite directions. The experimental support of the theory indicates very convincingly that a radiation quantum carries with it directed momentum as well as energy. Emphasis has been laid upon the fact that in its present form the quantum theory of scattering applies only to light elements. The reason for this restriction is that we have tacitly assumed that there are no forces of constraint acting upon the scattering electron.

(Przedstawiona teoria opiera się w istotny sposób na założeniu, że każdy elektron, który uczestniczy w rozpraszaniu, rozprasza całkowity kwant. Zawiera ona także hipotezę, że kwanty promieniowania są odbierane z określonych kierunków i rozpraszane w określonych kierunkach. Doświadczalne potwierdzenie tej teorii przekonująco wskazuje też, że kwant energii niesie nie tylko energię, ale także skierowany pęd. Podkreślamy fakt, że kwantowa teoria rozpraszania w jej obecnej postaci stosuje się tylko do lekkich pierwiastków. Powodem tego ograniczenia jest poczynione milczące założenie, iż nie ma żadnych sił więzów działających na elektron).

Minęło już prawie 20 lat od pierwszego artykułu Einsteina, ale nawet sam wielki Bohr ma wątpliwości. W artykule, który opublikował ze swoimi młodymi współautorami [7] znajdujemy takie oto zdanie.

Although the great heuristic value of this hypothesis is shown by the confirmation of Einstein's predictions con-

³ Przed wydarzeniami w Radomiu w 1976 r. nie istniał w języku polskim adekwatny odpowiednik terminu „to run the gauntlet”. Tak oto brutalność PRL-owskiej milicji zaowocowała wzbogaceniem języka.

⁴ W tym miejscu Millikan się mylił, gdyż o pędzie kwantów światła pisał już kilka lat wcześniej Einstein. W roku 1916 opublikował on artykuł [5], w którym położył podwaliny pod teorię lasera. W artykule tym czytamy m.in.: „Gdy promień światła powoduje, że cząsteczka, w którą uderza, pochłania lub wysyła energię promienistą $h\nu$ (proces indukowany), to zawsze towarzyszy temu przekazanie pędu $h\nu/c$ cząsteczce i to w taki sposób, że pęd jest przekazywany przy absorpcji w kierunku propagacji promienia, a przy emisji w kierunku przeciwnym”.

cerning the photoelectric phenomenon, still the theory of light quanta can obviously not be considered as a satisfactory solution of the problem of light propagation.

(Mimo iż potwierdzenie przewidywań Einsteina dotyczących zjawiska fotoelektrycznego wykazało wielką heurystyczną wartość tej hipotezy, w dalszym ciągu teoria kwantów światła nie może być oczywiście uznana za zadowalające rozwiązanie problemu rozchodzenia się światła).

Artykuł ten zasłynął z tego, że zawierał najbardziej nieudaną ideę Bohra. W celu pogodzenia obrazu korpuskularnego i falowego autorzy wysunęli hipotezę, iż zasady zachowania energii i pędu dla procesów z udziałem kwantów światła obowiązują tylko dla wartości średnich. Niedługo po tym jednak Walter Bothe i Hans Geiger⁵, obserwując koincydencje między emisją fotonu i odrzutem elektronu udowodnili, że zasady zachowania obowiązują w każdym akcie zderzenia fotonu z elektronem.

Minęło ponad dwadzieścia lat od ukazania się artykułu Einsteina, a nazwa „foton” jeszcze się nie pojawiła. Zaproponował ją dopiero Gilbert N. Lewis, profesor chemii fizycznej z Uniwersytetu w Berkeley. W liście do *Nature* [8] tak pisał:

Had there not seemed to be insuperable objections, one might have been tempted to adopt the hypothesis that we are dealing here with a new type of atom, an identifiable entity, uncreatable and indestructible, which acts as the carrier of radiant energy and, after absorption, persists as an essential constituent of the absorbing atom until it is later sent out again bearing a new amount of energy.

(Gdyby nie obiekcje, które wyglądają na nieprzewidywalne, można byłoby się pokusić o przyjęcie hipotezy, iż mamy tu do czynienia z nowym rodzajem atomu, identyfikowalnym obiektem, niestwarzalnym i niezniszczalnym, który odgrywa rolę nośnika energii promienistej i po pochłonięciu pozostaje istotnym składnikiem atomu aż do chwili, gdy zostaje znowu wysłany, unosząc nową porcję energii).

I dalej:

It would seem inappropriate to speak of one of these hypothetical entities as a particle of light, a corpuscle of light, a light quantum, or a light quant, if we are to assume that it spends only a minute fraction of its existence as a carrier of radiant energy, while the rest of the time it remains as an important structural element within the atom. It would also cause confusion to call it merely a quantum, for later it will be necessary to distinguish between the number of these entities present in an atom and the so-called quantum number. I therefore take the liberty of proposing for this hypothetical new atom, which is not light but plays an essential part in every process of radiation, the name photon.

(Byłoby niewłaściwe mówienie o tych hipotetycznych obiektach jako cząstkach światła czy też kwantach światła, skoro zakładamy, że spędzają one tylko drobny ułamek czasu swego istnienia jako nośniki energii promienistej, pozostając przez całą resztę czasu ważnymi strukturalnymi składnikami atomów. Nazwanie ich po prostu kwantami prowadziłoby także do nieporozumień, ponieważ chcielibyśmy później odróżnić ich liczbę w atomie od tak zwanych liczb kwantowych. Pozwalam sobie więc zaproponować dla tego hipotetycznego, nowego atomu, który nie jest świa-

łem, ale odgrywa istotną rolę w każdym procesie radiacyjnym, nazwę foton).

Rok później pojawiła się praca P.A.M. Diraca [9], w której wykazał on, jak na gruncie nowo powstałej mechaniki kwantowej można pogodzić obraz korpuskularny i falowy w opisie pola elektromagnetycznego. Niestety, wiedza o kwantowej teorii promieniowania elektromagnetycznego, której podstawy sformułował Dirac, a którą rozwinęli później liczni fizycy (Heisenberg, Pauli, Feynman, Schwinger i inni), nie „trafiła pod strzechy”. W uniwersyteckich podręcznikach fizyki poprzestaje się na stwierdzeniu, że foton jest cząstką kwantową, i umieszcza się go w tabelce cząstek elementarnych. Nawet w podstawowych podręcznikach mechaniki kwantowej nie ma kwantowego opisu fotonu. Chlubnym wyjątkiem jest ostatnie wydanie podręcznika Hallidaya, Resnicka i Walkera, w którym autorzy podjęli odważną próbę pogodzenia teorii korpuskularnej z teorią falową. Czytamy tam (cytuję za wydaniem polskim [10]):

Prawdopodobieństwo (przypadające na jednostkowy przedział czasu), że w pewnej małej objętości wokół danego punktu w fali świetlnej zostanie wykryty foton, jest proporcjonalne do kwadratu amplitudy wektora pola elektrycznego tej fali w danym punkcie. Uzyskaliśmy w ten sposób probabilistyczny opis fali świetlnej, a więc inny obraz światła. Jest to nie tylko fala elektromagnetyczna, ale także fala prawdopodobieństwa.

Oczywiście nie rozumiemy dotąd w pełni natury fotonu, tak jak nie rozumiemy całej mechaniki kwantowej, co nie oznacza jednak, że nie możemy precyzyjnie opisać fotonu jako cząstki kwantowej. To prawda, że foton, będąc cząstką o zerowej masie spoczynkowej, wymaga nieco bardziej subtelnego podejścia niż cząstki z masą. Nie istnieje w tym przypadku żadna nierelatywistyczna teoria z tradycyjnym równaniem Schrödingera. Mając to wszystko na względzie, należy uznać, że pochodzący sprzed pół wieku (dokładniej, z 12 grudnia 1951 r.) fragment listu Einsteina do przyjaciela, którym był Michele Angelo Besso, niewiele się zestarzał:

All the fifty years of conscious brooding have brought me no closer to the answer of the question: „What are light quanta?” Of course, today every rascal thinks he knows the answer, but he is deluding himself.

(Trwające pięćdziesiąt lat świadome rozmyślanie nie przybliżyły mnie do odpowiedzi na pytanie, czym są kwanty światła. Obecnie byle gałgan myśli, że zna odpowiedź, ale się łudzi).

2. Mechanika kwantowa fotonu

W przyrodzie występują dwa rodzaje fotonów: fotony prawoskrętne i fotony lewoskrętne. Oba rodzaje fotonów są różnymi cząstkami elementarnymi – obiektami opisanymi przez dwie różne nieprzywiedlne reprezentacje właściwej grupy Poincarégo. Oznacza to, że przesuając lub obracając bądź też popychając foton prawoskrętny do poruszającego się jednostajnie układu

⁵ Bothe otrzymał za te doświadczenia Nagrodę Nobla w 1954 r.

odniesienia nie możemy przeprowadzić go w foton lewoskrętny. Jest to więc sytuacja inna niż w przypadku obdarzonej spinem cząstki z masą, np. elektronu. Wówczas możemy przez obrót wokół osi x o kąt π przeprowadzić stan elektronu o rzucie spinu na oś z równym $\hbar/2$ w stan o rzucie spinu $-\hbar/2$.

Fotony są to cząstki kwantowe – obowiązują dla nich prawa mechaniki kwantowej. Oznacza to m.in., że stan (czysty) fotonu opisany jest funkcją falową. Dla funkcji falowych obowiązuje zasada superpozycji. Ponieważ mamy jednak do czynienia z dwiema różnymi reprezentacjami, nie ma sensu dodawanie do siebie funkcji falowych fotonów prawo- i lewoskrętnych, podobnie zresztą, jak nie ma sensu dodawanie do siebie bezpośrednio składowych a_x oraz a_y wektora. Jak zatem opisujemy stany fotonu o polaryzacji liniowej czy ogólniej – eliptycznej? Robimy to poprzez wprowadzenie funkcji „wypadkowej”, tak samo jak przy budowaniu wektora wypadkowego na płaszczyźnie:

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i}_x + a_y \mathbf{i}_y.$$

Ogólny stan pojedynczego fotonu ma zatem postać

$$|\psi\rangle = f_+(\mathbf{k})|R\rangle + f_-(\mathbf{k})|L\rangle.$$

Iloczyn skalarny w przestrzeni stanów oraz warunek unormowania funkcji falowej mają następującą postać:

$$\begin{aligned} \langle\phi|\psi\rangle &= \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3\omega} [g_+(\mathbf{k})f_+(\mathbf{k}) + g_-(\mathbf{k})f_-(\mathbf{k})], \\ \langle\psi|\psi\rangle &= \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3\omega} [|f_+(\mathbf{k})|^2 + |f_-(\mathbf{k})|^2] = 1. \end{aligned}$$

Pojawienie się częstości ω w mianowniku jest charakterystyczną cechą teorii relatywistycznej – iloraz d^3k/ω jest niezmiennikiem przekształceń Lorentza. Funkcje $f_{\pm}(\mathbf{k})$ mają oczywiście interpretację amplitud prawdopodobieństwa w przedstawieniu pędowym, co oznacza, że $|f_{\pm}(\mathbf{k})|^2/(2\pi)^3\omega$ jest gęstością prawdopodobieństwa znalezienia prawo- lub lewoskrętnego fotonu z pędem $\hbar\mathbf{k}$.

Dokładnie tak jak w mechanice kwantowej cząstek mających masę, wielkości fizyczne w mechanice kwantowej fotonów reprezentowane są przez operatory. Konstruujemy je według zasad mechaniki kwantowej obowiązujących w przedstawieniu pędowym. Operatory energii $\hat{E} = \hbar\omega = \hbar c|\mathbf{k}|$ oraz pędu $\hat{\mathbf{p}} = \hbar\mathbf{k}$ są po prostu operatorami mnożenia. Operator rzutu momentu pędu na kierunek z zawiera różniczkowania: $\hat{M}_z = -i\hbar(k_x\partial_{k_y} - k_y\partial_{k_x})$. Pozostaje nam teraz tylko znaleźć odpowiedź na pytanie, jaki jest związek funkcji falowych fotonu $f_{\pm}(\mathbf{k})$ z klasycznym polem elektromagnetycznym.

Odpowiedź najłatwiej jest sformułować, posługując się wektorem Riemanna–Silbersteina⁶ (RS) \mathbf{F} :

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}, t) = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{2}} [\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) + ic\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)].$$

Ten zespolony wektor zawiera dokładnie tyle samo informacji co dwa rzeczywiste wektory pola elektromagnetycznego \mathbf{E} oraz \mathbf{B} . Równania Maxwella zapisane jako równania na wektor RS mają postać

$$i\partial_t\mathbf{F} = c\nabla \times \mathbf{F}.$$

Po pomnożeniu przez \hbar równania te przyjmują postać równania Schrödingera

$$i\hbar\partial_t\mathbf{F} = c(\hat{\mathbf{p}} \cdot \hat{\mathbf{s}})\mathbf{F},$$

gdzie zastąpiliśmy różniczkowania ∇ operatorami pędu oraz wprowadziliśmy macierze spinu fotonu $\hat{\mathbf{s}}$ dla zapisania operacji rotacji:

$$\begin{aligned} s_x &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}, \\ s_y &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\ s_z &= \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Klasyczne pole składa się z ogromnej liczby fotonów w tym samym stanie kwantowym. Można je połączyć w jednoznaczny sposób z funkcją falową fotonu przy użyciu wektora RS. Związek ten najłatwiej przedstawić, używając rozkładu wektora RS na fale płaskie:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}(\mathbf{r}, t) &= \int d^3k \mathbf{e}(\mathbf{k}) \sqrt{\frac{\langle N \rangle \hbar \omega}{(2\pi)^3}} \\ &\times [f_+(\mathbf{k})e^{-i\omega t + i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}} + f_-(\mathbf{k})e^{i\omega t - i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}}], \end{aligned}$$

gdzie $\langle N \rangle$ oznacza średnią liczbę fotonów w fali. Zespolony wektor $\mathbf{e}(\mathbf{k})$ jest unormowanym do jedności rozwiązaniem równań

$$\mathbf{k} \times \mathbf{e}(\mathbf{k}) = -ik\mathbf{e}(\mathbf{k}).$$

Dlaczego w rozkładzie wektora $\mathbf{F}(\mathbf{r}, t)$ na fale płaskie naruszona jest naturalna symetria między f_+ oraz f_- ? Jest to tylko wynik przyjętej przez nas konwencji. Ponieważ wybraliśmy kombinację $\mathbf{E} + ic\mathbf{B}$ zamiast $\mathbf{E} - ic\mathbf{B}$, potraktowaliśmy inaczej fotony prawo- i lewoskrętne.

Z podanego przedstawienia $\mathbf{F}(\mathbf{r}, t)$ widać, że funkcje falowe fotonów tworzących wiązkę światła występują w roli amplitud rozkładu klasycznego pola elektromagnetycznego na fale płaskie. Związek między

⁶ Nazwę tę zaproponowałem kilka lat temu [11], ponieważ wektor ten pojawił się po raz pierwszy w wydanych pośmiertnie wykładach Riemanna [12], a wiele ciekawych własności tego wektora po raz pierwszy opisał polski fizyk Ludwik Silberstein [13].

prawdopodobieństwem wykrycia fotonu, opisywanym przez funkcje falowe f_+ oraz f_- , a klasycznym polem elektrycznym, czyli rzeczywistą częścią wektora RS, jest jednak dużo bardziej złożony, niż wynikałoby to ze sformułowania w podręczniku [10], gdyż stanu fotonu nie można opisać funkcją falową w przedstawieniu położeniowym mającą standardową interpretację probabilistyczną. Nie ma bowiem czterowymiarowego wektora mogącego pełnić funkcję gęstości prądu prawdopodobieństwa. Taka jest natura cząstek bezmasowych i musimy się z tym pogodzić. Doskonałą namiastką funkcji falowej w przedstawieniu położeniowym jest wektor RS. Moduł do kwadratu tej funkcji $\mathcal{E} = \mathbf{F}^* \cdot \mathbf{F}$ jest gęstością energii klasycznego pola. Wielkość ta nieźle określa prawdopodobieństwo znalezienia fotonu i oczywiście razem z wektorem Poyntinga $\mathcal{P} = -ic\mathbf{F}^* \times \mathbf{F}$ spełnia równanie ciągłości

$$\partial_t \mathcal{E} + \nabla \cdot \mathcal{P} = 0.$$

Przedstawiony zarys kwantowej teorii fotonów po pełnym rozwinięciu pozwala na precyzyjny opis obserwowanych zjawisk z udziałem fotonów. Oczywiście musimy wprowadzić kwantowe operatory pola elektromagnetycznego, ale ten fakt nie oznacza, że pojęcie funkcji falowej fotonu traci swój sens. Także po sformułowaniu teorii w języku operatorów kreacji i anihilacji fotonów musimy sprecyzować, jakimi fotonom operatory te odpowiadają, czyli w jakich stanach kwantowych fotony są kreowane i anihilowane. Stanom kwantowym odpowiadają ich funkcje falowe, spełniające wypisany wyżej odpowiednik równania Schrödingera dla fotonu.

Pokazaliśmy, że wektor RS odgrywa rolę funkcji falowej spełniającej odpowiednik równania Schrödingera. Kwantowy hamiltonian dla fotonu występujący w tym równaniu jest z dokładnością do współczynnika rzutem pędu na kierunek spinu. Oczywiście istnieją duże różnice między kwantowym opisem cząstek obdarzonych masą a opisem cząstek bez masy.



IWO BIAŁYŃICKI-BIRULA ukończył Technikum Mechaniczne w Rzeszowie w roku 1952. W wyniku zwycięstwa w I Olimpiadzie Fizycznej nie został objęty nakazem pracy na stanowisku technika ze specjalnością obróbka skrawaniem i mógł podjąć studia fizyczne na Uniwersytecie Warszawskim. W połowie IV roku studiów został zatrudniony w Instytucie Fizyki Teoretycznej UW. Studia zakończył w 1956 r. pracą magisterską napisaną pod kierunkiem Jerzego Plebańskiego. Po uzyskaniu doktoratu (1959, promotor: Leopold Infeld) wyjechał na dwuletni staż na Uniwersytecie Rochesterskim. Po powrocie z USA habilitował się (1962), a następnie został profesorem (1966). W roku 1980 wziął urlop z Uniwersytetu Warszawskiego i utworzył Zakład Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk, przekształcony później w Centrum Fizyki Teoretycznej, w którym dotąd pracuje. Poza Uniwersytetem Rochesterskim na długich wyjazdach naukowych przebywał na Uniwersytetach w Pittsburghu, Los Angeles, Tucson, Frankfurtu i Ulm. Jest laureatem nagród im. Marii Skłodowskiej-Curie, Alfreda Jurzykowskiego i Alexandra Humboldta, członkiem rzeczywistym PAN i członkiem PAU. Jest autorem ponad 150 prac naukowych (w tym 31 napisanych wspólnie z żoną Zofią). Tematyka prac obejmuje elektrodynamikę kwantową, optykę kwantową,

mechanikę kwantową, kwantową i klasyczną teorię pola, fizykę atomową, fizykę plazmy i fizykę statystyczną. Jest także współautorem 3 książek z fizyki teoretycznej, z których 2 zostały przetłumaczone na angielski: *Quantum Electrodynamics* (napisana z żoną) oraz *Theory of Quanta* (napisana z Markiem Cieplakiem i Jerzym Kamińskim). Jako hobby wykłada od kilku lat przedmiot „Modelowanie rzeczywistości” w Szkole Wyższej Psychologii Społecznej. Podręcznik do tego wykładu (napisany wraz z córką Iwoną) został wydany po polsku i po angielsku.

Nic w tym dziwnego, skoro znaczne różnice występują także w klasycznym opisie cząstek.

Literatura

- [1] A. Einstein, „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt”, *Annalen der Physik* **17**, 132 (1905).
- [2] D. ter Haar, *The Old Quantum Theory* (Pergamon, Oxford 1967).
- [3] *Albert Einstein: 5 prac, które zmieniły oblicze fizyki* (Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2005).
- [4] M. Planck, *Die Entstehung und bisherige Entwicklung der Quantentheorie* (Verlag J.A. Barth, Leipzig 1920).
- [5] Artykuł ten jest najbardziej znany z przedruku opublikowanego w następnym roku: A. Einstein, „Zur Quantentheorie der Strahlung”, *Phys. Zeit.* **18**, 121 (1917).
- [6] A.H. Compton, „A quantum theory of the scattering of X-rays by light elements”, *Phys. Rev.* **21**, 483 (1923).
- [7] N. Bohr, H.A. Kramers, J.C. Slater, „The quantum theory of radiation”, *Phil. Mag.* **47**, 785 (1924); *Zeit. Phys.* **24**, 69 (1924).
- [8] G.N. Lewis, „The conservation of photons”, *Nature* **118**, 784 (1926).
- [9] P.A.M. Dirac, „The quantum theory of the emission and absorption of radiation”, *Proc. Roy. Soc.* **114**, 243 (1927).
- [10] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, t. 5 (PWN, Warszawa 2003).
- [11] I. Białyński-Birula, „Photon wave function”, *Progress in Optics*, t. XXXVI, red. E. Wolf (Elsevier, Amsterdam 1996); www.cft.edu.pl/~birula.
- [12] H. Weber, *Die partiellen Differential-Gleichungen der mathematischen Physik nach Riemann's Vorlesungen* (Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig 1901), s. 348.
- [13] L. Silberstein, „Elektromagnetische Grundgleichungen in bivectorieller Behandlung”, *Annalen der Physik* **22**, 579 (1907); „Nachtrag zur Abhandlung über »Elektromagnetische Grundgleichungen in bivectorieller Behandlung«”, tamże **24**, 783 (1907).

Powstawanie i wczesny odbiór szczególnej teorii względności*

I. Zasada względności i elektrodynamika ciał w ruchu

Stanisław L. Bazański

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

Formulation and early reception of the special theory of relativity I. The relativity principle and electrodynamics of moving bodies

Abstract: In this essay, the first of the two Einstein's relativity papers of 1905 is discussed. In section 1 a concise overview is given of some circumstances that were a prelude to the paper, as well as of the scientific activity of Einstein's predecessors. It is argued that, contrary to the conclusions they had been forced to draw, the paper offered a completely new perspective of the world. The next three sections contain comments on the contents of the paper: on the relativity principle and its results related both to the new kinematics and electrodynamics. In the last section the author makes a comparison, in very general terms, of the 1905 Einstein theory with the contemporary theory of special relativity.

1. Powstawanie teorii względności

Jak dobrze wiadomo, w XX wieku szczególna teoria względności (STW) wraz z mechaniką kwantową zmieniły oblicze fizyki. Dzisiaj większość fizyków za początek STW przyjmuje pracę Alberta Einsteina „O elektrodynamice ciał w ruchu” [1]. W przeszłości jednak nie zawsze tak było i zdarzało się, iż niektórzy fizycy lub historycy nauki twierdzili, że praca ta jest wtórna lub jest wręcz plagiatem [2,3].

Einstein, podobnie jak każdy uczony, miał oczywiście poprzedników. Najważniejszym z nich był James Clerk Maxwell, który ok. 1872 r. uogólnił prawa elektryczności i magnetyzmu Gaussa, Ampère'a i Faradaya, traktowane poprzednio jako prawa w dużej mierze od siebie niezależne, wprowadzając do nich prąd przesunięcia. Dzięki temu uzyskał nową, wewnętrznie niesprzeczną i jednolitą teorię pól elektrycznego oraz magnetycznego i rozchodzenia się światła. Jego propagację opisywał za pomocą – wynikającego z nowej teorii – rozchodzenia się zmiennego pola elektromagnetycznego. Ważnym elementem nowej teorii był eter, hipotetyczny ośrodek wypełniający przestrzeń. Pojęcie to pojawiało się w rozważaniach fizyków począwszy od XVII w. Teoria Maxwella nadała mu

jednak szczególny status: bez eteru bowiem, zgodnie z jej interpretacją, nie mogłyby w ogóle istnieć pola elektryczne i magnetyczne, które interpretowano jako stany odkształceń i naprężeń eteru, teraz w dodatku traktowanego jak ośrodek doskonale sprężysty. Tak przynajmniej było na początku. W wyniku dalszego, XIX-wiecznego jeszcze rozwoju fizyki, spowodowanego badaniami wielu fizyków, lecz przede wszystkim lorda Kelvina, Heinricha Hertza i Hendrika Lorentza, pola elektryczne, magnetyczne oraz indukcji elektrycznej i magnetycznej zaczęto pojmować w mniej substancjalny, a bardziej fizyczny, pomiarowy sposób poprzez wpływ tych pól na otaczające je obiekty materialne. Eter sprowadzono więc coraz bardziej jedynie do roli spoczywającego „morza”, wypełniającego całą przestrzeń fizyczną i nierozzerwalnie z nią związanego. Innymi słowy, pojmowano go jako materializację przestrzeni absolutnej, według Newtona – bytu idealnego, niewykrywalnego zmysłami, a w tłumaczeniu na bardziej współczesny język – niewykrywalnego na drodze żadnych pomiarów mechanicznych. Równania Maxwella–Hertza, czyli równania różniczkowe elektrodynamiki w próżni, rozumiano jako równania napisane w układzie odniesienia sztywno związanym ze spoczywającym eterem.

*Wykład pod takim tytułem, wygłoszony przez profesorów Andrzeja Trautmana i Stanisława Bazańskiego 12 maja 2005 r. na sympozjum „Albert Einstein – rok 1905” zorganizowanym przez Instytut Fizyki Teoretycznej UW, składał się z dwóch części. W pierwszej z nich prof. Trautman opisał okoliczności powstania oraz główne wyniki pracy Einsteina, którą obecnie uważa się za początek teorii względności. Profesor Trautman nie podjął się jednak przedstawienia swego wykładu w formie pisemnej, prosząc autora artykułu, aby go w tym zastąpił i aby przy tym zaprezentował swój sposób odczytania tej pracy. Oryginalny wykład prof. Trautmana wraz z innymi wykładami z Sympozjum dostępny jest w archiwum internetowym Akademickiej Telewizji Naukowej: www.atvn.pl.

Maxwella, fizyka wnikliwie pojmującego mechanikę newtonowską, niepokoiła taka rola eteru, doskonale bowiem rozumiał, że różnica prędkości „fal eteru” względem ich „morza” i prędkości tych fal względem ciał poruszających się w morzu powinna być wykrywalna. Zaniepokojeniu temu dał wyraz kilka miesięcy przed swą przedwczesną śmiercią, pytając się listownie znanego astronoma Davida Todda, czy ówczesna dokładność pomiarów astronomicznych pozwoliłaby na wykrycie różnicy prędkości rozchodzenia się światła względem rozmaitych ciał niebieskich. Po śmierci Maxwella Todd wysłał ten list do publikacji w *Nature*.

Z listem zapoznał się m.in. Albert Michelson, wówczas początkujący fizyk amerykański. Zaprojektował nazwany później jego imieniem interferometr i wykonał w 1881 r. doświadczenie, z którego wynikało, że hipoteza spoczywającego eteru jest niepoprawna. Wśród ówczesnych teoretyków zawrzało. Lorentz w publikacji z 1886 r. znajduje błąd teoretyczny w pracy Michelsona, krytykuje dokładność jego pomiarów i prawidłowość przyjętej przez niego interpretacji. Michelson się nie poddaje. W roku 1887, ulepszając swe obliczenia, wraz z Edwardem Morleyem powtarza pomiary, które potwierdzają poprzednio uzyskany wynik, teraz ze znacznie lepszą, wręcz imponującą jak na owe czasy dokładnością. W roku 1892, poszukując wyjaśnienia, już przekonany Lorentz proponuje swą słynną hipotezę skrócenia. Jednocześnie z nim, ale niezależnie, taką samą hipotezę, tyle że w jakościowej postaci, wysuwa irlandzki fizyk George FitzGerald.

W roku 1895 Lorentz publikuje nową, bardzo obszerną pracę [4], w której zawiera myśli ważne dla dalszego rozwoju fizyki. Jej punktem wyjścia są równania Maxwella z siłą Lorentza, hipoteza eteru i hipoteza skrócenia Lorentza. Głównym rezultatem jest natomiast przybliżona współmienniczość tych równań względem transformacji współrzędnych i czasu, którą dziś można by określić jako transformację Lorentza, ale w przybliżeniu zawierającym tylko wyrazy rzędu v/c . Transformacja ta określona jest w [4] w sposób niejawni jako złożenie trzech transformacji. Ponadto w pracy tej zademonstrowano zastosowania jej głównego wyniku do optyki ciał w ruchu, w tym do doświadczenia Michelsona–Morleya.

Transformację Lorentza w jej ścisłej postaci, ale z dokładnością do czynnika skali, jako pierwszy znalazł Woldemar Voigt w 1887 r., rozwiązując zagadnienie znalezienia transformacji liniowej, która pozostawia niezmienniczym równanie falowe, a więc niezależnie od problematyki elektrodynamiki ciał w ruchu. W nurcie zaś tej problematyki, nie wiedząc nic o pracy Voigta, jako pierwszy ścisłą postać transformacji Lorentza podał w 1900 r. sir Joseph Larmor, który także wykazał, że hipoteza skrócenia jest konsekwencją transformacji Lorentza.

Praca [4] zapoczątkowała trwającą długie lata dyskusję między Lorentzem a Henri Poincaré. Nie czas tu i miejsce, by omawiać poszczególne etapy tej

dyskusji, mającej dziś tylko znaczenie historyczne. Aby jednak móc skonfrontować jej wyniki z wynikami Einsteina, trzeba przedstawić tu rekapitulację odnośnych prac.

Poincaré krytycznie odnosił się do lorentzowskiej hipotezy skrócenia. Wyrażał obawę, iż hipoteza ta, podobnie jak i inne tzw. efekty kompensacyjne, za każdym razem, np. w różnych rzędach metod przybliżeń, wymagać będzie innego *coup de pouce* (wsparcia z zewnątrz). W kolejnych latach, począwszy od pracy [5], Poincaré coraz bardziej uściślał swe prawo ruchu względem niego, uzyskując sformułowanie identyczne z einsteinowską zasadą względności ogłoszoną w [1]. Za obiema tymi zasadami kryły się jednak odmienne treści. Poincaré istnienie eteru przyjmował za coś realnego, niemal dotykającego palcami, był on mu bowiem potrzebny przy formułowaniu podstawowych praw fizyki. Z doświadczenia, jego zdaniem, wynikała jednak niemożność pomiarowego stwierdzenia istnienia eteru. Po to więc, żeby zapewnić niesprzeczność teorii, należało dla każdego zjawiska, które mogłoby doprowadzić do takiego stwierdzenia, znaleźć odpowiedni efekt kompensacyjny, zapobiegający wykryciu eteru. W przypadku doświadczenia Michelsona–Morleya takim efektem była hipoteza skrócenia Lorentza. Zasada względności Poincarégo – stwierdzająca współmienniczość praw fizyki (jak już wspomniano, znalezionych względem eteru) w każdym układzie odniesienia, który się względem eteru poruszał postępowym ruchem jednostajnym – miała być zatem podstawowym narzędziem wykrywania odpowiednich efektów kompensacyjnych. Poincarégo martwiła przy tym potencjalna mnogość takich *coups de pouce* i wyrażał nadzieję, że w przyszłości znajdzie się jedną zasadę, wyznaczającą wszystkie możliwe efekty kompensacyjne en bloc, a nie za pomocą oddzielnych hipotez. W roku 1904 uznał więc prawo ruchu względnego za jedną z podstawowych zasad fizyki, obok zasad zachowania energii i masy, drugiej zasady termodynamiki, zasady akcji i reakcji oraz zasady najmniejszego działania.

Po ogłoszeniu w 1904 r. pracy Lorentza [6] (trochę dokładniej omówionej w cz. II tego artykułu), w której znalazł on skończoną postać swej transformacji, ciągle jednak w niejawnej postaci, Poincaré zademonstrował, jak to prawo działa w rękach wytrawnego matematyka. W pracach [7], poświęconych w pełni elektromagnetycznemu ujęciu dynamiki elektronu w zgodzie z prawem ruchu względnego, ukazał doniosłość transformacji Lorentza, której jako pierwszy nadał to miano, przedstawiając ją jako transformację liniową czterech zmiennych (x, y, z, t) . Nową zmienną t' , podobnie jak Lorentz, nazywał czasem lokalnym, traktując go jako wielkość pomocniczą, gdyż wyznawał powszechną wtedy opinię, że jedynym prawdziwym czasem jest newtonowski czas absolutny. Wykazał następnie, że w próżni równania Maxwella są ściśle współmiennicze (w pracy [6] wskutek błędu wykazana została tylko ich przybliżona współmienniczość).

Udowodnił, iż transformacje Lorentza tworzą grupę i wyprowadził stąd relatywistyczne prawo składania prędkości, którego konsekwencją była niezmienniczość prędkości światła. W roku 1906 Poincaré był w większym stopniu niż Lorentz przekonany o elektromagnetycznym pochodzeniu masy elektronu, czego wyjaśnieniem miała być znaleziona zarówno przez niego, jak i przez Lorentza w [6] zależność masy elektronu od prędkości. Zwrócił uwagę, że stabilność elektronu zapewniona jest przez wprowadzone przez niego jako postulat ciśnienie, które podczas ruchu powoduje spłaszczenie elektronu, czym tłumaczył hipotezę skrócenia. Wydawać by się mogło, iż rzeczywiście otrzymał te same rezultaty co Einstein w [1]. Poincarégo jednak od pracy [1] dzieliła jeszcze cała epoka! Oto jego słowa na temat hipotezy skrócenia [9]:

Wystarczyłoby może wyrzec się tej definicji w wyniku całkowitego obalenia teorii Lorentza, podobnie jak to uczyniono z systemem Ptolemeusza. Gdyby nawet pewnego dnia miało się tak stać, nie oznaczałoby to wcale bezużyteczności wysiłku Lorentza, gdyż Ptolemeusz, cokolwiek byśmy o nim myśleli, nie był bezużyteczny dla Kopernika.

Wypowiedź ta charakteryzuje także relację, w jakiej prace Poincarégo pozostawały do pracy Einsteina. Praca [1] stanowiła bowiem przewrót w iście kopernikańskim stylu.

Co o powyżej opisanych pracach wiedział Einstein, gdy przystępował do pisania pracy [1]? Pytany, w początkowym okresie odpowiadał, iż o doświadczeniu Michelsona–Morleya usłyszał dopiero kilka lat później. Jest to co prawda w pewnej sprzeczności z jego stwierdzeniem, iż czytał pracę [4], w której jest mowa o tym doświadczeniu. Pewnie dlatego parę lat później, w 1922 r., w wykładzie wygłoszonym w Kioto [8] przyznał, że o doświadczeniu Michelsona–Morleya dowiedział się w latach studenckich, ale nigdy nie wiązał z nim roli podstawowej i to nie ono było punktem wyjścia pracy [1], lecz zjawiska optyczne pierwszego rzędu względem v/c . Historycy nauki są na ogół zgodni w opinii, że około roku 1905 Einstein nie miał pojęcia o istnieniu prac [6] i [7]. Opinię tę opierają na szczegółowej analizie porównawczej tych prac z pracą [1] oraz na okolicznościach, w jakich praca ta powstawała.

W tym artykule podam krótki przegląd pracy [1] i niektórych okoliczności jej powstania. W następnym, będącym drugą częścią tego wykładu, opiszę ostatnią pracę napisaną przez Einsteina w 1905 r. [10]. W pracy tej, stosując swoją zasadę względności, Einstein wykazał równoważność masy i energii, a więc nieoczekiwanie nowy wniosek, który w sposób zdecydowany wpłynął na rozwój fizyki w XX wieku.

2. Zasada względności

Taką właśnie nazwą posługiwał się Albert Einstein i jego zwolennicy, gdy mówili o nowej teorii

w pierwszych latach po opublikowaniu pracy [1]. Praca ta dotarła do redakcji *Annalen der Physik* 30 czerwca 1905 r., a ukazała się 26 września tego samego roku.

We wstępie, jako jej motywację, Einstein podaje konieczność usunięcia asymetrii, która pojawiała się w ówczesnych niemieckojęzycznych podręcznikach i wykładach prawa indukcji elektromagnetycznej, wywołanej, jak w zależności od sytuacji tłumaczono, bądź ruchem elektronów w spoczywającej względem eteru cewce, spowodowanym polem elektrycznym w jej otoczeniu, pochodzącym od poruszającego się magnesu, bądź siłą dynamiczną, z jaką pole magnetyczne spoczywającego w eterze magnesu działa na elektrony w cewce, wraz z tą cewką się poruszające.

Chociaż polskiego czytelnika, wychowanego na klasycznym, faradayowskim sformułowaniu tego prawa, może zadziwić tak skomplikowany jego opis, „uczeni w piśmie” XIX-wieczni inżynierowie niemieccy traktowali go jak najbardziej serio. Wskazana przez Einsteina asymetria ma jednak bardzo luźny związek z resztą pracy [1]. Krytyka ta, moim zdaniem, bardziej niż motywacją tej pracy jest reminiscencją sporów, jakie student Einstein, dobrze znający elektrodynamikę Maxwella na podstawie własnych lektur, toczył ze swym profesorem, którego wykłady kończyły się na teorii silników i generatorów elektrycznych oraz własności prądów przez nie wytwarzanych.

We wstępie do pracy [1] Einstein przyjmuje dwa podstawowe postulaty¹.

1) Zasadę względności, która stwierdza, że we wszystkich układach odniesienia, w których spełnione są równania mechaniki, spełnione też są prawa elektrodynamiki i optyki. Stąd więc wynikało, jego zdaniem, iż pojęcie absolutnego spoczynku jest pozabawione sensu fizycznego nie tylko w mechanice, lecz także w innych działach fizyki. Zasadę tę uważa za usprawiedliwioną nieudanymi próbami wykrycia ruchu Ziemi względem „ośrodka świetlnego”, opartymi na pomiarach wielkości fizycznych z dokładnością do pierwszego rzędu względem v/c .

2) Zasadę niezmienniczości prędkości rozchodzenia się światła w próżni, która stwierdza, iż światło rozchodzi się w próżni zawsze z tą samą prędkością c , niezależną od stanu ruchu emitujących je ciał.

Następnie Einstein zapowiada, że na podstawie tych dwóch pozornie wzajemnie sprzecznych postulatów pokaże, jak można zbudować prostą i niesprzeczną elektrodynamikę ciał w ruchu, przyjmując za punkt wyjścia teorię Maxwella dla ciał spoczywających. Uważa ponadto, że pojęcie eteru jako nośnika światła jest wobec rozwijanej przez niego teorii zupełnie zbędne, podobnie jak niepotrzebne stają się pojęcia zarówno absolutnej przestrzeni spoczywającej, wyposażonej w specyficzne własności, jak i wektora

¹ Dokładniejsza analiza tej pracy wskazuje jednak, iż naprawdę założone tam zostały trzy postulaty, gdyż milcząco Einstein przyjmował też odpowiednio zmodyfikowaną newtonowską zasadę bezwładności.

prędkości skojarzonego z punktem, w którym zachodzi rozważany w danym przypadku proces elektrodynamiczny.

Powyższe zapowiedzi wydają się oznaczać przewrót w ówczesnym pojmowaniu fizyki. Prawdziwym przewrotem okazała się jednak treść części I, noszącej tytuł części kinematycznej, która w istocie jest główną częścią pracy [1].

3. Część kinematyczna

Część ta zaczyna się od ustalenia trójwymiarowego układu inercjalnego², który w dalszej części pracy umownie nazywany będzie układem spoczynkowym. Einstein zakłada, że współrzędne punktu materialnego spoczywającego w takim układzie można wyznaczać za pomocą spoczywających, sztywnych prętów mierniczych³. Ruch zaś punktu materialnego definiuje on tradycyjnie, jako funkcję przyporządkowującą wartości współrzędnych punktu w układzie spoczynkowym kolejnym chwilom czasu. To ostatnie pojęcie, jego zdaniem, wymaga jednak analizy fizycznej.

Analizę tę rozpoczyna od stwierdzenia, iż bardziej podstawowym pojęciem niż pojęcie czasu jest pojęcie jednoczesności dwóch zdarzeń elementarnych, tzn. zachodzących w jednym punkcie w przestrzeni i trwających jedną tylko chwilę. Pomiar takich zdarzeń w lokalnym laboratorium sprowadza się do pomiaru w układzie spoczynkowym trzech współrzędnych punktu, w którym dane zdarzenie nastąpiło, i pomiaru czasu, polegającego na odczycie wskazań zegara spoczywającego w tym układzie, jednocześnie z zajściem danego zdarzenia. Co oznacza fraza „odczyt wskazań zegara jednocześnie z zajściem zdarzenia”, zdaniem Einsteina, nie stanowi problemu w przypadku, gdy obszar przestrzenny zajmowany przez laboratorium jest tak mały, że z dobrym przybliżeniem można go uznać za jeden punkt.

Potrzebę pogłębionej analizy widzi natomiast Einstein wtedy, gdy zegar spoczywa w pewnym punkcie A , a zdarzenie ma miejsce w odległym od A punkcie B w tym samym układzie spoczynkowym. Rozwiązania problemu upatruje on w określeniu, na podstawie wskazań zegara w A , takiego zegara lokalnego w każdym punkcie przestrzeni, który będzie spoczywał w tym samym co zegar w A układzie inercjalnym. Ponadto proponuje on, żeby w przyjętym układzie spoczynkowym zsynchronizować wskazania tych wszystkich zegarów za pomocą jedynej procedury fizycznej, jaka jest nam dostępna w przypadku zdarzeń odległych: za pomocą wysyłania i odbierania

sygnałów świetlnych z oraz do punktów spoczywających w tym samym układzie inercjalnym. Z definicji Einstein przyjmuje, że dwa zegary spoczywające w wybranym układzie inercjalnym w dwóch różnych punktach A i B będą zsynchronizowane wtedy i tylko wtedy, gdy kolejne odczyty wskazanych przez nie następujących czasów: czasu t_A wysłania sygnału świetlnego z punktu A , czasu t_B odebrania tego sygnału w punkcie B i czasu \tilde{t}_A odebrania w A sygnału natychmiast odbitego w B , spełniać będą związek

$$\tilde{t}_A - t_B = t_B - t_A \quad (1)$$

dla każdej wartości czasu t_A wskazanego przez zegar w A .

Zgodnie z tworzącą się w następnych latach tradycją, inercjalny układ współrzędnych, zaopatrzony w zegary spoczywające w każdym punkcie i zsynchronizowane w sensie definicji (1), nazwany został inercjalnym układem odniesienia.

Należy tu powiedzieć, że definicja synchronizacji podana w (1) jest w istocie niewystarczająca, żeby w sposób matematycznie niepodważalny uzyskać wyniki otrzymane – dzięki genialnej intuicji fizycznej Einsteina – w dalszym tekście kinematycznej części pracy [1]. W wykładach wygłoszonych w Kioto [8] Einstein przyznał, iż przez wiele lat borykał się z trudnościami sformułowania swych pomysłów w postaci nadającej się do publikacji. Rozwiązanie przyszło mu do głowy nagle, gdy opowiadał o swych trudnościach jednemu z przyjaciół⁴, który, jak się można domyślać, odegrał tylko rolę swoistego „katalizatora”, gdyż jego obecność zmuszała Einsteina do bardziej zbornego przedstawiania swych myśli. Einstein mówił w Kioto, że pomysłem tym była idea posłużenia się światłem w celu synchronizacji zegarów. Większość współczesnych historyków podkreśla, iż właśnie ta idea, obok odrzucenia hipotezy eteru, a także czasu absolutnego wyrażającego się w założeniu, że w każdym układzie inercjalnym trzeba wprowadzić panujący tylko w nim czas własny, stanowiły podstawowe elementy, które były istotą przewrotu dokonanego przez pracę [1] Einsteina.

Założenie o samodzielnym czasie w każdym z układów inercjalnych nie zostało przez Einsteina sformułowane w [1] w sposób jawny, ale całe jego postępowanie w części kinematycznej tej pracy świadczy, iż na podstawie obu zasad, 1 oraz 2, był on przekonany o słuszności tego założenia. Przed wyprowadzeniem transformacji Lorentza niezbyt jasno także mówił o związku, jaki powinien zachodzić między cza-

² Wbrew zwyczajowi, dającemu się zauważyć w krajach niemieckojęzycznych z końcem XIX w., Einstein jeszcze nie posługuje się tą nazwą i zastępuje ją zwrotem: „układ współrzędnych, w którym spełnione są równania mechaniki Newtona”.

³ Nową cechą charakterystyczną tej pracy, w porównaniu z ówczesnymi zwyczajami, jest dążenie jej autora, aby wartości wszystkich, najprostszych nawet, potrzebnych mu wielkości fizycznych wyznaczać za pomocą operacji dających się wykonać w rzeczywistości lub w jej abstrakcyjnym modelu opisanym doświadczeniem myślowym.

⁴ Był nim, jak domyślają się historycy nauki, Michele Besso, któremu Einstein podziękował pod koniec pracy [1].

sami w różnych układach. I właśnie to było elementem powodującym, że jego definicja synchronizacji pozostawała niepełna. Oczywiście w praktyce dawał sobie radę. W przeprowadzanych już bowiem w [1] rozumowaniach zwykł mówić, iż obserwatorzy inercjalni posługują się tymi samymi zegarami, cokolwiek miałyby to oznaczać, a odpowiednie współrzędne x, y, z oraz czasy t w obu układach winny spełniać równanie powierzchni fali kulistej

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2. \quad (2)$$

W części kinematycznej, stosując (2), Einstein wyprowadził transformację wiążącą ze sobą współrzędne i czasy tego samego zdarzenia punktowego opisywanego w dwóch inercjalnych układach odniesienia, które poruszają się względem siebie z prędkością v skierowaną w kierunku ich równoległych do siebie osi x :

$$\begin{aligned} t' &= (\gamma/c)[ct - (v/c)x], & y' &= y, \\ x' &= \gamma(-vt + x), & z' &= z, \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie $\gamma = (1 - (v/c)^2)^{-1/2}$. W rozumowaniu poprzedzającym wyprowadzenie tego wyniku są jeszcze ślady stosowania kinematyki newtonowskiej, a przyjęte tam metody matematyczne nie zawsze są wybrane optymalnie. Wzór (3) jest jednak dużo zgrabniejszy niż transformacja wyprowadzona w [6] przez Lorentza, który określił ją tam w postaci niejawnej. Natomiast w artykule przeglądowym [10] Einstein podał już dużo lepsze wyprowadzenie transformacji Lorentza. Wygłosił on tam również następujące zdanie.

Przyjmujemy, iż zegary można tak wyregulować, żeby prędkość propagacji każdego sygnału świetlnego w próżni – mierzona za pomocą tych zegarów – była wszędzie równa stałej uniwersalnej c przy założeniu, że układ współrzędnych nie porusza się ruchem przyspieszonym.

Ponieważ w 1907 r. Einstein nie uznawał już stałości prędkości światła za prawo przyrody, lecz za konsekwencję zasady względności i równań Maxwella, zdanie powyższe oznacza, iż właśnie jego treść zaczął on uznawać za zasadę służącą do wyznaczania jednostki czasu własnego w każdym układzie inercjalnym.

W części kinematycznej pracy [1], korzystając ze wzorów (3) podobnie jak się to czyni obecnie, Einstein dyskutuje pomiar długości pręta w ruchu jednostajnym. Zwraca przede wszystkim uwagę, iż istnieją dwa odmienne sposoby wykonania pomiaru długości takiego pręta. Pierwszy dotyczy układu odniesienia, w którym pręt spoczywa. Pomiar wykonuje się wtedy, jak zwykle, mierząc odległość między jego spoczywającymi końcami. Drugi zaś odnosi się do układu, względem którego pręt się porusza: należy wtedy zmierzyć odległość między takimi punktami spoczywającymi⁵, które jednocześnie były mijane odpowiednio przez początek i koniec pręta. Słowo jednocześnie

oznacza przy tym, że zegary, spoczywające w obu tych punktach w drugim z układów, są zsynchronizowane zgodnie z (1) i wskazują jednakowe czasy. Oznaczając przez ℓ_0 oraz ℓ tak określone długości odpowiednio w pierwszym i drugim z układów oraz korzystając ze wzorów (3), Einstein otrzymuje, że

$$\ell = \ell_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}. \quad (4)$$

Jest to wzór identyczny z założonym przez Lorentza wzorem na jego skrócenie. Istotną jednak różnicą jest fakt, iż Einstein wzór ten wyprowadził, przyjmując za punkt wyjścia swą procedurę pomiarową i istnienie ruchu względnego obu układów, a Lorentz go po prostu założył. Ponadto Lorentz i Poincaré twierdzili, że skrócenie to jest spowodowane przez zmiany strukturalne w ciele, spowodowane jego ruchem w eterze, a u Einsteina skrócenie to było konsekwencją nowej kinematyki i jej wpływu na pewne fakty geometryczne.

Następnie, jako nigdzie wcześniej niedyskutowane konsekwencje związków (3), Einstein przewiduje istnienie dwóch nowych zjawisk: zjawiska obecnie zwanego dylatacją czasu i zjawiska tradycyjnie nazywanego paradoksem zegarów lub paradoksem bliźniąt.

Pierwsze z tych zjawisk zachodzi w następującej sytuacji. Niech K i \tilde{K} będą dwoma układami inercjalnymi, a v – prędkością ich ruchu względnego. Niech ponadto zegar spoczywający względem \tilde{K} w punkcie A jest mijany przez identyczny, jak go nazywał Einstein, zegar spoczywający względem K , i niech oba zegary w chwili mijania wskazują liczbowo równe czasy, każdy względem swego własnego układu odniesienia. Wtedy okaże się, że jeżeli zegar w \tilde{K} mijając będzie jakikolwiek inny zegar spoczywający w K i po einsteinowsku zsynchronizowany z zegarem w A , to oba zegary wskażą różne czasy. Z relacji (1) i (3) wynika bowiem, iż zegar w \tilde{K} opóźnia się względem mijanych przez niego zegarów w K tak, jak gdyby jednostka wskazywanego czasu uległa rozszerzeniu w stosunku $(1 - (v/c)^2)^{-1/2}$.

Drugie odkryte przez Einsteina zjawisko przewiduje, że jeżeli jeden z dwóch zegarów – spoczywających w A i wskazujących jednakowe czasy – zostanie wprawiony w ruch przedziałami jednostajnym wzdłuż prostej łamanej (lub, w granicy, wzdłuż dowolnej krzywej), która po zatoczeniu pętli w układzie K powróci do A , to po powrocie zegar, który się poruszał, będzie się opóźniał w porównaniu z zegarem stale spoczywającym w A .

Powyższe dwa zjawiska spowodowały protest części ówczesnych fizyków, którzy twierdzili, że oba zegary można by wzajemnie zamienić rolami, co nową teorię pozbawia sensu, a zjawiska te czyni paradoksami. Zwolennicy teorii wskazywali zaś, iż są to zjawiska możliwe, gdyż z punktu widzenia pomiarów, jakie trzeba by wykonać, rola obu zegarów nie jest symetryczna. Dopiero

⁵ Nie było bowiem wtedy, zdaniem Einsteina, innego sposobu mierzenia odległości między obiektami innymi niż punkty spoczywające.

w drugiej połowie XX w., w przypadku bardzo prostych procesów fizycznych, zachodzenie tych zjawisk zostało potwierdzone doświadczalnie.

Na zakończenie części kinematycznej Einstein wprowadza, wychodząc z relacji (3), relatywistyczną regułę składania prędkości i formułuje kilka wynikających z niej wniosków. Najważniejszym z nich jest stwierdzenie, że prędkość, jaką można otrzymać w wyniku składania prędkości mniejszych od prędkości światła c , zawsze jest mniejsza niż c .

4. Część elektrodynamiczna

Część ta jest zaproponowanym przez Einsteina rozwiązaniem problemu elektrodynamiki ciał w ruchu. Rozpoczyna on ją od próby znalezienia reguły transformacyjnej, jaką należy zastosować do pól elektrycznego $\mathbf{E} = (E_x, E_y, E_z)$ i magnetycznego $\mathbf{H} = (H_x, H_y, H_z)$, tak żeby równania Maxwella w próżni w zmiennych (t, x, y, z) obowiązujących w inercjalnym układzie odniesienia K – po wykonaniu transformacji (3) do nowych zmiennych (t', x', y', z') w układzie K' i po odpowiadającym (3) przekształceniu pól \mathbf{E} oraz \mathbf{H} do poszukiwanych przez niego pól \mathbf{E}' oraz \mathbf{H}' – przeszły w równania, które mają dokładnie taką samą postać, jak równania Maxwella dla starych pól zapisane w starych zmiennych⁶. Po znalezieniu poszukiwanych reguł na transformacje składowych obu pól, które w [1] zostały napisane w jawnej postaci dla każdej ze składowych osobno, a które do celów tego artykułu zapiszę w symbolicznej postaci jako

$$\mathbf{E} \mapsto \mathbf{E}', \quad \mathbf{H} \mapsto \mathbf{H}', \quad (5)$$

Einstein zwraca uwagę, że prawo transformacyjne (5) wyraża każde z pól \mathbf{E}' oraz \mathbf{H}' za pomocą podanych przez niego wzorów poprzez oba pola \mathbf{E} oraz \mathbf{H} łącznie. Fakt ten, jego zdaniem, czyni bezprzedmiotowym zagadnienie lokalizacji źródła indukowanej SEM i tym samym usuwa dotychczasową asymetrię w wyjaśnianiu zjawiska indukcji elektromagnetycznej.

Korzystając z kolei ze znalezionych reguł transformacyjnych (5), Einstein podaje nowe wzory opisujące zjawiska Dopplera i aberracji światła, odkrywając przy tej okazji wcześniej nieznaną poprzeczną zjawisko Dopplera.

W następnym fragmencie części elektromagnetycznej Einstein, korzystając z wyników poprzednio uzyskanych w tej pracy, znajduje wzory określające, jak przy przejściu z układu K do K' transformuje się energia elektromagnetyczna wypromieniowana przez ciało w skończonym odstępie czasu, w przybliżeniu fali płaskiej. Otrzymane przez niego prawo transformacyjne tej energii ma postać analogiczną do dopplerowskiej zmiany częstości promieniowania, co jest godnym

uwagi potwierdzeniem jego hipotezy fotonu. Mimo że Einstein nie mógł faktu tego nie zauważyć, pozostawia go bez komentarza. Otrzymane tu prawo transformacyjne energii wykorzysta w swej następnej, przełomowej pracy [10]. Obecnie natomiast to prawo stosuje, by otrzymać nowe, relatywistyczne wyrażenie na ciśnienie, jakie wywiera elektromagnetyczna fala płaska, padając na zwierciadło płaskie o dużych rozmiarach.

Z kolei przechodzi do dyskusji własności transformacyjnych równań Maxwella w próżni w przypadku, gdy występują prądy konwekcyjne, tzn. gdy wektor gęstości prądu \mathbf{j} ma postać $\mathbf{j} = \rho \mathbf{u}$, gdzie ρ jest gęstością ładunku, a \mathbf{u} – prędkością, z jaką ładunek porusza się względem układu spoczynkowego K . Wnioskiem fizycznym, jaki Einstein wyciąga z tej dyskusji, jest niezmienniczość zasady zachowania ładunku względem transformacji Lorentza (3).

W dotychczas omówionych partiach części elektrodynamicznej, koncentrujących się na własnościach związanych z polami elektrycznym i magnetycznym, Einstein wykazał imponującą wręcz, wobec skromności stosowanych środków, biegłość obliczeniową. Stosując bardzo proste metody matematyczne, uzyskał w sposób bezbłędny, na 30 stronach pracy, wyniki, jakie we współczesnych dość pokaznych podręcznikach wymagają dość zaawansowanych metod rachunku tensorowego.

Historycy nauki bardziej natomiast krytycznie oceniają końcowy fragment części elektrodynamicznej, w którym Einstein zajmuje się równaniami ruchu, jak je nazywa, elektronu poruszającego się z niewielkim przyśpieszeniem. Prawdziwym przedmiotem tego fragmentu są równania ruchu punktowej cząstki naładowanej w danych z góry polach zewnętrznych, elektrycznym i magnetycznym, a ruch cząstki jest przy tym taki, że jej oddziaływanie z polem własnym, przez nią wypromieniowanym, jest zaniedbywalnie małe. Zamiarem Einsteina było wyprowadzenie tych równań, przyjmując za punkt wyjścia zasadę względności i posługując się wnioskami uzyskanymi dotychczas w pracy [1].

Większość historyków, głównie anglosaskich, uważa, iż zamiar ten się nie powiódł, gdyż równania otrzymane w [1] ewidentnie nie są tymi, które znamy ze współczesnych wykładów elektrodynamiki. Einstein musiał więc popełnić błąd! Do niedawna też tak uważałem i to głosiłem. Już po Sympozjum raz jeszcze dokładnie przeczytałem pracę [1] i nagle odkryłem, że żaden błąd nie został popełniony. Zanim jednak przedstawię wnioski, do jakich doszedłem, powinienem, choćby w skrócie, opisać, co w tym fragmencie pracy [1] zostało przez Einsteina zrobione.

Einstein wprowadza taki układ inercjalny K_0 , w którego początku, w danych polach \mathbf{E} oraz \mathbf{H} , poruszająca się ruchem przyśpieszonym cząstka nałado-

⁶ Einstein nie stosuje w swych obliczeniach zapisu wektorowego, który tu po to przyjąłem, aby uzyskać zwięzłość notacji, lecz każde z równań zapisuje w jawnej postaci, pisząc odpowiednie pochodne cząstkowe każdej ze składowych pól osobno.

wana chwilowo spoczywa. Jej równania ruchu mają więc w rozważanej chwili postać (nadal stosuję tu zapis wektorowy, podczas gdy w oryginale wszystkie równania są podane w jawnej postaci, dla każdej ze składowych oddzielnie)

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = e \mathbf{E}, \quad (6)$$

gdzie $\mathbf{r} = (x, y, z)$. Następnie przechodzi do układu inercyjnego K , w którego początku ta sama cząstka porusza się z prędkością v w kierunku wspólnej dla K_0 oraz K osi x . W związku z tym w równaniu (6) poddaje on transformacji (3) zmienne (t, x, y, z) , a na polach \mathbf{E} i \mathbf{H} wykonuje przekształcenie (5), sparametryzowane tą samą co (3) wartością prędkości v , równą prędkości rozważanej cząstki. Otrzymany przez niego wynik cytuję tu w oryginalnej postaci:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{e}{m\gamma^3} E_x, \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{e}{m\gamma} \left(E_y - \frac{v}{c} H_z \right), \\ \frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{e}{m\gamma} \left(E_z + \frac{v}{c} H_y \right). \end{array} \right. \quad (7)$$

W znanych mi pracach pisanych w tym okresie Einstein był bardzo oszczędny w słowach. Należało więc uważnie czytać każde przez niego napisane zdanie, ażeby dokładnie zrozumieć, jakie były jego intencje w każdym fragmencie pracy.

Podane powyżej wyrażenia na składowe przyspieszenia cząstki w układzie K Einstein wyróżnił etykietą (A), a dodatkowo jeszcze podkreślił je klamrą, co w sposób istotny odróżnia je od innych równań w pracy [1]. Oznacza to najpewniej, że uznawał je za istotny rezultat części elektrodynamicznej tej pracy. Był pewien, iż równania (7) są prawdziwe, gdyż wiedział, że jego wyjściowe równania ruchu w układzie K_0 są potwierdzone przez doświadczenie oraz był przekonany o słuszności zasady względności. (Można też pokazać, że równania (7) są prawdziwe, gdyż są konsekwencjami rozważanych we współczesnej elektrodynamice równań ruchu z siłą Lorentza).

Na podstawie dalszego ciągu tej pracy należy wnioskować, iż w chwili jej pisania Einstein był zdania, że równania (7) są wszystkim, co na podstawie zasady względności można powiedzieć o rozważanym zagadnieniu ruchu. Jednym natomiast z zagadnień istotnych dla fizyka jest postać wyrażenia na siłę, z jaką pola działają na cząstkę w dowolnym inercyjnym układzie odniesienia. Einstein sądził wtedy, iż problem ten może

rozstrzygnąć tylko doświadczenie przez pomiar współczynników zwanych masą podłużną m_L i masą poprzeczną m_T rozważanej cząstki⁷.

Einstein przekształca więc równania (7) do postaci

$$\begin{aligned} m\gamma^3 \frac{d^2 x}{dt^2} &= e E_x, \\ m\gamma^2 \frac{d^2 y}{dt^2} &= e\gamma \left(E_y - \frac{v}{c} H_z \right), \\ m\gamma^2 \frac{d^2 z}{dt^2} &= e\gamma \left(E_z + \frac{v}{c} H_y \right), \end{aligned} \quad (8)$$

i z pewnym wahaniem, którego nie odczytali anglosascy komentatorzy pracy [1], proponuje, by związki te przyjąć, być może prowizorycznie, za równania ruchu. Równania (8) bowiem tak dobrał, żeby, na podstawie (6), ich prawa strona była równa sile $e\mathbf{E}'$, z jaką pole działa na cząstkę w jej układzie spoczynkowym, a więc żeby strona ta była wielkością mierzalną. Miał jednak wątpliwości, czy jego wybór był prawidłowy i mówił, iż jeżeli z pewnym uproszczeniem prawą stronę równań przyjmie się za „siłę, z jaką pole działa na cząstkę” i podtrzyma się założenie: *masa* \times *przyspieszenie* = *siła* oraz założenie o mierzalności składowych przyspieszenia w układzie spoczynkowym cząstki, to na podstawie równań (8) można wyznaczyć przytoczone w [1] wartości współczynników m_L oraz m_T . Zaraz jednak dodaje, iż poprzez zmianę definicji siły i przyspieszenia można obu współczynnikom nadać inne wartości, co m.in. oznacza, że o wartościach masy decyduje doświadczenie i że nie musi ona wcale być wielkością o pochodzeniu czysto elektromagnetycznym.

Niedawno, ku memu zdumieniu, zauważyłem błąd w tłumaczeniach pracy [1] na język angielski, a także na inne języki, polegający na zmianie zwrotu „z pewnym uproszczeniem” na „po prostu”. Tym samym wypowiedź, za którą kryło się wahanie autora, została zamieniona na wypowiedź wyrażającą całkowitą jego pewność, z odrobiną nonszalancji. Tymczasem komentatorzy – wiedząc, że znaleziony przez Einsteina współczynnik m_T ma inną wartość niż znana obecnie – dopatrywali się błędu w postępowaniu przyjętym w pracy [1]. Sedno jednak sprawy, którego nie zauważono, polega na tym, że Einstein w eksploataowaniu zasady względności zatrzymał się w połowie drogi i końcowego rozwiązania poszukiwał, rozpatrując inne możliwości.

Max Planck po przeczytaniu pracy [1] natychmiast jednak pojął, o co chodzi. Po szczegółowym wypytaniu się Einsteina o rozmaite drobiazgi⁸ związane z pracą, Planck 23 marca 1906 r. przedstawia na posiedzeniu Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego wyniki

⁷ Jeżeli siła działająca na cząstkę zależy od wektora prędkości, to masy m_L oraz m_T występują w równaniach ruchu jako dwa różne współczynniki przy składowych przyspieszeniach odpowiednio w kierunkach stycznym i prostym do prędkości.

⁸ Niestety, zarówno list Plancka, jak i odpowiedź Einsteina zaginęły. Wiadomo o nich na podstawie innych źródeł (por. cz. II).

pracy, która jest kontynuacją znajdowania za pomocą einsteinowskiej zasady względności końcowej postaci równań ruchu dyskutowanych w [1].

W sprawozdaniu [12] z tego posiedzenia w sześciu zdaniach, bez przytaczania jakichkolwiek wzorów, opisuje postępowanie, które doprowadziło Einsteina od układu K_0 , i równań (6), do układu K i związków (7). W siódmym zaś zdaniu, bez wymieniania, kto tego dokonał (sic!), pisze, że wystarczy teraz wykonać dowolny obrót trójwymiarowy i przejść do jeszcze jednego układu, w którym prędkość cząstki \mathbf{v} ma składowe $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$, by w układzie tym otrzymać równania

$$m\gamma\ddot{\mathbf{r}} = e\mathbf{E} - \frac{e\mathbf{v}}{c^2}(\mathbf{v} \cdot \mathbf{E}) + \frac{e}{c}(\mathbf{v} \times \mathbf{H}), \quad (9)$$

gdzie kropkami Planck oznaczył różniczkowanie po czasie⁹.

Następnie Planck stwierdza, że słuszność równań (9) wynika także z ich współzmienniczości¹⁰ względem zmian inercjalnego układu odniesienia, polegających na przekształcaniu występujących w nich wielkości (z wyjątkiem takich wielkości, jak m , e oraz c) za pomocą transformacji (3) i (5), w których parametr v może przyjmować dowolne wartości z przedziału $(-c, c)$, a więc niekoniecznie musi być równy prędkości rozważanej cząstki. Tym samym Planck, jako pierwszy, potwierdził prawdziwość równań (9), posługując się innym aspektem zasady względności niż czynił to Einstein, wyprowadzając związki (7), które, podobnie jak (8), nie zachowują swej postaci przy transformacjach (3) i (5) dla dowolnych wartości parametru v , choć pozostają, oczywiście, zawsze relacjami matematycznie poprawnymi. Pomimo że polskim tłumaczeniem tytułu pracy [12] jest „Zasada względności i podstawowe równania mechaniki”, większość jej komentatorów zdaje się nie zauważać właśnie tego jej aspektu, zapewne znowu ze względu na szczupłość miejsca, jakie Planck przeznaczył na jego przedstawienie. Więcej natomiast uwagi poświęca się komentowaniu dalszej części pracy [12], gdzie na podstawie (9) została otrzymana nowa postać równań ruchu, która nie była już typu $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$, lecz $\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{F}$, i gdzie zostało pokazane, iż tę nową postać można wyprowadzić z zasady wariacyjnej podanej przez Plancka. Nie ma zwłaszcza racji autor książki [13], który na s. 329 stwierdza, że „błąd” Einsteina polegał głównie na tym, iż poszukując ogólnej postaci równań ruchu, definiował on siłę w postaci $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$, a nie w postaci $\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{F}$. Równania (9) są bowiem postaci $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$, a wynikają z nich, jak łatwo można sprawdzić, poprawne wartości m_L oraz m_T . Wyprowadzone przez Plancka równania typu $\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{F}$ mają jedynie wyższość formalną dzięki istnieniu dla nich zasady wariacyjnej. Żadna natomiast

z wielkości znajdujących się po obu stronach tego równania też nie zachowuje swej postaci przy przekształceniach Lorentza.

Kończąc pracę [1], Einstein podaje najpierw wyrażenie, które nazywa energią kinetyczną elektronu i które dla $v^2 \ll c^2$ równa się $mv^2/2$. Postać tego wyrażenia znajduje na podstawie związków (7), jako równą pracy wykonanej przez pole elektryczne, potrzebnej do tego, by cząstce naładowanej, która początkowo spoczywa w zewnętrznych polach elektrycznym i magnetycznym, nadać prędkość v . Następnie znajduje trzy zjawiska związane z ruchem cząstki naładowanej w zewnętrznych polach elektrycznym i magnetycznym. Zjawiska te są konsekwencjami równań (7) i mogłyby posłużyć do zaprojektowania doświadczalnych testów potwierdzających prawdziwość tych relacji.

5. Zakończenie

Praca będąca przedmiotem tego przeglądu jest w nauce zdarzeniem wyjątkowym. Mimo wszystkich jej walorów nie można jednak uważać, że zawierała sformułowanie szczególnej teorii względności, choć niektórzy tak mówią. Była na pewno istotnym, pierwszym krokiem, kładącym fundament pod tę teorię, ale za jej prawdziwych autorów, obok Einsteina, którego udział w procesie tworzenia STW nadal pozostał znaczny, należy uznać także liczne grono uczestników XX-wiecznej społeczności naukowej, a nawet przeciwników STW.

Parę słów powinno się jeszcze dodać o tych etapach powstawania i rozwoju STW, które są istotne w kontekście już omówionych aspektów pracy [1]. Nieoceniony wpływ na powstanie STW miały przede wszystkim prace [14] Hermanna Minkowskiego. W ich wyniku okazało się, że wiele pojęć, mających dotąd w fizyce sens niezależny od sposobu opisu, można określić jedynie po ustaleniu układu odniesienia. Pojęcia te utraciły, jak wyraził to Minkowski, niezależny dotąd byt. Sensu bardziej samoistnego nabrały natomiast pewne ich połączenia. Nie wchodząc w szczególności, ważnym przykładem takich połączeń jest pole elektromagnetyczne, które dopiero po ustaleniu inercjalnego układu odniesienia przejawia się poprzez dwa pola, elektryczne i magnetyczne. Ponadto w geometrii Minkowskiego takie trójwymiarowe wielkości jak \mathbf{p} oraz \mathbf{F} nie są wielkościami geometrycznymi i należy je zastąpić pewnymi wielkościami czterowymiarowymi, popularnie nazywanymi czteropędem \mathcal{P} i czterosiłą \mathcal{F} . Ponieważ również einsteinowska zasada względności nabrała charakteru geometrycznego, poprzednio omawiane równania $\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{F}$ zastąpiono nowymi: $\dot{\mathcal{P}} = \mathcal{F}$, gdzie kropką oznacza się teraz różniczkowanie wzglę-

⁹ Planck nie posługuje się przy tym zapisem wektorowym, lecz w sposób jawny pisze każdą składową wektorów oddzielnie. Zamiast (9), podaje tylko równanie na pierwszą składową \ddot{x} oraz pisze, że pozostałe równania uzyska się, przestawiając cyklicznie zmienne (x, y, z) .

¹⁰ Współzmiennicze są przy tym całe równania. Żadna natomiast z wielkości występujących po obu ich stronach, wzięta oddzielnie, przy takich przejściach nie zachowuje swej postaci.

dem nowego, niezmienniczego parametru, tzw. czasu własnego. I tak STW rozpoczęła przebudowę całej prawie fizyki klasycznej oraz wywarła znaczny wpływ na wiele dziedzin fizyki kwantowej.

Obecnie szczególną teorię względności uważa się za dyscyplinę zakończoną, czego nie można jeszcze powiedzieć o teorii ogólnej. W procesie tworzenia STW dla niektórych pojęć, które w pracy [1] przyjmowane były za intuicyjnie oczywiste, znaleziono bardziej precyzyjne definicje. Na przykład, Einstein w [1] posługiwał się niezdefiniowanym pojęciem „identycznych zegarów w różnych układach inercjalnych”. Tymczasem w 1969 r. w zorganizowanym przez PAN cyklu wykładów „Osiągnięcia nauki polskiej”, Andrzej Trautman, mówiąc o teorii względności, podał geometryczną, a więc niezależną od wyboru układu odniesienia definicję synchronizacji zegarów, będącą uogólnieniem synchronizacji Einsteina i doprecyzowaniem pojęcia „identycznych zegarów”. Zgodnie z tą definicją synchronizować można także zegary znajdujące się w różnych układach, a zegary zsynchronizowane po einsteinowsku to zegary, które są zsynchronizowane w sensie nowej definicji, a ponadto spoczywają w tym samym układzie inercjalnym. Większość podręczników podaje jeszcze starą definicję synchronizacji, a z definicją Trautmana Czytelnik może się zapoznać w książce [15], którą także polecam tym, którzy chcieliby skonfrontować dzisiejszy sposób mówienia o STW z językiem stosowanym w [1].

Literatura

- [1] A. Einstein, „Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, *Annalen der Physik* **17**, 891 (1905).
- [2] Sir E. Whittaker, *A history of the theories of ether and electricity*, t. 1: *The classical theories*, t. 2: *The modern theories* (Harper, New York 1960).
- [3] *Princip otноситel'nosti*, red. A.A. Tiapkin (Atomizdat, Moskwa 1973).
- [4] H.A. Lorentz, *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körper*

- (Brill, Lejda 1885); przedruk w: *Collected Papers*, t. 5 (Martinus Nijhoff, The Hague 1937).
- [5] H. Poincaré, „A propos de la théorie de M. Larmor”, *Eclairage électrique* **3**, 5, 289 (1895); **5**, 5, 385 (1895); przedruk w: *Oeuvres de H. Poincaré* (Gauthier-Villars, Paris 1934–53); *La science et l'hypothèse* (Flammarion, Paris 1902); „L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique”, *Bull. Sci. Math.* **28**, 302 (1904).
- [6] H.A. Lorentz, „Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity less than that of light”, *Proc. R. Acad. Amsterdam* **6**, 809 (1904); przedruk w: *Collected Papers*, t. 5 (Martinus Nijhoff, The Hague 1937).
- [7] H. Poincaré, „Sur la dynamique de l'électron”, *C. R. Acad. Sci.* **140**, 1504 (1905); „Sur la dynamique de l'électron”, *Rend. Circ. Math. Palermo* **21**, 129 (1906); przedruk obu prac w: *Oeuvres de H. Poincaré* (Gauthier-Villars, Paris 1934–53).
- [8] Y.A. Ono, „Einstein's speech at Kyoto University, December 14, 1922”, *NTM Schr. Geschichte Natur. Tech. Medizin* **20**, 25 (1983).
- [9] H.M. Schwartz, „Poincaré's Rediconti paper on relativity. Part I”, *Am. J. Phys.* **39**, 1287 (1971).
- [10] A. Einstein, „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?”, *Annalen der Physik* **18**, 639 (1905).
- [11] A. Einstein, „Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogene Folgerungen”, *Jahrb. Radioakt.* **4**, 411 (1907).
- [12] M. Planck, „Das Prinzip der Relativität und die Grundgleichungen der Mechanik”, *Verh. d. Phys. Ges.* **4**, 136 (1906).
- [13] A.I. Miller, *Albert Einstein's Special Theory of Relativity: Emergence (1905) and Early Interpretation (1905–1911)* (Addison-Wesley, Reading, MA 1981).
- [14] H. Minkowski, „Das Relativitätsprinzip”, wykład wygłoszony 15 listopada 1907 r. podczas sem. Tow. Mat. w Getyndze, *Annalen der Physik* **47**, 927 (1915); „Die Grundgleichungen für die elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Körpern”, *Gött. Nachr.*, 53 (1908); „Raum und Zeit”, odczyt na forum 80. Zjazdu Tow. Przyr. i Lek. Niem. dn. 21 września 1908 r. w Kolonii, *Phys. Z.* **20**, 104 (1909).
- [15] W. Kopczyński, A. Trautman, *Czasoprzestrzeń i gravitacja*, wyd. II (PWN, Warszawa 1984).

Prof. STANISŁAW BAŻAŃSKI w latach 1953–2000 był w pełnym wymiarze zatrudniony w Uniwersytecie Warszawskim, a po przejściu na emeryturę w roku 2000 pracuje w UW na kontrakcie i nadal wykłada. Jest specjalistą w dziedzinie fizyki teoretycznej. Prowadzi badania nad różnymi zagadnieniami ogólnej teorii względności i fizyki matematycznej. Poza fizyką jego pasjami są historia i filozofia nauki oraz rozmaite działy historii powszechnej.



Powstawanie i wczesny odbiór szczególnej teorii względności*

II. Równoważność masy i energii

Stanisław L. Bazański

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

Formulation and early reception of the special theory of relativity II. The equivalence of mass and energy

Abstract: This essay is based on a lecture delivered by the author to the Albert Einstein Symposium, held at the Department of Physics of the Warsaw University on May 12, 2005. After some introductory remarks, in section 1, an overview of the second Einstein's relativity paper of 1905 is presented. In section 2 the author carries out an analysis (along the lines worked out by Stachel and Torretti) of some critical remarks about the paper which appeared in the literature. In section 3 the early reception of the Einstein 1905 relativity papers both in German-speaking countries and at the Jagiellonian University in Cracow is also touched upon, and in section 4 a list of documented contacts of Polish scientists with Einstein is presented.

1. Pierwsza praca o równoważności masy i energii

Wkrótce po wysłaniu do publikacji swej pierwszej pracy [1] na temat nowej zasady względności Einstein spostrzegł, że uwadze jego umknęło istnienie niezwykle istotnej, wcześniej w ogóle nieznannej konsekwencji tej zasady. W ciągu zaledwie kilku tygodni napisał nową, piątą już w owym roku pracę [2] o tytule (w polskim tłumaczeniu) „Czy bezwładność ciała zależy od wielkości energii w nim zawartej?”. Do redakcji *Annalen der Physik* nadeszła ona 27 września 1905 r., a została opublikowana 21 listopada tegoż roku.

Uważnego czytelnika poprzedniej publikacji [1] już na samym początku lektury pracy [2] czeka niespodzianka, gdyż Einstein stwierdza tu, iż jego poprzednie badania oparte były na dwóch podstawach: po pierwsze, na równaniach Maxwella–Hertza w pustej przestrzeni wraz z maxwellowskim wyrażeniem na gęstość energii w takiej przestrzeni, i po drugie, na relatywistycznej zasadzie względności. Gdzie jest więc zasada niezmienniczości prędkości światła, stosowana przecież w pracy czerwcowej i, wydawałoby się, tak silnie tam podkreślana? Otóż w przypisie Einstein wyjaśnia, iż zasada ta jest konsekwencją obu fundamentalnych zasad wymienionych w tekście i, co jest już naszym domysłem, jego ówczesnego przekonania, że to właśnie równania Maxwella dostarczają poprawnego opisu rozchodzenia się światła w próżni.

Liczba założeń fizycznych, z których korzysta się w tej przełomowej dla rozwoju fizyki pracy, jest bardzo skromna. Oto lista wyników uzyskanych w pracy czerwcowej, które zostały wykorzystane we wrześniu.

1) Einsteińska zasada względności.

2) Prawo transformacyjne, jak Einstein pisał wtedy, straty energii przez źródło promieniowania, które wysłało ciąg elektromagnetycznych fal płaskich:

$$\tilde{L} = L \frac{1 - (v/c) \cos \varphi}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad (1)$$

gdzie L oraz \tilde{L} są wartościami energii wyniesionymi przez ciąg fal w kierunku tworzącym kąt φ z osią x , mierzonymi odpowiednio względem inercjalnych układów współrzędnych: wyjściowego \mathcal{K} oraz układu $\tilde{\mathcal{K}}$ poruszającego się względem \mathcal{K} ze stałą prędkością v o składowych $(v, 0, 0)$.

Ponadto jedynymi wynikami fizyki newtonowskiej i jej relacji z nową zasadą względności, z jakich korzysta się w omawianej pracy, są: a) ogólna zasada zachowania energii, b) zasada korespondencji z mechaniką newtonowską, c) newtonowskie wyrażenie $\frac{1}{2}mv^2$ na energię kinetyczną.

Historycznie pierwsze, nigdzie przez Einsteina później niepowtarzane wyprowadzenie głównego wyniku pracy autor rozpoczyna od rozważenia następującego doświadczenia myślowego. Weźmy pod uwagę ciało A, o bliżej nieokreślonej strukturze, mające

*Wykład wygłoszony 12 maja 2005 r. na sympozjum „Albert Einstein – rok 1905” zorganizowanym przez Instytut Fizyki Teoretycznej UW.

kształt prostopadłościanu. Niech ciało to przez cały czas spoczywa względem trójwymiarowego inercjalnego układu \mathcal{K} współrzędnych $\{x, y, z\}$. Niech ponadto przez cały czas inny układ współrzędnych $\{\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}\}$, nazwijmy go $\tilde{\mathcal{K}}$, porusza się ruchem postępowym i jednostajnym z prędkością \mathbf{v} o składowych $(v, 0, 0)$ względem układu \mathcal{K} , co oznacza, że ciało A porusza się względem $\tilde{\mathcal{K}}$ z prędkością $-\mathbf{v}$. Załóżmy następnie, że przed ustaloną chwilą t_0 z ciałem A nic się nie dzieje i że w każdej chwili $t < t_0$ jego energia całkowita względem układu \mathcal{K} jest równa E_0 , a względem $\tilde{\mathcal{K}}$ – równa \tilde{E}_0 . Niech z kolei w chwili t_0 dwie przeciwległe, równoległe do siebie ścianki ciała zaczynają emitować promieniowanie elektromagnetyczne w dwu wzajemnie przeciwnych kierunkach, prostopadle do obu tych ścianek. Na etapie rozważań ogólnych przyczyna bądź mechanizm odpowiedzialne za to promieniowanie nie grają żadnej roli¹. Następnie Einstein zakłada, że promieniowanie ustaje w chwili $t_1 > t_0$, przy czym energia całkowita wyniesiona przez promieniowanie z ciała w skończonym przedziale czasu $[t_0, t_1]$ w układzie \mathcal{K} wynosi L , gdyż przyjmuje, że energia wyniesiona poprzez każdą z obu emitujących ścianek w układzie \mathcal{K} równa się $\frac{1}{2}L$. Aby obliczyć wypromieniowaną energię całkowitą \tilde{L} w układzie $\tilde{\mathcal{K}}$, Einstein korzysta ze wzoru (1) i otrzymuje

$$\begin{aligned} \tilde{L} &= \frac{1}{2}L \frac{1 + (v/c) \cos \varphi}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} + \frac{1}{2}L \frac{1 - (v/c) \cos \varphi}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \\ &= \frac{L}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \end{aligned}$$

Z założonego scenariusza wynika, iż w trakcie promieniowania ciało nie doznaje odrzutu względem \mathcal{K} i dla $t > t_1$ nadal będzie w tym układzie spoczywać, przy czym jego energia w układzie \mathcal{K} równa będzie E_1 , a w układzie $\tilde{\mathcal{K}}$ – równa \tilde{E}_1 . Na podstawie dalszego rozumowania Einsteina można się jedynie domyślić, że za wielkości znane w tym doświadczeniu uważa on E_0 , L , v oraz c .

Oto i całe doświadczenie. Z kolei Einstein przechodzi do jego analizy, która polega na sporządzeniu bilansu energii całkowitej zgodnego z klasyczną zasadą zachowania energii. Jego zasada względności wymaga, żeby bilans taki spełniony był zarówno w układzie \mathcal{K} , jak i $\tilde{\mathcal{K}}$.

Einstein pisze więc równania bilansu energii w układzie \mathcal{K} :

$$E_0 - E_1 = L, \quad (2)$$

i w układzie $\tilde{\mathcal{K}}$:

$$\tilde{E}_0 - \tilde{E}_1 = \frac{L}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad (3)$$

¹ W podsumowaniu pracy Einstein wysuwa hipotezę, że opisany przez niego model mógłby opisywać zjawisko rozpadu promieniotwórczego. Obecnie wiemy, iż jego prorocza w zasadzie intuicja, wobec prostoty opisanego tu doświadczenia myślowego, trafna była tylko częściowo, gdyż promieniowanie elektromagnetyczne związane jest z zaledwie jednym z występujących trzech rodzajów produktów rozpadu. Istnieje wiele bardziej prozaicznych mechanizmów, które Czytelnik mógłby przyjąć za przyczynę opisanego tu promieniowania.

a odejmując stronami równanie (2) od (3), otrzymuje, że

$$(\tilde{E}_0 - E_0) - (\tilde{E}_1 - E_1) = L \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right). \quad (4)$$

Ponieważ nie można przewidzieć, jak transformuje się energia ciała o nieznannej strukturze, przyjmuje, że

$$\begin{aligned} \tilde{E}_0 - E_0 &= K_0 + C, \\ \tilde{E}_1 - E_1 &= K_1 + C, \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie K_i , dla $i = 0, 1$, są wartościami funkcji K czasu i prędkości względem układu odniesienia \mathcal{K} , takimi że $K(t_i, 0) = 0$, $K(t_i, v) = K_i$, a stała C jest równa ewentualnie nieznikającej różnicy pomiędzy stałymi cechowania energii w układach \mathcal{K} i $\tilde{\mathcal{K}}$. W tekście pracy, bez jakichkolwiek komentarzy, funkcja K nazywana jest energią kinetyczną rozważanego ciała. W następnym kroku Einstein podstawia równania (5) do (4) i dochodzi do równania

$$K_0 - K_1 = L \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right). \quad (6)$$

Powyższy związek uzupełnia dwuzdaniowym komentarzem, który cytuję w możliwie wiernym tłumaczeniu.

Energia kinetyczna ciała w układzie $\{\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}\}$ ulega zmniejszeniu wskutek wysyłania światła, i to o wielkość niezależną od cech jakościowych tego ciała. Ponadto różnica $K_0 - K_1$ zależy od prędkości dokładnie tak samo, jak energia kinetyczna elektronu ([1], §10).

Rozwijając wreszcie prawą stronę równania (6) w szereg względem potęg $(v/c)^2$ i pozostawiając tylko pierwszy wyraz tego rozwinięcia, Einstein otrzymuje ostatnie, wyróżnione z tekstu równanie tej pracy

$$K_0 - K_1 = \frac{1}{2}L(v/c)^2. \quad (7)$$

Po napisaniu powyższej równości następuje krótkie podsumowanie, którego tłumaczenie podaję poniżej.

Gdy ciało oddaje energię L w postaci promieniowania, jego masa zmniejsza się o L/c^2 . Ponieważ nie jest przy tym oczywiście istotne, że odbierana ciału energia przechodzi właśnie w energię promieniowania, doprowadza to nas do ogólniejszego wniosku:

masa ciała jest miarą zawartej w nim energii; gdy energia zmienia się o L , masa zmienia się o $L/(9 \cdot 10^{20})$, przy czym energię mierzy się w ergach, a masę w gramach.

Nie jest wykluczone, że w przypadku ciał, których zawartość energii znacznie się zmienia (np. dla soli radu), teorię tę uda się potwierdzić.

Jeśli przedstawiona tu teoria jest zgodna z rzeczywistością, to promieniowanie przenosi bezwładność z emitujących je ciał do tych, które je absorbują.

I tym stwierdzeniem kończy się ta tak niezwykle lakonicznym językiem napisana praca. We współczesnych wykładach teorii względności już się nie powtarza tego oryginalnego i fizycznie pięknego rozumowania Einsteina. Teraz bowiem uzbrojeni w potężne narzędzie formalne, geometrię Minkowskiego, potrafimy w mechanice relatywistycznej, jakby mimochodem, uzyskać nieco nawet mocniejszy wynik. W mechanice newtonowskiej energia mechaniczna, jako całka równań ruchu, wyznaczona jest z dokładnością do nieokreślonej stałej. Sens fizyczny mają więc tam tylko różnice energii. W mechanice relatywistycznej energia też jest całką równań ruchu, ale aparat formalny geometrii Minkowskiego pozwala jednoznacznie wyznaczyć pojawiającą się tu stałą całkowania jako równą mc^2 , gdzie m jest masą spoczynkową poruszającego się ciała. Pod tym więc względem zasada względności spełnia w stosunku do skali energii podobną funkcję, jak druga zasada termodynamiki w stosunku do skali temperatury.

2. Dalsze dzieje tej pracy

Ponieważ zarówno sam Einstein, jak i inni podawali później inne dowody na związek masy z energią, opisane np. w [3], wynik uzyskany w [2] został powszechnie uznany, a w miarę dalszego rozwoju różnych działów fizyki był coraz bardziej doceniany. Z powodu jednak swej zwięzłości praca Einsteina dla wielu okazała się niezrozumiała. Zaczęto więc głosić opinię, że wynik otrzymany w pracy [2] został tam udowodniony tylko w przybliżeniu drugiego rzędu względem v/c , w odróżnieniu od niektórych dowodów podanych później. Co więcej, głoszony też był niekiedy pogląd, że praca [2] oparta jest na poważnym błędzie logicznym (patrz [4], a także [3], s. 377), gdyż przyjęcie przez Einsteina równań (5) jest jakoby automatycznie założeniem, że promieniowanie zachodzi kosztem zmiany masy, a nie np. energii wewnętrznej².

W roku 1982 John Stachel i Roberto Torretti opublikowali wnikliwą analizę [5], z której wynika, że jeżeli uważnie czyta się każde słowo Einsteina w pracy [2], to okazuje się, iż jest ona jak najbardziej poprawna. Analiza ta jest tak pouczająca i prosta, że nie mogą się oprzeć chęci przedstawienia tu trochę, moim zdaniem, ulepszonej jej wersji.

W celu ułatwienia analizy Stachel i Torretti zakładają, że energie: początkowa \tilde{E}_0 i końcowa \tilde{E}_1 ciała, które porusza się ruchem postępowym z prędkością \mathbf{v} względem jakiegoś układu inercyjnego \mathcal{K} , są wartościami funkcji wielu zmiennych $\tilde{E}_i = E(v, S_i)$ ($i = 0, 1$), gdzie v jest zmienną kolektywną zastępującą zespół składowych wektora prędkości, a S_i ($i = 0, 1$)

są wartościami przyjmowanymi przez zmienną kolektywną S opisującą stan wewnętrzny ciała za pomocą ciągu zmiennych (s_1, s_2, \dots, s_n) , którego elementy s_i ($i = 1, 2, \dots, n$) są parametrami wewnętrznymi określającymi strukturę ciała³ odpowiednio w stanie początkowym, opisywanym przez S_0 , i końcowym – przez S_1 . Zgodnie z zasadą względności, parametry s_i są niezależne od \mathbf{v} .

Funkcja $K(v, S) = E(v, S) - E(0, S)$ jest energią kinetyczną ciała, którego struktura opisana jest przez S i które porusza się względem \mathcal{K} ruchem postępowym z prędkością \mathbf{v} , przy czym $K(0, S)$ znika tożsamościowo dla każdej wartości S . Zdanie to oczywiście nie jest założeniem, lecz definicją. Z definicji bowiem energia kinetyczna równa jest pracy potrzebnej do nadania ciału spoczywającemu prędkości v , a w przypadku, gdy nie ma wymiany ciepła, praca ta jest równa różnicy energii $E(v, S) - E(0, S)$. Te właśnie fakty miał Einstein na myśli, nazywając w [2] wielkości K_i ($i = 0, 1$), które wystąpiły w (5), wartościami przyjmowanymi przez energię kinetyczną. W doświadczeniu myślowym rozważanym w pracy [2] ciało porusza się względem układu $\tilde{\mathcal{K}}$ jednostajnym ruchem postępowym z prędkością równą $-\mathbf{v}$. Oznacza to, że wielkości występujące w opisie tego doświadczenia w [2] można wyrazić jako wartości wprowadzonych w [5] funkcji E i K :

$$\begin{aligned} E_0 &= E(0, S_0), & \tilde{E}_0 &= E(-v, S_0), & K_0 &= K(-v, S_0), \\ E_1 &= E(0, S_1), & \tilde{E}_1 &= E(-v, S_1), & K_1 &= K(-v, S_1), \end{aligned} \quad (8)$$

a równanie (6) przyjmuje wtedy postać

$$K(-v, S_0) - K(-v, S_1) = L \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right). \quad (9)$$

W sytuacji ogólnej, gdy struktura ciała jest nieznaną, nie można niczego powiedzieć o postaci funkcji $K(v, S)$. Równanie (9) pozwala jednak stwierdzić, że różnicę dwóch wartości funkcji K dla tej samej wartości v i dwóch różnych stanów S_0 oraz S_1 można przedstawić jako iloczyn pewnej nieokreślonej funkcji $L = L(S_0, S_1)$ i ściśle określonej funkcji modułu \mathbf{v} , dokładnie równej, jak to Einstein zauważył w drugim zdaniu swej pierwszej z cytowanych tu wypowiedzi, tej funkcji zmiennej v , która wystąpiła w podanym w [1] wyrażeniu na energię kinetyczną elektronu.

Pierwsze zdanie tej wypowiedzi wskazuje z kolei na pewną uniwersalność zachodzącą w sytuacji, gdy ciało, poruszając się względem $\tilde{\mathcal{K}}$ jednostajnym ruchem postępowym, wysyła światło w taki sposób, żeby

² Zauważmy, że gdyby po prawej stronie równań zamiast stałej C postawić dwie różne stałe C_0 oraz C_1 i interpretować je jako dwie różne, niezależne od prędkości energie wewnętrzne, to do lewej strony równania (6) dodałaby się różnica $C_0 - C_1$. Wtedy z (6), dla $v = 0$, wynikałoby, że $C_0 = C_1$. Trudno sądzić, iż Einstein tego nie wiedział.

³ Jednym z parametrów s_i może być energia wewnętrzna. Przyjęta notacja uwzględnia też teorie, w których energia całkowita nie jest po prostu sumą energii kinetycznej i wewnętrznej, lecz zależy od tej ostatniej nieliniowo.

nie miało to wpływu na stan jego ruchu. Wtedy energia kinetyczna ciała się zmniejsza, mimo iż jego prędkość pozostaje stała, a wielkość tej zmiany jest jednoznacznie wyznaczona przez globalną energię, mierzoną w układzie spoczynkowym ciała, która została wyniesiona z ciała w czasie rozważanego procesu emisji. Związek między wielkościami zmian energii kinetycznej i energii wyniesionej z ciała przez promieniowanie jest niezależny od jego specyficznych cech. Od cech tych może natomiast zależeć np. sama możliwość zajścia takiego rodzaju procesów promieniowania, a jeżeli są one możliwe, to także ich wpływ na rozmaite charakterystyki związane z przebiegiem tych procesów. Równanie (9) jest więc stwierdzeniem pewnego prawa ogólnego, które należy interpretować jedynie jako warunek konieczny, a nie dostateczny na to, aby procesy takie mogły zachodzić. Druga z przytoczonych powyżej wypowiedzi Einsteina świadczy właśnie o tym, że dokładnie tak rozumiał on fizyczną treść zawartą zarówno w równaniu (9), jak i we wszystkich jego konsekwencjach.

Równanie (9) jest spełnione w sposób ścisły dla każdej wartości $v \in (-c, c)$, a dla $v = 0$ przechodzi w tożsamość postaci $0 = 0$. Również wszystkie równania, jakie można otrzymać, różniczkując obie strony (9) względem v , będą równaniami ścisłymi dla każdej wartości $v \in (-c, c)$. W wyniku zróżniczkowania względem v równanie (9) przechodzi w równanie

$$\frac{\partial K(-v, S_1)}{\partial v} - \frac{\partial K(-v, S_0)}{\partial v} = \frac{L}{c^2} \frac{v}{\sqrt{(1 - (v/c)^2)^3}}. \quad (10)$$

Zgodnie z formalizmem Lagrange'a, wyrażenie $\partial K(-v)/\partial v = -p$ trzeba interpretować jako pęd (ze znakiem minus) rozważanego układu mechanicznego. Dla $v = 0$ równanie (10) przechodzi w warunek postaci $p(S_0) - p(S_1) = 0$. Interpretując zaś wyrażenie $\lim_{v \rightarrow 0} (1/v)(\partial K(v, S_i)/\partial v) = m_i$ jako masę bezwładną ciała w stanie S_i , co jest zgodne z założoną zasadą korespondencji nowej teorii z teorią Newtona, widzimy, że z (10) wynika, iż

$$m_0 - m_1 = \frac{L}{c^2}, \quad (11)$$

co w tekście pracy [2] Einstein wyraził w pierwszym zdaniu, jakie napisał po odpowiedniku równania (7).

Zauważmy, że równanie (11) jest ścisłą, a nie otrzymaną w przybliżeniu konsekwencją związku (9). Zasada korespondencji posłużyła jedynie do znalezienia fizycznej interpretacji lewej strony równania (11). Równanie to można także otrzymać, podstawiając $v = 0$ do rezultatu dwukrotnego zróżniczkowania względem v obu stron równania (9). Zgodnie z zasadą korespondencji należy wtedy uznać, że wyrażenia

$\partial^2 K(0, S_i)/\partial v^2 = m_i$ ($i = 0, 1$) są masami spoczynkowymi tego samego ciała odpowiednio w stanach S_0 oraz S_1 . Ciało to jest przy tym w spoczynku względem układu \mathcal{K} , a ponieważ $v = 0$, także względem \mathcal{K} .

Prawo fizyki przedstawione przez relację (11) jest prawem ogólnym, a jego status jest podobny do statusu, jaki przypisuje się zasadom termodynamiki fenomenologicznej. I tak właśnie Einstein je pojmował, gdy w drugiej z przytoczonych tu wypowiedzi stwierdził, że energia L wyniesiona z ciała przez promieniowanie może w równaniu (11) być zastąpiona przez równoważną jej, dowolną (w sensie pierwszej zasady termodynamiki) postać energii.

Należy podkreślić, że w pracy [2] Einstein wykazał, iż jego zasada względności prowadzi do fizycznie istotnych, nowych konsekwencji także w przypadku ciał spoczywających, a nie tylko poruszających się z dużymi prędkościami, jak to nawet dziś jeszcze sądzą niektórzy fizycy, a co prawdopodobnie było przyczyną krytyki wyrażonej m.in. w pracach [3] i [4].

3. Wczesny odbiór prac Einsteina

Zgodnie z relacją jego siostry, Mai Winteler-Einstein, już po opublikowaniu pracy [1] Einstein niecierpliwie oczekiwał jakiegokolwiek znaku, iż publikacja ta została w ogóle przez kogokolwiek przeczytana. Jak pisze Maja (por. [6]), pierwszym sygnałem od czytelnika był list od Maksa Plancka, który drobiazgowo wypytywał o rozmaite szczegóły pracy [1], co ogromnie ucieszyło młodego autora. W maju 1906 r. Einstein pisze do Maurice'a Solovine'a, że w swym ostatnim liście Max Planck, bardzo pozytywnie oceniając pracę [1], komunikuje mu o podjęciu własnych badań w tym samym kierunku. Najpewniej ów list Plancka dotyczył jego publikacji [7] z marca 1906 r., będącej pierwszą pracą innego autora niż Einstein na temat einsteinowskiej zasady względności. W pracy tej, dokładniej skomentowanej w cz. I niniejszego artykułu, dokonany został bardzo istotny postęp.

Powracając do roku 1905, Max von Laue stwierdza w [8], iż w Berlinie jesienią 1905 r. na jednym z pierwszych konwersatoriów z fizyki Planck⁴ referował pracę [1]. W tymże roku Planck zlecił Lauemu, swemu ówczesnemu asystentowi, by zajął się tematyką związaną z zasadą względności, a swemu doktorantowi, Kurdowi von Mosengeilowi, by uwzględnił tę zasadę w pisanej wtedy pracy doktorskiej poświęconej promieniowaniu stacjonarnemu w doskonale czarnej, poruszającej się wnęce (patrz [9]). Wyjaśnia to także, dlaczego właśnie Laue jest autorem pierwszego, bardzo dobrego podręcznika [10] tej dziedziny.

Na uniwersytecie w Würzburgu jesienią 1905 r., jak to wynika z relacji w [11] i [12], zasadzie względności poświęcono jedno z pierwszych semina-

⁴ Redaktorem naczelnym *Annalen der Physik* był wtedy Paul Drude, a jego zastępcami – Max Planck, który pilotował pracę [1], i Wilhelm Wien.

riów prof. Wilhelma Wiena. Referentem był tam pochodzący z Polski doktorant Wiena, Jakub Jan Laub.

Trzecie seminarium jesienią 1905 r. na ten sam temat odbyło się w Krakowie, na Uniwersytecie Jagiellońskim. O fakcie tym dowiedziałem się z ust prof. Stanisława Lorii, którego wykłady „Fizyki doświadczalnej”, jak się wtedy nazywał pierwszy uniwersytecki kurs fizyki ogólnej, słuchałem w latach 1949–51 w czasie studiów na Uniwersytecie Wrocławskim. Prof. Loria, wówczas już starszy pan, rozmawiał ze mną parę razy prywatnie o moich zainteresowaniach i przy takich okazjach opowiadał mi też o niektórych zdarzeniach z przeszłości. Zgodnie z jego przekazem, gdy wczesną jesienią 1905 r. powrócił z wakacji do Krakowa, prof. August Witkowski, którego Loria był wtedy asystentem, polecił mi zapoznać się z publikacją [1] i zreferować ją na jednym z najbliższych seminariów Witkowskiego w semestrze zimowym tegoż roku. Przekazując Lorii tę pracę, Witkowski porównał Einsteina do nowego Kopernika. Mimo że dosłownie pamiętam przekazaną mi wtedy wypowiedź Witkowskiego, nie cytuję jej, gdyż w późniejszych wspomnieniach samego Lorii [13] oraz w książce Infelda [14] są już cytowane dwie różne, choć zbliżone jej wersje. Loria opowiadał mi również, a pisze o tym zarówno on sam, jak i Infeld, że na zjeździe przyrodników i lekarzy niemieckich we Wrocławiu w roku 1907 spytał swego kolegę ze studiów w Getyndze, Maksa Born, co sądzi o pracy [1], i wtedy okazało się, że ani Born, ani nikt z tam obecnych fizyków, znajomych Lorii, w ogóle o pracy tej nie słyszał. Loria poszedł więc z Bornem do biblioteki uniwersyteckiej i znalazł mu odpowiedni zeszyt *Annalen der Physik*. Dwa lata później Born ogłosił dwie istotne prace [15] z tej dziedziny, a w latach późniejszych wniósł znaczny wkład do fizyki relatywistycznej. W swych wspomnieniach [16], napisanych pod koniec życia, Born rzeczywiście potwierdza, iż z pracą [1] zapoznał się stosunkowo późno, podczas pobytu we Wrocławiu, nie wymieniając jednak nazwiska Lorii.

Pierwszą w ogóle publikacją, w której cytuje się pracę [1], była krótka notatka [17] Walthera Kaufmanna przedstawiona Pruskiej Akademii Nauk 30 listopada 1905 r. Rozszerzona jej wersja, jako artykuł [18], dotarła do redakcji *Annalen der Physik* 3 stycznia 1906 r. Począwszy od roku 1901 Kaufmann prowadził badania nad doświadczalnym potwierdzeniem hipotezy o zmienności masy poruszającego się ciała naładowanego elektrycznie, wysuniętej przez Josepha Johna Thomsona w roku 1881. Thomson uzasadniał swą hipotezę, kierując się ogólnymi własnościami pola elektromagnetycznego opisanymi w równaniach Maxwella. Na przełomie XIX i XX wieku powstały w zasadzie dwie konkurujące ze sobą teorie opisujące zjawisko zmienności masy. Pierwszą z nich była teoria elektronowa Hendrika Antoona Lorentza sformu-

łowana w kolejnych pracach w latach 1895–1904 (por. [19]), a drugą – teoria Maksa Abrahama, który zaproponował sztywną, poruszającą się i elektrycznie naładowaną kulkę (o stałej gęstości objętościowej lub powierzchniowej ładunku) jako model elektronu, którego masa jest całkowicie określona przez energię jego oddziaływania z wypromieniowanym, własnym polem elektromagnetycznym kulki. W roku 1903, korzystając z równań Maxwella oraz z tych samych dwu założeń, Abraham wyznaczył dwie masy, podłużną⁵ i poprzeczną, w jego modelu elektronu jako funkcje prędkości, promienia i całkowitego ładunku kulki. Rok później Lorentz uzyskał inne wyrażenia na obie masy, korzystając z elektrodynamiki Maxwella uzupełnionej zarówno o wprowadzoną już w 1895 r. siłę, nazwaną później siłą Lorentza, rozumianą jako siła, z jaką eter oddziałuje na poruszające się w nim ciała naładowane, jak i o przeszło 10 dodatkowych założeń, wśród których były: założenie o deformowalnym elektronie, hipoteza kontrakcji, sformułowane przez niego prawa transformacji współrzędnych i czasu, żądanie, by wszystkie siły miały to samo prawo transformacyjne, co siła elektromagnetyczna, a także postulat, iż prędkość światła jest maksymalnie możliwą prędkością spotykaną w przyrodzie.

W pracy [18] Kaufmann przedstawił wyniki swych doświadczeń mających rozstrzygnąć, która z obu tych formuł masowych bardziej odpowiada rzeczywistości. Artykuł [18] poprzedził zwięzłym przeglądem obu konkurujących teorii i zreferował tam także inne, nowe publikacje teoretyczne, które uznawał za warianty którejś z nich. Po bardzo więc krytycznym omówieniu pracy Lorentza referuje pracę [1] w sposób świadczący o zaskakująco dobrym jej zrozumieniu, i wysoko ją ocenia z poznawczego punktu widzenia. W podsumowaniu wyników pomiarów wskazuje jednak, iż przemawiają one za teorią Abrahama–Bucherera (praca tego drugiego też pojawiła się w 1905 r.), a świadczą na niekorzyść teorii Lorentza–Einsteina.

Einstein prace [17,18] pominął w ogóle milczeniem, co w podobnych sytuacjach było też i później jego zwyczajem. Planck natomiast, który w pracy [7] wykazał, że poprawione tam einsteinowskie równania ruchu elektronu wynikają z zasady wariacyjnej, właśnie dlatego, w przeciwieństwie do teorii Abrahama, gdzie takich zasad nie było, faworyzował teorię, jak ją nazywał, w z g l ę d n ą (Relativtheorie). Podał więc starannej analizie prace [17,18], a jej konkluzje opublikował w [20]. W rezultacie wykazał, ale bez komentarza, podając tylko dane numeryczne, iż z danych uzyskanych przez Kaufmanna wynika m.in., iż elektrony użyte w pomiarach miały prędkość $v > c$. Coś więc było nie całkiem w porządku z danymi Kaufmanna! We wrześniu 1906 r. na jednej z sesji na zjeździe w Stuttgarcie wywiązała się zatem ostra dyskusja między zwo-

⁵ Zdefiniowaną jako współczynnik w równaniach ruchu przy składowej przyspieszenia w kierunku stycznym do toru elektronu.

lennikami obu teorii. Opisana jest ona w rocznikach zjazdu, a brali w niej udział wszyscy chyba czołowi niemieccy specjaliści. W dyskusji tej nazwisko Einsteina padało często, ale tylko w określeniu teoria Lorentza–Einsteina, gdyż pracę [1] uważano powszechnie jedynie za inne sformułowanie teorii Lorentza. Sam Einstein nie był tam obecny. Więść o jego pracach rozeszła się więc stosunkowo wcześniej, przynajmniej wśród specjalistów z niemieckiego obszaru językowego. Przytoczona powyżej wypowiedź prof. Lorii świadczy jednak, że musiało jeszcze upłynąć kilka lat, zanim dowiedział się o nich szerszy krąg fizyków.

Przeglądając dostępną mi niemieckojęzyczną literaturę naukową z lat 1906–10, znalazłem ok. 50 publikacji z fizyki teoretycznej tematycznie ściśle związanych z pracami [1] i [2]. Ich autorzy pochodzili z krajów, gdzie język niemiecki był w prawie powszechnym użyciu. W czasopismach anglojęzycznych znalazłem natomiast tylko dwie prace napisane w tym okresie. Po francusku zaś, nie licząc prac Henri Poincarégo dotyczących jego własnej teorii, o ile mi wiadomo, nic na ten temat nie zostało wtedy opublikowane.

W roku akademickim 1908/09, w semestrze zimowym, pierwszy regularny cykl wykładów na temat teorii względności wygłosił Arnold Sommerfeld na Uniwersytecie w Monachium. W następnej dekadzie XX wieku szczególna teoria względności zaczynała przez niektórych być traktowana jako zamknięta już gałąź fizyki, ale wbrew tej opinii przez następne dwie lub trzy dekady sposób jej rozumienia nadal ulegał zmianie.

4. Kontakty Polaków z Einsteinem

Na opisanym powyżej tle ogólnoeuropejskim upowszechnienie wiedzy o nowej teorii wśród fizyków polskich przedstawiało się w tamtych wczesnych latach wcale nie najgorzej. Zawdzięczamy to przede wszystkim dwóm osobom: prof. Augustowi Witkowskiemu i Jakubowi Janowi Laubowi (patrz [12]).

Profesor August Witkowski (1854–1913), choć był przede wszystkim fizykiem doświadczalnym, w swym dorobku miał też wykłady i oryginalne publikacje z fizyki teoretycznej. Od dłuższego czasu interesował się rolą, jaką eter miał odgrywać w propagacji fal elektromagnetycznych, i dlatego od razu pojął znaczenie pracy [1]. W seminariach na UJ i odczytach w PAU rozpowszechnił więc wśród fizyków, matematyków i filozofów informację o powstaniu i znaczeniu nowej teorii. Liczne obowiązki akademickie nie pozwoliły mu na podjęcie badań w nowej dziedzinie, ale zachęcał do tego niektórych ze swych asystentów. I tak, Stanisław Loria zajął się popularyzowaniem tego tematu, a Kamil Kraft (1872–1945) podjął badania teoretyczne, których wyniki ogłosił w pięciu pracach w języku niemieckim w latach 1912–13; niektóre z nich doczekały się cytowań za granicą [12]. W tym wczesnym okresie działalność popularyzatorską prowadzili ponadto Maksymilian Huber (1872–1950) i Zygmunt Zawirski

(1882–1952), a trochę później także Ludwik Silberstein (1872–1948).

Jakub Jan Laub (1881–1962) po rozpoczęciu studiów fizyki na UJ kontynuuje je na uniwersytetach w Wiedniu i Getyndze. Kończąc studia, w 1905 r. podejmuje badania doświadczalne w dziedzinie optyki pod kierunkiem prof. Wiena w Würzburgu, uwieńczone obroną rozprawy doktorskiej pod koniec 1906 r. Na seminarium Wiena przedstawia m.in. pracę [1], a podczas obrony daje się poznać jako gorący zwolennik nowej teorii Einsteina. W roku 1907 publikuje dwie prace [21] wnoszące wkład do nowej teorii. Utrzymuje kontakty z Polską, drukując w *Wiadomościach Matematycznych* polskie wersje swoich prac i przyjeżdżając do Polski na zjazdy fizyków. Opisana została dyskusja z profesorami Witkowskim i Natansonem po wystąpieniu Lauba na takim zjeździe [12]. W 1908 r. wysłała do Einsteina list z pytaniem, czy mógłby przyjechać do Berna w celu nawiązania współpracy. Po pozytywnej odpowiedzi zostaje pierwszym współpracownikiem Einsteina, publikując z nim trzy prace [22] na temat elektrodynamiki relatywistycznej w ośrodku ciągłym. W roku 1910 ogłasza pracę przeglądową [23] ze szczególnej teorii względności, a nie mogąc się habilitować w ówczesnych Niemczech, w 1911 r. emigruje do Argentyny. Po I wojnie światowej podejmuje tam pracę w dyplomacji i jest przedstawicielem Argentyny w różnych stolicach europejskich (w tym w latach 1937–39 w Warszawie). Po II wojnie światowej powraca do Europy i do śmierci jest profesorem fizyki na uniwersytecie we Fryburgu.

Kontakty z Einsteinem, osobiste lub korespondencyjne, utrzymywało 12 uczonych polskich; dokładniejszy opis tych kontaktów Czytelnik znaleźć może w publikacjach prof. Bronisława Średniawy [12]. W zamieszczonej na s. 268 ramce zebrałem, na podstawie tych publikacji, zaledwie garść danych o tych kontaktach.

Literatura

- [1] A. Einstein, „Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, *Annalen der Physik* **17**, 891 (1905).
- [2] A. Einstein, „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?”, *Annalen der Physik* **18**, 639 (1905).
- [3] A.I. Miller, *Albert Einstein's Special Theory of Relativity: Emergence (1905) and Early Interpretation (1905–1911)* (Addison-Wesley, Reading, MA 1981).
- [4] H.I. Ives, „Derivation of the Mass–Energy Relation”, *J. Opt. Soc. Am.* **42**, 540 (1952).
- [5] J. Stachel, R. Torretti, „Einstein's first derivation of mass–energy equivalence”, *Am. J. Phys.* **50**, 760 (1982).
- [6] *The Collected Papers of Albert Einstein: The Swiss Years: Writings, 1900–1909*, t. II, red. John Stachel (Princeton University Press, Princeton, New Jersey 1989).
- [7] M. Planck, „Das Prinzip der Relativität und die Grundgleichungen der Mechanik”, *Verh. d. Phys. Ges.* **4**, 136 (1906).

- [8] M. v. Laue, „Mein physikalischer Werdegang. Eine Selbstdarstellung”, w: *Schöpfer des neuen Weltbildes*, red. H. Hartmann (Athenäum-V., Bonn 1952), s. 178–210.
- [9] K. Mosengeil, „Theorie der stationären Strahlung in einem gleichförmig bewegten Hohlraum”, *Annalen der Physik* **22**, 867 (1907).
- [10] M. v. Laue, *Das Relativitätsprinzip* (F. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1911).
- [11] L. Peynson, „Einstein’s early scientific collaborators”, *Hist. St. Phys. Sci.* **7**, 83 (1976); L. Peynson, *The young Einstein* (Hilger, Bristol 1985), s. 219–225.
- [12] B. Średniawa, „Kontakty naukowe i współpraca polskich fizyków z Einsteinem”, *Kw. Hist. Nauki i Techn.* **41**, 59 (1996); *Historia filozofii przyrody i fizyki w Uniwersytecie Jagiellońskim* (Kom. Hist. Nauki i Techniki PAN, Warszawa 2001); „History of theoretical physics at Jagellonian University in Cracow in XIX-th century and in the first half of XX-th century”, *Zeszyty Nauk. UJ*, t. DCCXXVII, Prace Fiz., zesz. 24 (PWN, Kraków 1985).
- [13] S. Loria, „Einstein a fizyka kwantowa”, *Postępy Fizyki* **6**, 500 (1955).
- [14] L. Infeld, *Albert Einstein* (PWN, Warszawa 1956).
- [15] M. Born, „Die träge Masse und das Relativitätsprinzip”, *Annalen der Physik* **28**, 571 (1909); „Die Kinematik des starren Elektrons in der Kinematik des Relativitätsprinzips”, *Annalen der Physik* **30**, 1 (1909).
- [16] M. Born, *Physics in my generation* (Springer Verlag, New York 1969).
- [17] W. Kaufmann, „Über die Konstitution des Elektrons”, *Berl. Ber.* **45**, 949 (1905).
- [18] W. Kaufmann, „Über die Konstitution des Elektrons”, *Annalen der Physik* **19**, 487 (1906).
- [19] H.A. Lorentz, *Collected Papers*, t. I–IX (Martinus Nijhoff, The Hague 1935–39).
- [20] M. Planck, „Die Kaufmannschen Messungen der Ablenkbarkeit der β -Strahlen in ihrer Bedeutung für die Dynamik der Elektronen”, *Phys. Z.* **7**, 753 (1906).
- [21] J. Laub, „Zur Optik bewegter Körper”, *Annalen der Physik* **23**, 738 (1907); „Die Mitführung des Lichtes durch bewegte Körper nach dem Relativitätsprinzip”, *Annalen der Physik* **23**, 989 (1907); „Zur Optik bewegter Körper II”, *Annalen der Physik* **25**, 175 (1908).
- [22] A. Einstein, J. Laub, „Über die elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegter Körper”, *Annalen der Physik* **26**, 532 (1908); korekta: **27**, 232 (1908); uwagi i suplement: **28**, 445 (1909); „Über die im elektromagnetischen Felde auf ruhende Körper ausgeübten ponderomotorischen Kräfte”, *Annalen der Physik* **26**, 541 (1909).
- [23] J. Laub, „Über die experimentellen Grundlagen des Relativitätsprinzips”, *Jahrb. Radioakt.* **7**, 405 (1910).

Uczeni polscy i ich osobiste lub korespondencyjne kontakty z Einsteinem (PS – rok pierwszego spotkania, RK – rok rozpoczęcia korespondencji)

- Jakub Jan Laub (1881–1962), PS: 1908, RK: 1908
Regularna korespondencja między nimi trwała aż do śmierci Einsteina.
- Marian Smoluchowski (1872–1917), PS: ?, RK: 1908
Istnieją sprzeczne relacje, czy rzeczywiście się spotkali.
- Józef Wierusz-Kowalski (1866–1927), PS: 1909, RK: 1907
Wierusz-Kowalski był profesorem fizyki we Fryburgu, a Einstein został w 1909 r. profesorem w Zurychu, spotykali się więc przy różnych okazjach.
- Ignacy Mościcki (1881–1946), PS: 1909, RK: –
Będąc asystentem Wierusza-Kowalskiego, spotykał też Einsteina.
- Maria Skłodowska-Curie (1867–1934), PS: 1909, RK: 1913
Spotykali się na zjazdach i w Lidze Narodów.
- Stanisław Loria (1883–1958), PS: 1913, RK: 1919
Rozmawiali ze sobą na Zjeździe w Wiedniu.
- Mieczysław Wolfke (1883–1947), PS: 1913, RK: 1946
W Zurychu Einstein był jednym z recenzentów pracy habilitacyjnej Wolfkego i bywał gościem w jego domu, grając tam na skrzypcach przy akompaniamentie gospodarza.
- Władysław Natanson (1864–1937), PS: 1914, RK: 1915
W drodze do Krakowa Natanson musiał z powodu wojny na prawie rok zatrzymać się w Berlinie, gdzie bywał u Einsteina. W zbiorach UJ znajduje się 5 listów Einsteina do Natansona.
- Jan Weyssenhoff (1889–1972), PS: 1916, RK: –
Podczas I wojny światowej Weyssenhoff przebywał w Zurychu i gdy Einstein dwukrotnie tam przyjeżdżał, spotykał się z nim oraz słuchał jego wykładów.
- Leopold Infeld (1898–1968), PS: 1920, RK: 1934
Infeld na rok wyjechał do Berlina, by ukończyć studia. Starając się o przyjęcie na uniwersytet, złożył Einsteiniowi wizytę. W latach 1936–39 był bliskim współpracownikiem Einsteina w Princeton. Po 1939 r. kontynuowali współpracę częściowo korespondencyjnie, gdy Infeld był w Kanadzie, a po powrocie Infelda do Polski pisywali do siebie dość regularnie.
- Ludwik Silberstein (1872–1948), PS: 1921, RK: 1918
Silberstein zajmował się teorią względności od roku 1914. Pierwsza faza jego kontaktów z Einsteinem dotyczyła kontrowersji na temat ich różnych sposobów podejścia do zagadnienia dwu ciał w OTW. Wytykali więc sobie nawzajem różne techniczne błędy, rzeczywiste bądź urojone. W 1936 r., po ugodowym artykule Einsteina, w którym przyznał się do jednego z błędów, Silberstein przeprosił Einsteina i nastąpiła bardziej już koncyliacyjna faza ich kontaktów.
- Myron Mathisson (1897–1940), PS: –, RK: 1929
Po pięciu latach od ukończenia studiów fizyki na UW, Mathisson samodzielnie napisał istotną pracę na temat zagadnienia ruchu w OTW. Jej kopię wraz z listem przesłał do Einsteina, którego interwencja u prof. Białobrzeskiego zaowocowała doktoratem Mathissona. Był to początek wymiany korespondencji Einsteina i Mathissona. Trwała ona aż do przedwczesnej śmierci drugiego z nich. W Archiwum Einsteińskim znajduje się 19 listów Mathissona, a odpowiedzi Einsteina, o których istnieniu wiadomo, zaginęły.

Annus mirabilis 1905: wtedy i dziś*

Łukasz A. Turski

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN oraz Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Annus mirabilis 1905: then and today

Abstract: The year 1905 was an eventful year. Russian armada sent around the world to liberate Port Arthur was whipped off by the Japanese fleet in the Battle of Tsushima. Russian imperium was shaken by workers' rebellion, notably in occupied Poland. These were the front-page political items in journals around the world. On science pages events like the lectures by Svante Arrhenius or the decision to give the Nobel Prize to Philipp Lenard were discussed. In Poland, the Nobel Prize in Literature awarded to Henryk Sienkiewicz was the great event. From today's perspective all these events are dwarfed by the publication of four, not too long papers by a clerk from Swiss Federal Patent Office Albert Einstein. Each of these publications had shaken physics and resulted in changes of our civilization on a scale incomparable with any previous scientific breakthroughs. How could that happen, how were these events interwoven into the intellectual fabric of the dawn of 20th century?

Jak wyglądał świat sto lat temu? Czym żyli ówczesni czytelnicy gazet interesujący się wydarzeniami na świecie? 25 maja 1905 r. admirał Rożestwieński i jego Flota Bałtycka, duma cesarstwa Rosji, zbliżała się do wysp Cuszima. Wysłana jesienią roku 1904 Flota spieszyła na odsiecz okrążonej przez Japończyków twierdzy Port Artur. Czytelnicy prasy na całym świecie od miesięcy widzieli na pierwszych stronach swoich gazet tytuły „Rosja i Japonia w stanie wojny” (rys. 1).



Rys. 1. Czołówka *The Philadelphia Inquirer* z 1905 r.

W Cieśninie Cuszimskiej gigantyczne rosyjskie pancerniki, pożerające monstrualne ilości węgla, zostały zaatakowane przez flotę japońską dowodzoną przez admirała Togo. Pierwsza salwa zraniła admirała Rożestwieńskiego, a pod wieczór 27 maja chluba carskiej Rosji – Flota Bałtycka – niemal cała poszła na dno.

Wojna rosyjsko-japońska, prawdziwy początek końca carskiego imperium, nie była jedynym politycznym tematem pierwszych stron gazet w 1905 r. W styczniu prasa na całym świecie rozpisywała się o masakrze pod bramą Pałacu Zimowego w Petersburgu, dokąd pop Gapon przywiódł jedną z pierwszych tak wielkich demonstracji robotniczych carskiej Rosji. Rewolucja 1905 r., rozpoczęta Krwawą Niedzielą w Pitrze, na ziemi polskiej wywołała uliczne walki PPS Piłsudskiego z kozakami. Jak opisywał Tuwim – celnie były wtedy browningi spod tramwajów. Stefan Okrzeja wysadził policyjny cyrkuł i – jak wielu innych – oddał swoje młode życie za wolność, która miała nadejść już (dopiero?) za 13 lat¹.

Ale rok 1905 był pamiętny nie tylko z powodu rewolucji, czy – jak mawiano w zaborze rosyjskim – czwartego powstania. We wrześniu 1905 r. Henryk Sienkiewicz otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie literatury, nie za *Quo vadis* – jak się często słyszy – lecz za całokształt twórczości. Ci czytelnicy prasy, którzy interesowali się nauką, mogli w niej znaleźć np. takie wiadomości, jak zaczerpnięte ze stron naukowych londyńskiego *Timesa* informacje o wykładzie Svante Arrheniusa (1859–1927) z „fizyki kosmicznej” (rys. 2). A ci zaciekawieni rewolucjonizującą wtedy świat telekomunikacją mogli przeczytać wiadomości o kolejnym sukcesie technicznym i finansowym Marconiego, otwiera-

* Artykuł oparty na wykładzie wygłoszonym 25 maja 2005 r. podczas sympozjum „Fizyka w Lasku Bielańskim” zorganizowanego – w ramach Światowego Roku Fizyki 2005 – przez Wydział Matematyczno-Przyrodniczy Szkołę Nauk Ścisłych Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie.

¹ Rewolucja 1905 r. była fragmentem historii naszego kraju całkowicie zakłamanym w czasach komunistycznych. Na lekcjach oficjalnej historii uczono o niej jakoś tak, że nie było w niej Piłsudskiego, a nawet tacy bohaterowie jak Okrzeja byli przedstawiani tak, jakby należeli do PZPR *in statu nascendi*.

jącego następną transatlantycką stację nadawczą ([1], s. 40). Jesienią 1905 r. Komitet Noblowski postanowił przyznać nagrodę za „badanie promieni katodowych” Philippowi Lenardowi. Do ponurej roli tego skądinąd wybitnego eksperymentatora jeszcze wrócimy.

“Cosmical Physics” is a department of science which is rapidly growing in favour. As a subsection of the British Association, for instance, it is scarcely three years old, owing its birth to the fusion of the existing subsection of astronomy with non-existent sections for meteorology, seismology, and magnetism. But once born it has justified its existence by growing rapidly and healthily, and has apparently fascinated the readers of papers and addresses in the main section. Dr. Arrhenius devoted his address to emphasizing the intimate relationships of all the sciences above mentioned among themselves and with others. For instance, meteorology was closely concerned with the amount of carbonic acid gas in the atmosphere, which now remained nearly constant; but had the quantity always been constant? If it had formerly been much greater, how had plants lived? There was some evidence—not very much, unfortunately, but still some—that certain forms of plant life could exist in an atmosphere strongly charged with carbonic acid gas, perhaps in an atmosphere of that gas alone. More light was needed on this question, so that physiological chemistry must come to the aid of meteorology. Not the least interesting feature of the address was the genial personality of the great Swedish philosopher himself. Spectacles in one hand and a few notes in the other, to which he only occasionally referred, he spoke fluently in a language not his own for nearly an hour, seeming to be totally unmoved by interruptions arising from the constant accession of new auditors. Before the end of his address the room, which was well filled at the beginning, was closely packed with an eager audience.

Rys. 2. Fragment relacji *Timesa* z wykładu Arrheniusa

Prawdziwa historia roku 1905 rozpoczęła się jednak w niewielkim mieszkaniu przy Kramgasse 49 w szwajcarskim Bernie, mieszkaniu zajmowanym przez średniego stopnia urzędnika szwajcarskiego federalnego urzędu patentowego Alberta Einsteina i jego żonę Milewę. W połowie maja 1905 r. urzędnik Einstein, niańcząc swoje kolejne dziecko lub paląc obrzydliwe, tanie cygara (tak obrzydliwe, że Max von Laue przysłany kilka lat później przez Maksa Plancka z Berlina do Berna, by porozmawiać z Einsteinem, musiał je ukradkiem wyrzucać do rzeki), rozpoczął wysyłanie do druku czterech prac naukowych [2–5]. Czterech prac, które wraz z opublikowaną w tymże roku rozprawą doktorską Einsteina [6] wywołały w fizyce rewolucję, o której rangę w porównaniu z rewolucją newtonowską historycy nauki zapewne zawsze kruszyć będą kopie. Dla wielu historyków nie podlega jednak dyskusji, że te prace naukowe, w których nie było ani za wiele skomplikowanych równań i wielkiej matematyki, ani wielu tabel z liczbami czy wykresów ilustrujących fantastyczną zgodność teorii z doświadczeniem, zmieniły losy naszej cywilizacji w stopniu większym niż dziesiątki stron zapisanych i wydrukowanych w tym samym roku przez podróżującego między Genewą a Zurychem, a więc zatrzymującym się wiele razy na stacji w Bernie twórcę jednej z największych tragedii cywilizacji ludzkiej, Włodzimierza Iljicza Lenina. Nie dowiemy się nigdy, co by się stało, gdyby wypisujący brednie o współczesnej fizyce towarzysz Lenin wysiadł z pociągu i w Café Bollwerk wypił kawę w towarzystwie twórcy „imperialistycznej” teorii względności.

Jak to się stało, że pracujący poza uznanymi ośrodkami akademickimi (aczkolwiek w wyjątkowo intelektualnie ciekawej instytucji, jaką pod rządami dyrektora Friedricha Hallera był szwajcarski Federalny

Urząd Patentowy), niemający ani praktyki w pracy naukowej, ani codziennych kontaktów z życiem akademickim Albert Einstein doszedł do sformułowań, które dały początek mechanice kwantowej [2], współczesnej teorii materii skondensowanej [3] czy teorii względności [4,5]? Aby to zrozumieć, powinniśmy cofnąć się o 10 lat, do jesieni 1895 r., gdy Einstein po złożeniu egzaminów wstępnych na Politechnikę w Zurychu za sugestią władz tej uczelni w celu uzupełnienia swej wiedzy podjął naukę w szkole kantonowej w Aarau (niedaleko Zurychu). Szkołę tę założyli zwolennicy Johanna Heinricha Pestalozziego (1746–1827), wielkiego szwajcarskiego pedagoga. Pestalozzi, podobnie jak Kant, za główny element poznania rzeczywistości uważał *Anschauung*. To trudne do przetłumaczenia, lecz głęboko zakorzenione w niemieckiej filozofii pojęcie formowało wiele teorii fizycznych powstających w XIX w., a także np. światopogląd Goethego [7]. Einstein przykładał wielką wagę do doświadczeń myślowych (niem. *Gedankenexperimente*, patrz [2] lub np. sławna dziś praca z Podolskim i Rosenem poświęcona – we współczesnej nowomowie fizyki – teleportacji kwantowej). To właśnie przedłożenie konkluzji wynikających z idei *Anschauung* nad doświadczenie pozwoliło Einsteinowi w analizie problemu jednoczesności zdarzeń uwolnić się od więzów doświadczenia i dlatego to właśnie Einstein, a nie Henri Poincaré (rys. 3), mający te same fizyczne „karty do gry” (nie mówiąc już o warsztacie matematycznym), stał się uznanym twórcą szczególnej teorii względności.



Rys. 3. Henri Poincaré (1854–1912)

Uzyskane w Aarau wykształcenie humanistyczne Einstein pogłębiał i poszerzał w założonym przez kilku równie młodych jak on pracowników – jak dziś po-

wiedzielibyśmy: administracji centralnej Konfederacji Szwajcarskiej – klubie dyskusyjnym, zwanym przez jego członków Akademię Olympia (rys. 4). Członkami tego klubu, zajmującymi się lekturą dzieł filozoficznych, prac naukowych z różnych dziedzin nauk ścisłych i techniki oraz przede wszystkim gruntowną analizą tych lektur, byli: Maurice Solovine (pierwszy prywatny uczeń Einsteina, student szukający korepetycji z powodu kiepskiego poziomu zajęć na Uniwersytecie w Bernie – skąd my to znamy!), Conrad Habicht, Lucien Chavan i najpóźniejszy członek Akademii, Michele Besso. Godziny przegadane przez tę grupę w mieszkaniu Einsteina (Mileva Maric-Einstein z rzadka tylko dopuszczana była do faktycznego udziału w dyskusjach, częściej zajmowała się „cateringiem”) czy też w Café Bollwerk zaowocowały obszerną korespondencją wszystkich uczestników i przeszły do historii przez podziękowanie dla Michele Bessa zawarte w pracy [2]. Dyskusje z Bessem, przez większość życia pracownikiem urzędu patentowego, odegrały kluczową rolę w berneńskim okresie życia Einsteina; chcąc mieć na nie jak najwięcej czasu, Einstein w 1905 r. przeprowadził się do sąsiedztwa mieszkania zajmowanego przez Bessa, by móc wspólnie udawać się do pracy i wracać z niej spacerem [8]. To podczas tych spacerów Besso, służący Einsteinowi jako audytorium seminaryjne, wysłuchał zapewne pierwszego sformułowania teorii względności.



Rys. 4. Założyciele Akademii Olympia; od lewej Conrad Habicht, Maurice Solovine i Albert Einstein

Dlaczego właściwie Albert Einstein zajął się tym problemem, egzotycznym z punktu widzenia urzędu patentowego, i czy rzeczywiście był to temat egzotyczny? Koniec XIX w. był innym końcem stulecia niż ten, który dopiero co stał się naszym udziałem. Był to

okres gigantycznej rewolucji intelektualnej związanej z nabierającą tempa rewolucją techniczną i naukową, której skali my – śmiesznie zakochani w internecie i nagraniach MP3 XX-wieczni obywatele wieku XXI – całkowicie nie doceniamy.

Pod każdym względem wiek XIX był wyjątkowy. Był to np. rok niespotykanej eksplozji demograficznej, zadającej kłam katastroficznym przepowiedniom Malthusa. Ludność Nowego Jorku wzrosła w XIX stuleciu mniej więcej 100 razy. Odkryto to bez większych perturbacji w wyżywieniu tej metropolii i przy radykalnym polepszeniu stanu zdrowotnego wszystkich mieszkańców. Mary Hollingsworth, autorka fundamentalnego dzieła o historii sztuki [9], nazywa ten okres epoką nowych materiałów, bo w tym okresie ludzkość wreszcie zaczęła używać materiałów innych niż znane jeszcze w starożytnym Rzymie, ale był to też okres fascynacji techniką komunikacyjną – rozwojem kolei i telekomunikacji, najpierw przewodowej, a potem bezprzewodowej, oraz – co całkowicie różni poprzedni koniec wieku od „naszego” – fascynacji czystą nauką. Pod koniec XIX w. znajomość ostatnich osiągnięć np. matematyki należała do dobrego tonu. Jeszcze na początku XIX wieku stary książę Bołkoński w *Wojnie i pokoju* Tołstoja z wściekłością uruchamia tokarkę do drewna, by zagłuszyć nieprzyjemne uczucie, że to Natasza Rostowa wie coś o liczbach zespolonych, o których on sam nie ma pojęcia. Pod koniec wieku nasz największy pisarz Joseph Conrad pisze (wraz z Fordem Madox Fordem) książkę *Spadkobiercy*, której złowieszcy bohaterowie pochodzą z czwartego wymiaru. Dzięki piarstwu takich autorów, jak Charles Hinton² [10] czy William Clifford, odkrycia geometrii nieeuklidesowych znane były dość powszechnie. Idea czwartego wymiaru – czasu – pojawiła się u Herberta G. Wellsa w *Maszynie czasu* (1895) i *Niewidzialnym człowieku* (1897) właśnie w wyniku przenikania wielkiej nauki do codziennego życia intelektualnego cywilizowanego świata. Nawet twórczość literacko-paranaukowa tego okresu, np. pisanina teozofów [11], była bardziej osadzona w realiach nauki niż wiele z „dzieł” nam współczesnych (takich jak książka wziętego francuskiego pisarza Michela Houellebecqa *Częstki elementarne* [12] czy trójdialog [13]). Wielu ludzi poznawało naukę przez lekturę wydawnictw „codziennych”; w popularnym francuskim dwumiesięczniku literackim *Mercure de France* prawie popularn naukowe artykuły pisywał Alfred Jarry. Twórca króla Ubu ustami swej bohaterki Uboiny przybliżył wielu artystom paryskim współczesne osiągnięcia nauki, np. odkrycie Wilhelma Roentgena. To dzięki Jarry’emu i Maurice’owi Princetowi, matematykowi kubizmu, Picasso poznał geometrię wielowymiarową i dlatego – jak twierdzi wielu historyków sztuki, w tym autor fascy-

² Charles H. Hinton (1853–1907) był matematykiem, zięciem słynnego logika George’a Boole’a. Oskarżony o bigamię, uciekł do Stanów Zjednoczonych. Wykładał matematykę w Princeton, pracował też w Obserwatorium Marynarki Wojennej USA, gdzie m.in. wymyślił używaną do dziś armatkę do treningów baseballa.

nującej monografii o Einsteinie i Picassie, Artur Miller [14] – w zmieniającym na zawsze historię malarstwa dziele Pabla Picassa *Panny z Awinionu* (1907, patrz np. www.picasso.art.pl) kucająca postać po prawej stronie na dole obrazu zawiera elementy rzutu obiektu czterowymiarowego na dwuwymiarową płaszczyznę obrazu.

Ale nie tylko geometria wielowymiarowa była powszechnym przedmiotem zainteresowania myślących ludzi końca XIX w. Jednym z najbardziej nurtujących problemów filozoficznych, a może przede wszystkim praktycznych, był czas. Gdyby pasażer jadący do San Francisco w 1870 r. z Waszyngtonu chciał ustawiać – synchronizować – swój zegarek na każdej z mijanych stacji, musiałby zmieniać czas mniej więcej dwieście razy [15]. Brak ujednoczenia – standaryzacji – czasu stał się coraz większym problemem wraz z rozwojem nie tylko samej trakcji kolejowej, ale i towarzyszącego liniom kolejowym telegrafu. W Europie pomimo mniejszych odległości geograficznych sytuację komplikowały ambicje nacjonalistyczne, głównie francuskie. Sprawa czasu i jego synchronizacji na kolejach francuskich to zupełnie osobny temat z zakresu roli psychologii nacjonalizmu w rozwoju techniki. Koleje te miały ciekawy system rachuby czasu. Każde miasto miało swój własny czas, ale na kolei obowiązywały dwa czasy: czas dla pociągów w ruchu i czas dworcowy. Czas „ruchu” był czasem miejskim Paryża. Czas dworcowy był czasem paryskim minus 5 minut! Tych pięć minut miało zapewnić pasażerom komfort możliwości niewielkiego spóźnienia na pociąg.

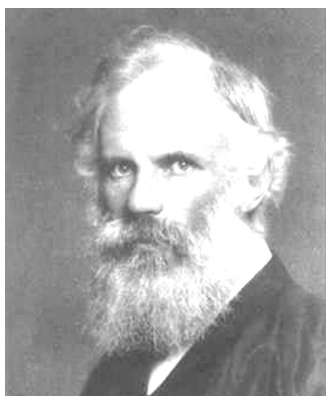
Wielkim orędownikiem uporządkowania tego wielce skomplikowanego systemu synchronizacji czasu był szef sztabu armii cesarza Wilhelma, Graf Helmuth von Moltke. Jeden uniwersalny czas kolejowy ułatwiłby mu sprawne przeprowadzanie mobilizacji. Wielkim krokiem w kierunku światowej synchronizacji pomiaru czasu była waszyngtońska Konferencja Południka Zerowego z 1884 r. Nasz dzisiejszy układ stref czasowych różni się tylko w drugorzędnych szczegółach od tego systemu, wprowadzonego 121 lat temu. Feldmarszałek von Moltke mógł spokojnie synchronizować swoje plany sztabowe i w 1891 r. apelował do Reichstagu o ratyfikację odpowiednich umów międzynarodowych. Agent prowokator w *Tajnym agencie* Conrada nie bez kozery otrzymuje zadanie wysadzenia w powietrze obserwatorium w Greenwich. W kilkanaście lat potem synchronizacja czasu ułatwiła wysyłanie depeš dyplomatycznych, tak by statek z Raymondem Poincaré, ministrem spraw zagranicznych Francji, zdołał opuścić Petersburg i aby nie mogło powstrzymać rzezi I wojny światowej. Problem synchronizacji czasu narastał wraz z wejściem telegrafu bez drutu – radia – na scenę działań m.in. gospodarczych i politycznych. 1 lipca 1913 r. o godz. 10 rano radiostacja na wieży Eiffla w Paryżu nadała pierwszy światowy sygnał czasu.

Nie było zapewne w tym czasie uczonemu lepiej przygotowanego, by zmierzyć się z całą złożonością

problemów wynikających z synchronizacji czasu przy użyciu sygnałów radiowych – fal elektromagnetycznych – niż Henri Poincaré. Kuzyn Raymonda, człowiek o specyficznym poczuciu humoru (przedstawiając swe młode córki na jakimś oficjalnym przyjęciu, powiedział – Mesdemoiselles Alpha, Bêta, Gamma Poincaré) był zapewne największym geniuszem matematycznym ostatnich dwu stuleci. Prawie nie ma działu matematyki – od metod numerycznych po topologię algebraiczną – które nie opierałyby się na jego fundamentalnych osiągnięciach. Poincaré podobnie jak William Clifford uważał, że podstawowym obowiązkiem uczonemu jest zdawać sprawę ze swoich osiągnięć społeczeństwu. Trudno zliczyć jego artykuły i książki – jak dziś byśmy powiedzieli – popularnonaukowe. Jego książki *Nauka i hipoteza* oraz *Nauka i metoda* uformowały umysły dziesiątków najwybitniejszych uczonych XX w. Uczestnicy spotkań Akademii Olympia w Bernie znali i dogłębnie dyskutowali te dzieła. Einstein znalazł w nich rozważania Poincarégo o czasie i pojęciu jednoczesności. Poincaré, podobnie jak współcześni mu Planck, Sommerfeld i inni, zdawał sobie sprawę, że w historycznym rozwoju nauka o elektromagnetyzmie, idąca od jednego wielkiego sukcesu poznawczego do drugiego, od jednego wielkiego przełomu technicznego do następnego, zbudowana jest na niezwykle ulotnym fundamencie. Fundamentowi temu nadano nawet specjalną nazwę: eter.

Przez całe ostatnie ćwierćwiecze XIX w. najtęższe głowy fizyki zajmowały się problemem eteru. Zapropionowane jeszcze w 1879 r. przez Maxwella doświadczenie zostało w końcu wykonane przez Michelsona i Morleya w roku 1887. Doświadczenie to podważyło wiarę w istnienie eteru. Nikt z uczonych zmagających się z elektrodynamiką i jej związkami z „resztą” fizyki, ani irlandzki fizyk George FitzGerald (rys. 5), któremu zawdzięczamy wzbudzące do dziś nieprawdziwe skojarzenia pojęcie skrócenia FitzGeralda, ani Hendrik Lorentz (rys. 6), dzięki któremu na przełomie XIX i XX w. zrozumiano nie tylko wielkie obszary elektrodynamiki, ale również – tu też Lorentz wyprzedził Einsteina – fizyki statystycznej, nie widział istotnego związku między negatywnym wynikiem doświadczenia Michelsona–Morleya (wykazującym, że prędkość światła nie zależy od prędkości i kierunku ruchu inercjalnego układu odniesienia) a koniecznością fundamentalnej zmiany w pojmowaniu pojęcia czasu w fizyce. Lokalny czas Lorentza postrzegany był jako chytra sztuczka matematyczna, coś w rodzaju wprowadzanych ad hoc poprawek, by uratować spójność teorii Maxwella. Uratować, zanim się nie wymyśli czegoś nowego. Ale jak? Henri Poincaré wiedział, że tym czymś, co trzeba było zmienić, jest nie tyle pojęcie czasu – tu Poincaré z trudem godził się na rozstanie z newtonowskim pojęciem czasu absolutnego – co sposób, w jaki rozumie się pomiar czasu i pojęcie jednoczesności. W *Nauce i hipotezie* Poincaré dyskutuje szczegółowo problem czasu i nawet można znaleźć tam zda-

nie: „Nie istnieje czas absolutny. Powiedzenie, że dwie chwile są sobie równe, jest pojęciem pustym, nabierającym treści przez przyjęcie pewnej konwencji”. Ale były to tylko słowa. W analizie ruchu Poincaré nadal uważał, że istnieje czas absolutny, niezależny od ruchu obserwatora. Zdawał sobie jednak sprawę z niedoskonałości swojego rozumowania. W styczniu 1898 r. opublikował obszerny artykuł „O pomiarze czasu” w *Revue de Metaphysique et de Morale*, w którym dyskutował problem synchronizacji zegarów za pomocą sygnałów świetlnych lub radiowych i uważał za konieczne dokonanie rewizji pojmowania pojęcia jednoczesności zdarzeń. W swojej fizyce Poincaré był jednak bardziej konserwatywny niż w matematyce. Na zawsze pozostał więźniem swojej pozytywistycznej maksymy: „Nauka to fakty; tak jak dom zbudowany jest z kamieni, tak nauka powstaje z faktów. Jednakże sterta kamieni nie jest domem. Podobnie zbiór faktów niekoniecznie tworzy obraz naukowy”. Dlatego też Poincaré nie był gotów odrzucić – jak Einstein – np. błędnych wyników doświadczeń Walthera Kaufmanna dotyczących zależności masy elektronu od prędkości ruchu. W roku 1900 powrócił do tego tematu w pracy poświęconej teorii Lorentza. W 1904 r. wreszcie napisał pracę, w której sformułował tę teorię w całkowicie poprawnej matematycznie formie. W tej właśnie pracy udowodnił na przykład, że przekształcenia Lorentza tworzą grupę. A jednak to znacznie bardziej „prymitywna” matematycznie praca [4] Einsteina stworzyła dział fizyki, który Planck nazwał w rok później teorią względności. Poincaré nie był gotów przyjąć wynikającego z doświadczenia Michelsona–Morleya wniosku o nieistnieniu eteru.



Rys. 5. George FitzGerald (1851–1901). Życie i działalność tego niemal nieznanego uczonego zasługują na uwagę – od jego pionierskich prac nad interferencją fal elektromagnetycznych emitowanych przez nadajniki po budowę jednego z pierwszych modeli samolotowych.

Sądzę, że w debacie historycznej, czy rzeczywistość teoria względności Einsteina była różna od teorii rozwijanej przez Poincarégo, ciekawa może być pewna paralela ze świata sztuki [16], dotycząca malarstwa Cezanne’a i Maneta oraz Picassa. Cezanne

w swoich martwych naturach próbował zmierzyć się z problemem jednoczesnego przedstawienia zdarzenia (układ naczyń i owoców w konwencjonalnym zestawie martwej natury) widzianego przez różnych obserwatorów, a więc symultanicznie pokazującego obiekty w różnej perspektywie i z różnym horyzontem (patrz np. www.artofeurope.com/cezanne/cez3.htm). Podobnie można interpretować geometrię sławnego *Śniadania na trawie* Maneta (patrz np. www.impresjonizm.art.pl/manet/manet12.jpg). Każda z osób na tym obrazie widzi inny horyzont (co można poznać po różnej orientacji oczu postaci). Ponadto perspektywa obrazu zakłócona jest przez kąpiącą się postać w drugim planie obrazu.



Rys. 6. Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928) jest uznawany za najwybitniejszego fizyka holenderskiego. „Ratując” teorię Maxwella, wprowadził pojęcie czasu lokalnego i po raz pierwszy zapisał prawa dziś nazywane transformacją Lorentza.

Natomiast Picasso dzięki swemu geniuszowi stymulowanemu przez kontakty z geometrią nieeuklidesową i geometrią wielowymiarową dokonał w *Panach z Awinionu* syntezy jednoczesnego przedstawienia obiektu widzianego jako różne projekcje świata czterowymiarowego na dwuwymiarową płaszczyznę płótna. Świat obrazów Picassa po dziś dzień jest dla wielu trudny do zaakceptowania. Ciągłe żyją i widzą wszystko w newtonowskim świecie jednej, uniwersalnej perspektywy dla wszystkich, tak jak dla większości fizyków zajmujących się np. fizyką ciekłych kryształów newtonowskie pojęcie czasu absolutnego i związane z nim pojęcie jednoczesności zjawisk są naturalne i nikt nie będzie (przynajmniej na razie) formułował relatywistycznej teorii wyświetlaczy ciekłokrystalicznych (chyba że tenisiści i hokeiści zaczną jeszcze szybciej serwować czy podawać sobie krążek na lodzie). Prawdziwy obraz świata wymaga, by wszystkie nasze obserwacje przynajmniej w zasadzie można było sformułować w ramach szczególnej teorii względności. Einstein w swej pracy [4] nie sformułował takiego wygodnego opisu. Ciągłe jego rzeczywistość była

jak rzeczywistość Cezanne’a. Dopiero Hermann Minkowski (rys. 7) podał piękne, jednolite sformułowanie szczególnej teorii względności w ramach nieeuklidesowej geometrii czterowymiarowej.



Rys. 7. Hermann Minkowski (1864–1909)

Minkowski, urodzony w Aleksotach na przedmieściach dzisiejszego Kowna, nauczyciel Einsteina z czasów jego studiów na Politechnice w Zurychu, dokonał w fizyce XX w. podobnego kroku naprzód, co Picasso w sztuce. Fatalnym zbiegiem okoliczności Minkowski nie przeżył zabiegu chirurgicznego, dziś uważanego za niemal ambulatoryjny. Uczeń i nauczyciel, który nauczył się od ucznia, nigdy nie mieli już przez to szansy wspólnego dalszego działania.

Gdy patrzymy na historię powstania szczególnej teorii względności, na zmagania się Poincarégo, Einsteina, a przed nimi Lorentza z tym, co dziś opisane jest na kilkunastu stronach podręcznika Hallidaya i Resnicka, widzimy w tym wspaniały przykład, dowód na to, że w wielkim sporze o to, co jest motorem rozwoju nauki: czy powinniśmy uznać przypisywany Newtonowi model tego rozwoju jako realizację niczym nie stymulowanej ciekawości badacza, czy też słuszność przypisać winniśmy modelowi utilitarnemu nauki tworzącej postęp techniczny, związanemu z nazwiskiem Francisa Bacona, zwycięstwo przyznaje... Thomasowi Jeffersonowi i jego programowi rozwoju nauki [17]. Jeffersonowskie spojrzenie na rozwój nauki jest mi bowiem szczególnie bliskie. Jefferson uważał, że rozwój ten jest pochodną naturalnego rozwoju ciekawości indywidualnego badacza, ale kierunek, w którym następuje rozwój tego zainteresowania, jest w większości przypadków pochodną potrzeb epoki. Zarówno Poincaré, przez swój skrajny pozytywizm badawczy, jak i Einstein, dzięki sesjom Akademii Olympia i swej pracy w urzędzie patentowym, byli świadomi problemów nurtujących społeczeństwo ludzi myślących. Znali

trudności nowej, rodzącej się bez podstaw teoretycznych, zmieniającej świat techniki, wtedy zwanej telegrafem bez drutu. To pobudziło ich ciekawość, której nikt i nikt nie stawiał ram czy przeszkód.

Annus mirabilis 1905 to oczywiście też i rok pozostałych publikacji Einsteina, tej czwartej [5], zapomnianego rozdziału pracy [4], w której nie znajdujemy najbardziej bałamutnie wypisywanego wzoru fizycznego $E = mc^2$, i tej poświęconej – jak to dzisiaj mówimy – teorii ruchów Browna [3], bliskiej nam przez podobieństwo tematyki do badań Mariana Smoluchowskiego (interesujące i oryginalne spojrzenie na wkład Einsteina i Smoluchowskiego w teorię ruchów Browna i rozwój fizyki statystycznej oraz porównanie tych prac znaleźć można w wykładzie im. Smoluchowskiego wygłoszonym w Warszawie przez Nicolaasa G. van Kampena [18]), i innej fundamentalnej pracy [2], z której zrodziła się mechanika kwantowa. To w tej pracy Einstein tłumaczył szereg doświadczeń wykonanych przez odbierającego w 1905 r. Nagrodę Nobla Philippa Lenarda. Bertolt Brecht zamieścił w *Nędzy i trwodze III Rzeszy* scenę, w której dwaj młodzi fizycy rozmawiają o ogólnej teorii względności, dzieląc się informacjami uzyskanymi spoza III Rzeszy; w pewnej chwili orientują się, że ktoś może ich podsłuchiwać, i natychmiast zaczynają mówić o teorii względności językiem zaczerpniętym z nazistowskiego tekstu Philippa Lenarda *Die Deutsche Physik*. Lenard całe swoje naukowe życie, po klęsce Niemiec w I wojnie światowej, poświęcił gloryfikacji i wspieraniu pseudonaukowych, nacjonalistycznych i antysemickich prądów w życiu intelektualnym swego kraju. Złote insygnia i Wielką Naukową Nagrodę hitlerowskiej partii NSDAP przypinał do piersi sędziwego Lenarda w 1936 r. sam Alfred Rosenberg. Umierający w 1947 r. w zapomnieniu i otoczony pogardą w małym badeńskim Messelhausen Lenard przeżył swego powieszonoego w Norymberdze laudatora i mógł jeszcze widzieć, jak działania jego i podobnych mu intelektualnych baronów nazizmu doprowadziły kraj, gdzie powstała współczesna fizyka, gdzie narodziła się XX-wieczna architektura, gdzie kwitło wspaniałe malarstwo i wszelkie sztuki, do narodowej katastrofy. Za katastrofę tę świat zapłacił cenę, której w gruncie rzeczy do dziś dnia nie znamy i którą spłacać przyjdzie jeszcze wielu pokoleniom.

Powstała w 1905 r. teoria względności nie tylko zmieniła fizykę. Zmieniła ona też niebagatelną część filozofii. Miała wielki wpływ na sztukę XX w. Bruno Winawer oraz wielu innych pisało mniej lub bardziej udane sztuki teatralne i książki. George Gamow przez swego *Mr. Tompkinsa* na pokolenia utrwalił błędne przekonanie o tym, co oznacza einsteinowskie pojęcie jednoczesności. Do dziś nawet w dobrych podręcznikach fizyki, w ich części poświęconej teorii względności pojawiają się dyskusje o tym, „czy można zaparkować poloneza w garażu dla malucha”, wykorzystując skrócenie FitzGerala–Lorentza. Tylko gdzieś tam można znaleźć prawidłowe wyjaśnienie, jak widzimy

szybko poruszające się obiekty [19]. Mimo że działają akceleratory, że coraz więcej kierowców korzysta z GPS-u, a rtęć – aczkolwiek zakazana – nadal jest ciekła [20], teoria względności pozostaje otoczona mgłą jakiejś tajemniczości i niezrozumienia.

Albert Einstein powiedział kiedyś: „Gdybym to wszystko wiedział przedtem, zostałbym ślusarzem”. Chwała Bogu, nie wiedział.

Literatura

- [1] *Front page physics: A century of physics in the news*, red. A.J. Meadows, M.M. Hancock-Beaulieu (Institute of Physics Publishing Ltd., Bristol 1990).
- [2] A. Einstein, „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt”, *Annalen der Physik* **17**, 132–148 (1905).
- [3] A. Einstein, „Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen”, *Annalen der Physik* **17**, 549–560 (1905).
- [4] A. Einstein, „Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, *Annalen der Physik* **17**, 891–921 (1905).
- [5] A. Einstein, „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?”, *Annalen der Physik* **18**, 639–641 (1905).
- [6] A. Einstein, *Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen*, Inaugural-Dissertation, Universität Zürich (Buchdruckerei K.J. Wyss, Bern 1905).
- [7] *Die Didaktik beginnt mit der Anschauung*, Dni Goethego na Uniwersytecie Johanna Wolfganga Goethego we Frankfurcie n. Menem; www.uni-protokolle.de/nachrichten/id/49157/.
- [8] A. Einstein, M. Besso, *Correspondance 1903–1955*, tłum. na j. franc. i oprac. P. Speziali (Hermann, Paris 1972).
- [9] M. Hollingsworth, *Sztuka w dziejach człowieka* (Osso-lineum, Wrocław 1992).
- [10] *Speculations on the Fourth Dimension. Selected Writings of Charles H. Hinton* (Dover, 1980).
- [11] H.P. Blavatsky, *The Secret Doctrine* (1888); patrz też Theosophical University Press Online Edition: www.theosociety.org/pasadena/sd/sd-hp.htm.
- [12] M. Houellebecq, *Cząstki elementarne*, tłum. A. Daniłowicz-Grudzińska (Wydawnictwo W.A.B., Warszawa 2003).
- [13] R. Abraham, R. Sheldrake, T. McKenna, *Zdążyć przed apokalipsą. Nauka i mistyka na drodze do resakralizacji świata* (Limbus, Bydgoszcz 1995).
- [14] A.I. Miller, *Einstein, Picasso: Space, Time, and the Beauty That Causes Havoc* (Basic Books, New York 2001).
- [15] S. Kern, *The Culture of Time and Space, 1880–1918: With a New Preface* (Harvard University Press, Cambridge, Mass. 2003).
- [16] L. Shlain, *Arts and Physics: Parallel Visions in Space, Time, and Light* (HarperCollins Publishers, New York 1992).
- [17] G. Holton, *Science and Anti-Science* (Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1993), s. 103.
- [18] N.G. van Kampen, *Postępy Fizyki* **37**, 351 (1986).
- [19] R. Katz, *Wstęp do szczególnej teorii względności* (PWN, Warszawa 1967).
- [20] S. Siekierski, *Postępy Fizyki* **50**, 175 (1999).

ŁUKASZ A. TURSKI jest profesorem w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN i na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym UKSW w Warszawie. Specjalizuje się w fizyce materii skondensowanej i fizyce statystycznej. Autor stu kilkudziesięciu prac z fizyki teoretycznej, kilkudziesięciu artykułów popularnonaukowych oraz podobnej liczby audycji radiowych i dziesięciu programów telewizji publicznej z cyklu „Czym jest...”. Przez cztery lata wygłaszał cotygodniowy felieton radiowy w publicznym Radiu BIS. Twórca Warszawskich Pikników Naukowych. Laureat Nagrody im. Steinhausa i Medalu Europejskiego Towarzystwa Fizycznego. Wybrany na członka KBN-u w kadencji 2000–2004. Publicysta drukujący w *Znaku*, *Tygodniku Powszechnym*, *Wprost*, *Odrze*, *Forum Akademickim* i *Rzeczpospolitej*.



■ Henryk Wilczyński

Urodził się w 1951 r. w Szamocinie (Wielkopolska). Studia fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim ukończył w 1974 r. Od tego czasu jest nieprzerwanie związany z Instytutem Fizyki Jądrowej w Krakowie, gdzie uzyskał stopień doktora w 1985 r. Jego rozprawa doktorska dotyczyła produkcji cząstek w oddziaływaniach neutrin z jądrami (promotor doc. Władysław Wolter). W roku 1996 habilitował się, a tytuł profesora uzyskał 4 kwietnia 2005 r.

Jego zainteresowania badawcze obejmują doświadczalną fizykę wysokich energii, w szczególności oddziaływania wysokoenergetycznych leptonów, hadronów i jąder z jądrami, a także astrofizykę promieni kosmicznych. Pracował w czołowych ośrodkach fizyki cząstek (FNAL, CERN, BNL, ZIBJ), uczestnicząc w wielu eksperymentach, których celem było badanie produkcji cząstek i fragmentacji jąder w zderzeniach wiązek akceleratorowych z tarczami jądrowymi przy wysokich energiach. Jego rozprawa habilitacyjna dotyczyła doświadczalnego badania promieni kosmicznych w zakresie energii poniżej 10^{15} eV – zarówno ich oddziaływań, jak i aspektów astrofizycznych. Obecnie pracuje nad realizacją międzynarodowego Projektu Pierre Auger, poświęconego fascynującemu zagadnieniu pochodzenia promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii (powyżej 10^{19} eV) – największych energii cząstek, jakie obserwujemy w przyrodzie.



Kilkakrotnie wyjeżdżał, w latach 1980–90, na dłuższe staże naukowe do USA (FNAL, University of Washington, Louisiana State University). Prowadził wykłady dla doktorantów w IFJ. Do tej pory wypromował dwóch doktorów i był opiekunem czterech prac magisterskich. Jest autorem ponad 160 prac naukowych, w tym 55 w recenzowanych czasopismach międzynarodowych. Obecnie jest kierownikiem Pracowni Promieni Kosmicznych i wiceprzewodniczącym Rady Naukowej Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

Żonaty, ma dwoje dzieci. Uprawia narciarstwo zjazdowe, lubi górskie wycieczki i muzykę klasyczną.

■ Tomasz Gregorkiewicz

Urodził się w 1950 r. w Warszawie. Studiował fizykę na Uniwersytecie Warszawskim. Studia ukończył w 1973 r. i podjął pracę jako asystent w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie. Uzyskał tam, na podstawie rozpraw dotyczących fizyki krzemu, stopnie naukowe: doktora w 1980 r. (promotor prof. Karolina Leibler) i doktora habilitowanego (1989).

W tym samym roku w wyniku otwartego konkursu został pracownikiem Instytutu Van der Waals–Zeemana Uniwersytetu Amsterdamskiego i przeniósł się wraz z rodziną do Holandii. W roku 2003 został mianowany przez rektora Uniwersytetu Amsterdamskiego profesorem fizyki materiałów optoelektronicznych. Prezydent RP nadał mu tytuł naukowy 14 czerwca 2005 r.



Prowadzi intensywną pracę badawczą i dydaktyczną. W chwili obecnej kieruje własną grupą badawczą zajmującą się fotoniką krzemu i krzemopochodnych materiałów optoelektronicznych. Swoistą specjalnością jego grupy stało się rozwinięcie i zastosowanie do tych badań spektroskopii dwukolorowej z zastosowaniem lasera na swobodnych elektronach. Ta ciągle udoskonalana unikalna technika pomiarowa okazała się wyjątkowo przydatna do badania procesów przekazywania energii, w szczególności przy udziale płytkich stanów charakterystycznych dla krzemu.

Jest autorem ponad 170 oryginalnych publikacji i wielu referatów na zaproszenie na prestiżowych konferencjach. Pod jego kierunkiem powstało 13 doktoratów i liczne prace magisterskie.

Współpracuje z czołowymi ośrodkami zajmującymi się fizyką krzemu w Europie, USA, Japonii i Australii. Jest uczestnikiem i kierownikiem licznych międzynarodowych programów badawczych, finansowanych m.in. przez Komisję Europejską, INTAS i Biuro Badawcze US Army. Utrzymuje żywe kontakty ze środowiskiem polskich fizyków, w tym z instytutami fizyki PAN w Poznaniu, Warszawie i Wrocławiu.

Żonaty (żona jest inżynierem elektronikiem), ma czworo dzieci.

■ Janusz Sylwester

Urodził się w 1950 r. w Opolu. Studia astronomiczne odbył na Uniwersytecie Wrocławskim, kończąc je w 1972 r. pracą magisterską z heliofizyki. W roku 1977 obronił pracę doktorską (promotor prof. Jerzy Jakimiec). Habilitował się w 1988 r. – rozprawa (poprzedzona artykułem w *Nature*) dotyczyła świadectwa istnienia zmian obfitości wapnia w plazmie rozbłysków słonecznych. Tytuł profesora nauk fizycznych otrzymał 20 maja 2005 r.



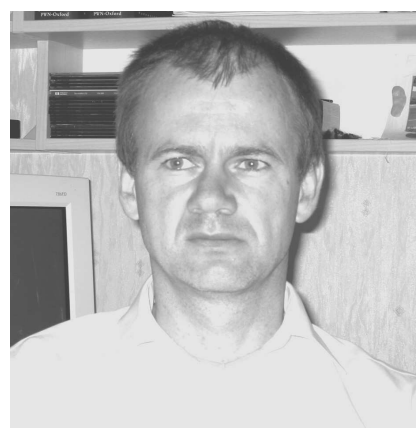
Zajmuje się heliofizyką i spektroskopią. Początkowo pracował we wrocławskiej Pracowni Związków Słońce–Ziemia w Zakładzie Astronomii PAN, która przekształciła się w 1980 r. w Zakład Fizyki Słońca Centrum Badań Kosmicznych PAN. Od tego czasu pełni funkcję kierownika tego Zakładu i zajmuje się także projektowaniem oraz prowadzeniem eksperymentów kosmicznych. Pod jego kierunkiem we współpracy z partnerami z Czech, Rosji, Wielkiej Brytanii i USA zostały zbudowane następujące przyrządy kosmiczne: raketowy dopplerometr rentgenowski RDR, fotometr rentgenowski RF15-I (misja satelitarna INTERBALL-tail), rentgenowskie spektrometry braggowskie Diogeness oraz RESIK (misja KORONAS-F).

Swoje doświadczenie doskonalił podczas wielu wyjazdów naukowych, m.in. do Instytutu Fizyki im. P.N. Lebediewa (Moskwa), Space Research Laboratory (Utrecht), Goddard Space Flight Center (Waszyngton), National Oceanic and Atmospheric Administration (Boulder), Mullard Space Science Laboratory (Londyn). Ma w dorobku 160 publikacji, wygłosił kilkanaście referatów na zaproszenie na sympozjach związanych z fizyką Słońca i spektroskopią rentgenowską plazmy. Jest członkiem Oddziału Fizyki Słońca Europejskiego Towarzystwa Fizycznego. Wielokrotnie wchodził w skład Sekcji Astronomii oraz Badań Kosmicznych KBN.

Ma żonę Barbarę (również heliofizyk, dr habilitowany), syna Łukasza i córkę Karolinę. Lubi pływanie, bieganie, jazdę na rowerze, słuchanie muzyki – najchętniej klasycznej na koncertach w filharmonii. Jego hobby to programowanie.

■ Adam Lipowski

Urodził się w 1962 r. w Zielonej Górze. Studiował na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, gdzie uzyskał magisterium z fizyki w 1986 r. Pracę doktorską poświęconą zastosowaniu metod diagramowych do badania modeli spinowych obrotów w 1991 r. (promotor prof. Zbigniew Jacyna-Onyszkiewicz). Habilitował się w 1997 r. na podstawie rozprawy „Wybrane metody badania niskowymiarowych modeli spinowych o spinie $S > 1/2$ ”. Tytuł naukowy otrzymał 29 sierpnia 2005 r.



Od 1986 r. pracuje w Instytucie Fizyki UAM. Początkowo zajmował się badaniem własności krytycznych i przemian fazowych w równowagowych modelach spinowych. Aktualnie jego badania dotyczą dynamicznych własności układów szklistych i granularnych. Ponadto zajmuje się przemianami fazowymi w układach nierównowagowych oraz komputerowym modelowaniem systemów złożonych. W szczególności interesują go pewne aspekty dynamiki ekosystemów oraz zachowanie się społeczeństw w sytuacjach konfliktowych.

Dzięki stypendiom z Inoue Foundation, a następnie Nishina Memorial Foundation, prowadził w latach 1991–93 badania na Uniwersytecie Tokijskim. Pracował na Uniwersytecie Tohoku (Sendai, Japonia) oraz Heriot-Watt University w Edynburgu. W latach 2001–04 prowadził prace badawcze na Uniwersytecie Genewskim.

Jego dorobek to ok. 70 prac naukowych oraz współautorstwo książki poświęconej przejściom fazowym. Promotor jednej pracy doktorskiej. Kierował dwoma projektami KBN. W roku 2001 otrzymał nagrodę indywidualną ministra edukacji narodowej. Prowadził różne zajęcia dydaktyczne, m.in. wykłady z mechaniki statystycznej i mechaniki kwantowej. Aktualnie prowadzi wykład z symulacji komputerowych. Będąc zagorzałym użytkownikiem Fortranu 77, z wielką przyjemnością zgłębia arkana programowania obiektowego i Javy.

Jest żonaty i ma troje dzieci. Lubi aerodynamikę przy niezbyt dużej liczbie Reynoldsa (jazda na rowerze) oraz przemianę energii kinetycznej w potencjalną (spacery w górach).

Dźwięki i fale

Rufin Makarewicz: *Dźwięki i fale*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2004, s. 268.

W ubiegłym roku ukazała się na rynku księgarskim bardzo intrygująca i interesująca książka, napisana przez profesora Rufina Makarewicza ze swadą i dużym zaangażowaniem dydaktycznym. Została ona wydana przez Wydawnictwo Naukowe UAM w Poznaniu. Jest to typowy podręcznik akademicki, mogący jednak służyć nie tylko studentom, ale także ludziom zajmującym się problemami akustyki wewnątrz i ochroną przed hałasem oraz wszystkim, którzy chcieliby zapoznać się z podstawami akustyki przedstawionymi w sposób bardzo przystępny i jasny.

Autor jest wieloletnim pracownikiem naukowo-dydaktycznym Instytutu Akustyki UAM. Zajmuje się zagadnieniami akustyki środowiska, co wykorzystuje w praktyce do walki z hałasem. Interesuje się również muzyką – przejawia się to na stronicach jego książki.

Książka składa się z 17 paragrafów, indeksu rzeczowego i indeksu nazwisk, ma 268 stron, 105 rysunków oraz 7 tabel. Jest ona owocem wieloletniej pracy dydaktycznej prof. Makarewicza jako wszechstronnego akustyka-praktyka. Czytając podręcznik, wyczuwa się dużą przyjemność Autora z dzielenia się posiadaną wiedzą.

Pierwsze trzy rozdziały, poprzedzone wstępem, opisują własności i cechy subiektywne fal akustycznych: głośność, wysokość i barwę, które są podstawowymi cechami dźwięku. Następny rozdział omawia superpozycję fal spójnych i niespójnych. Korzystając z wyprowadzonych zależności, Autor wyjaśnia zasadę aktywnego tłumienia hałasu, która jest obecnie coraz częściej stosowana w ochronie ludzi narażonych na działanie fal akustycznych o dużych natężeniach.

Rozdział szósty i siódmy zawiera opis fal płaskich i kulistych, a następny – ich zachowanie na granicy dwóch ośrodków. W rozdziałach 9–11 omówiono fale w przestrzeni zamkniętej i fale stojące, czyli sposoby rozprzestrzeniania się fal w pomieszczeniach oraz wykorzystanie tych sposobów przy ich projektowaniu i wyciszaniu. Zademonstrowano różnego rodzaju falowody oraz instrumenty muzyczne, aby na końcu przedstawić układy akustyczne.

W dwóch następnych rozdziałach pokazano dwa rodzaje źródeł: dyskretne i rozciągłe (liniowe i powierzchniowe) oraz fale pochodzące z kilku różnych źródeł i związane z nimi zjawiska: dipol akustyczny oraz hałas miejski i drogowy. W ostatnich trzech rozdziałach opisano dokładnie zjawiska dyfrakcji, rozpraszania i refrakcji oraz zjawisko Dopplera i przekraczanie bariery dźwięku.

Na zakończenie pokazano, z jakimi gałęziami akustyki powiązana jest tematyka przedstawiona w książce oraz zamieszczono obszerny spis książek, w tym w języku polskim, dotyczących opisywanej dziedziny, co bardzo ułatwia czytelnikowi poszerzenie wiadomości z akustyki i dotarcie do literatury.

Do każdego rozdziału dołączone jest podsumowanie, które zwięźle go streszcza i pokazuje czytelnikowi jego najważniejsze elementy.

Bardzo interesujące wydaje się dołożenie do tego podręcznika, przeznaczonego przecież dla kierunków ścisłych, wielu informacji biograficznych, które dają odroczyny przy studiowaniu wzorów oraz urozmaicają i wzbożają przedstawiane tematy.

W książce znalazłem trochę błędów, które jednak nie wpływają na jej wartość merytoryczną i nie zmieniają mojej bardzo pozytywnej o niej opinii.

- Autor używa wymiennie terminów prędkość akustyczna (s. 16) i prędkość drgań (s. 18), co wprowadza trochę zamieszania.
- Czasami wyciągane wnioski sięgają chyba trochę za daleko i nie są zapewne do końca prawdziwe, choć budzą refleksję i zainteresowanie (np. s. 31: „Prawdopodobnie relacje liczbowe, które leżą u podstawy interwałów muzycznych i nieprzypadkowe ciągi tych interwałów kształtują matematyczne własności mózgu”). Są też stwierdzenia odważne, ale niemożliwe do udowodnienia w najbliższej przyszłości (np. s. 31: „Upodobanie do muzyki jest dziedzictwem biologicznym, którego ślady można odnaleźć w »pieśniach« niektórych delfinów, wielorybów i małp człekokształtnych. Nie ulega wątpliwości, że ciągi tych dźwięków są melodiami”).
- Stwierdzenie, że głośność – jedna z subiektywnych cech dźwięku – jest jego cechą najważniejszą (s. 33) nie jest oczywiste, choć z drugiej strony zmusza do myślenia i ewentualnych dyskusji z wykładownicą.
- Wymieniając zjawiska, Autor stwierdza błędnie (s. 32), że odbicie nie ma wpływu na częstotliwość fali, a na stronie 9 (i to już jest prawdą), że wysokość dźwięku zmienia się tylko wskutek względnego ruchu źródła i słuchacza; a co w przypadku, gdy porusza się obiekt odbijający?
- Mieszanie w jednym tekście nazw falowodu i dźwiękowodu jest trochę mylące (s. 70–71). Oczywiście z punktu widzenia stylistyki jest to uzasadnione, ale raczej tylko w tekstach humanistycznych.
- Podana przez Autora amplituda drgań cząstki akustycznej $3 \cdot 10^{-11}$ m (s. 82) jest o 4–5 rzędów wielkości za mała (dla reakcji ucha $\Delta p \approx 10^{-4}$ Pa amplituda drgań wynosi ok. 10^{-6} m).
- Przy wyznaczaniu odległości od przeszkody niezbędnej do powstania echa (s. 108) nie trzeba przyjmować, że $\Delta T \gg 0,1$ s, wystarczy założenie $\Delta T > 0,1$ s (co daje $d \approx 17$ m, a nie $d \gg 20$).
- Nazwanie zbioru harmonicznym „skolektyzowanymi drganiami cząstek akustycznych” (s. 141) nie jest najszczęśliwsze.
- Przy dyskusji superpozycji fal w p. 12.1. warto byłoby przytoczyć wykresy przedstawiające miejsca geometryczne wygaszania bądź wzmacniania dwóch interferujących ze sobą fal kulistych.

- Nie do końca jest prawdziwe stwierdzenie, że gwizd czajnika z kuchni słyszemy w pokoju dzięki dyfrakcji (s. 205). Za dotarcie w tym przypadku fali do odbiorcy odpowiedzialne są raczej odbicia.
- Kąty padania i załamania, zgodnie z zasadami przyjętymi w fizyce, powinno się mierzyć od prostopadłej do powierzchni, a nie od powierzchni, na którą pada fala (rys. 15.1 i 15.3, s. 229 i 221).
- Przy tłumaczeniu zjawiska Czerenkowa (s. 254) należy bezwzględnie zaznaczyć, że prędkość fali elektromagnetycznej, którą przekracza naładowana cząstka, to prędkość światła w danym ośrodku. Zapisanie tej zależności w postaci $V_s > c$ sugeruje prędkość światła w próżni, której przekroczenie, jak wszyscy wiedzą, jest niemożliwe.
- Jak wiadomo, fale sprężyste mogą mieć – w przeciwieństwie do elektromagnetycznych – także kierunek drgań równoległy do kierunku propagacji (drżania podłużne). Uważam to za rzecz nie tylko bardzo ważną, ale i ciekawą. Autor powinien o tym wspomnieć w rozdziale 8 lub p. 15.1, pokazując rysunki zadziwiających zjawisk załamania i odbicia (zwłaszcza na granicy z ciałem stałym!).

W podsumowaniu muszę skonstatować, że książka napisana jest bardzo ciekawie, przejrzysto oraz starannie i w pełni zasługuje na miano dobrego podręcznika, a Autor – na miano wielkiego erudyty.

Bogumił Linde

Institut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Gdański

Ekonofizyka

Rosario N. Mantegna, H. Eugene Stanley: *Ekonofizyka: Wprowadzenie*, przekład Ryszard Kutner, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001, s. 164.

Rosario Nunzio Mantegna i Harry Eugene Stanley podjęli się trudnego zadania, jakim było napisanie pierwszej, „pionierskiej” książki w nowej interdyscyplinarnej dziedzinie naukowej zwanej ekonofizyką. Dziedzinę tę można opisać jako zastosowanie metodologii fizyki i jej metod rachunkowych do opisu złożonych zjawisk ekonomicznych, często jednak zawężanych do obszaru rynków finansowych. Samo pojęcie „ekonofizyka” pojawiło się w literaturze zaledwie dekadę temu i od początku wzbudziło kontrowersje w środowisku fizyków, ekonomistów i matematyków finansowych. Powodem tych kontrowersji były oczywiste w dziedzinach interdyscyplinarnych bariery kulturowe: brak wspólnej bazy pojęciowej, niedostatki wiedzy w dziedzinach, z których każda wymaga kilkuletnich studiów, nadużywanie żargonu specyficznego dla danej dyscypliny. Z podejrzliwością odnoszono się też do samej możliwości zastosowania fizyki do modelowania skomplikowanych i na pewno niestacjonarnych zjawisk dotyczących rynków finansowych. Wydaje się, że w ferworze krytyki zapomniano, że związki nowoczesnej eko-

nomii i fizyki są znane od dawna. Wiek XIX to w ekonomii okres fascynacji mechaniką analityczną w sformułowaniu Hamiltona i Lagrange’a i wiele prób opisanie zjawisk ekonomicznych przez ekstremalizację pewnych funkcjonałów zwanych funkcjami użyteczności, w analogii do znanych zasad wariacyjnych mechaniki. Budowano nawet mechaniczne lub hydrodynamiczne konstrukcje eksperymentalne służące ilustracji zasad ekonomicznych (np. równowagi ekonomicznej). Początek XX w. to okres przełomów w fizyce teoretycznej: teoria kwantów i probabilistyczny opis zjawisk za pomocą fizyki statystycznej. Choć matematyk Bachelier, studiując dynamikę cen na paryskiej giełdzie, sformułował teorię dyfuzji już na dwa lata przed Einsteinem i Smoluchowskim, a fizyk Majorana zaproponował w latach trzydziestych metody fizyki statystycznej do opisu zjawisk socjoekonomicznych, upłynęło kilkadziesiąt lat, nim ekonomia w pełni zaczęła korzystać z tych odkryć naukowych. Na przykład, rozwinięcie idei Bacheliera doprowadziło do fundamentalnych odkryć w ekonomii (Nagrody Nobla dla Osborne’a, Samuelsona, Scholesa, Mertona), a realizacja wizji Majorany we współczesnej ekonofizyce to prace Bouchaud, Stanleya, Mantegny, Sornette’a, Mandelbrota, Goldenfelda i wielu innych. Statystyczny charakter opisu zjawisk ekonomicznych i finansowych stał się możliwy dzięki powstaniu komputerów i możliwości zapisu oraz przetwarzania ogromnej ilości danych dzięki wykładniczemu wzrostowi możliwości obliczeniowych.

Ten właśnie aspekt współczesnych rynków finansowych jest punktem wyjścia podejścia Mantegny i Stanleya. Autorzy patrzą na rynki finansowe jako na układy złożone, scharakteryzowane za pomocą ogromnej ilości danych na wielu skalach czasowych, łącznie z kilkusekundowymi. Dla tych układów starają się zaproponować metody fizyki statystycznej pozwalające na znajdowanie nietrywialnych korelacji, których znajomość umożliwi przewidywanie określonych zjawisk giełdowych.

Książka składa się z 15 rozdziałów. Po dobrze napisanym wstępie przedstawiającym motywację Autorów do jej napisania, Mantegna i Stanley przypominają w rozdziale drugim podstawowe koncepcje i założenia ekonomiczne. Rozdziały trzeci i czwarty to zgrabne repetytorium z ruchów Browna i wstępu do klasycznego rachunku prawdopodobieństwa. Ekonofizyka pojawia się w rozdziale piątym – na podstawie danych doświadczalnych Autorzy identyfikują różne zachowania zmian cen na wielu skalach czasowych i pokazują odejście od obszaru gaussowskiego (dla coraz krótszych skal czasowych) w stronę rozkładów potęgowych (tzw. ciężkich ogonów). Następnie badają granice stacjonarności i mierzą korelacje czasowe dla szeregów czasowych (rozdziały 6–7). Przedstawione w rozdziałach 5–7 wyniki oparte są na oryginalnych i klasycznych dziś pracach Autorów – wszak Gene Stanley z Uniwersytetu w Bostonie to jeden z pionierów ekonofizyki, a Rosario Mantegna to jego dawny uczeń, obecnie dyrektor Obserwatorium Układów Złożonych na Uniwersytecie w Palermo.

Po „empirycznych” rozdziałach 5–7 Autorzy dyskutują w rozdziale 8 różne modele teoretyczne, za pomocą których usiłowano (wykazując w ten sposób często zbyt wygórowane ambicje) opisać znalezione prawidłowości. Rozdział dziewiąty to spekulacje dotyczące prób zrozumienia ekstremalnych i spektakularnych zjawisk giełdowych typu krachów. Podobnie spekulacyjny charakter ma rozdział 11, w którym Autorzy przedstawiają swój punkt widzenia na próby opisu mechanizmów cenowych wzorowanego na teorii turbulencji. Poprzedza go rozdział zawierający w tytule tajemnicze skróty ARCH i GARCH, czyli opisujący pewne popularne w ekonomii i matematyce finansowej procesy niemarkowskie.

Kolejnym tematem książki jest analiza tzw. portfela giełdowego i sposoby znajdowania korelacji między różnymi elementami tego portfela (np. akcjami) w celu zminimalizowania ryzyka giełdowego. Jedną z metod wyszukiwania takich korelacji jest znana w ekonomii analiza znajdowania klastrów, oparta na koncepcji przestrzeni ultrametrycznych (rozdział 13). Inna metoda, opisana pobieżnie w rozdziale 12, to analiza widma finansowych macierzy kowariancji za pomocą technik teorii macierzy przypadkowych. Szkoda, że metodzie tej poświęcono tak mało miejsca: dziś, z perspektywy 5 lat, które upłynęły od napisania książki, zastosowanie teorii macierzy przypadkowych do analiz giełdowych wydaje się jednym z najważniejszych wkładów ekonofizyki do współczesnej inżynierii finansowej.

Ostatnie dwa rozdziały poświęcone są analizie instrumentów pochodnych, głównie opcji. Pierwszy z tych rozdziałów opisuje klasyczne rozwiązanie Blacka–Scholesa, czyli (dla fizyka) rozwiązanie problemu dyfuzji z pewnym nietypowym warunkiem brzegowym. W ostatnim rozdziale rozważane są pobieżnie modyfikacje rygorystycznego pod względem matematycznym podejścia Blacka–Scholesa w celu opisanego realistycznych rynków spekulacyjnych. Rozdziały te mają, moim zdaniem, jedynie pewien walor popularyzatorski – w szczególności nie można na nich oprzeć wykładu dotyczącego instrumentów pochodnych.

Opisany wyżej obszerny, choć często nieco eklektyczny dobór tematów zawarty jest na zaledwie 164 stronach. Nie jest to jednak wadą tej książki, lecz jej wielką zaletą. Pomimo że w chwili obecnej jest na rynku około 10 książek „ekonofizycznych”, pionierska praca Mantegny i Stanleya jest, moim zdaniem, nadal jednym z najprzystępniejszych wprowadzeń do tej dziedziny. Mała objętość książki i żywy, obrazowy sposób narracji (zachowany w bardzo dobrym polskim tłumaczeniu Ryszarda Kutnera) powoduje, że czytelnik łatwo i szybko jest sobie w stanie odpowiedzieć na pytanie, czym jest ekonofizyka i czy chciałby się nią zawodowo zajmować.

Maciej Andrzej Nowak
Instytut Fizyki
Uniwersytet Jagielloński

WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

WSPÓŁCZESNA WIEDZA O REZONANSACH MAGNETYCZNYCH!



J. Stankowski, W. Hilczer

Wstęp do spektroskopii rezonansów magnetycznych

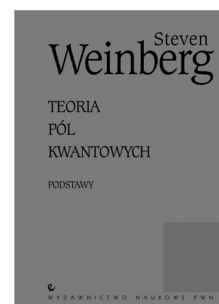
Cena 29,90 zł

Najważniejsze informacje dotyczące spektroskopii różnych typów rezonansów magnetycznych:

- spinowego rezonansu magnetycznego
- elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR)
- jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR).

Przedstawiono zarówno teorię opisanych zjawisk, jak i praktyczne metody rezonansowe, ich zastosowania oraz przykłady interpretacji otrzymanych wyników.

DRUK na ŻĄDANIE w PWN



Steven Weinberg
TEORIA PÓL KWANTOWYCH,
t. 1 Podstawy
ponownie w ofercie!

Drukujemy na specjalne zamówienie pojedyncze egzemplarze.

Sprawdź naszą ofertę w internecie
dnz.pwn.pl

www.pwn.pl • infolinia 0 801 33 33 88 (0,35 zł za 3 minuty)

Teoria względności trzyma się mocno

Tytuł i pierwszy akapit artykułu Pospelova i Romalisa („Niezmienniczość lorentzowska wystawiona na próbę”, *PF* 56, zes. 5 (2005)) sugerują więcej, niż artykuł ten faktycznie zawiera. Wynika to z niewłaściwej roli przypisywanej jawnej niezmienniczości lorentzowskiej (tj. relatywistycznej) teorii fizycznych. Dodatkowe nieporozumienie bierze się stąd, że określenie „łamanie niezmienniczości lorentzowskiej” jest terminem fachowym, nieoznaczającym, że teoria względności jest naruszona.

Istotą teorii względności (szczególnej) jest stwierdzenie, że fizyczna czasoprzestrzeń ma geometrię przestrzeni Minkowskiego (efekty grawitacyjne pomijamy). Fizyczną tego konsekwencją są dwa fakty: istnienie stałej uniwersalnej o wymiarze prędkości, którą teoretycznie, a następnie doświadczalnie utożsamiamy z prędkością światła w próżni, oraz to, że nie istnieje absolutny czas, lecz że każdy dobry zegar mierzy czas własny będący geometrycznie długością jego linii świata. Oba fakty są weryfikowane w nowoczesnych wersjach doświadczenia Michelsona–Morleya i Ivesa–Stilwella oraz w pomiarach czasu życia ultrarelatywistycznych cząstek elementarnych (np. mionów), dając doskonałą zgodność eksperymentu z teorią.

Geometria Minkowskiego czyni w pełni równoprawnymi wszystkie inercjalne układy odniesienia, co sugeruje, by na każdą teorię fizyczną nałożyć warunek jawnej niezmienniczości relatywistycznej. Istnieją zjawiska i opisujące je teorie spełniające ten postulat. Weźmy płaską falę elektromagnetyczną. Nie wyróżnia ona żadnego układu inercjalnego, a w szczególności nie ma układu spoczynkowego. W rezultacie wszystkie jej charakterystyki zależą od układu, w którym się ją obserwuje: jeżeli w ziemskim układzie laboratoryjnym przybywającą z przestrzeni kosmicznej falę rejestrujemy jako twarde promieniowanie γ , to w innym układzie odniesienia jest ona długą falą radiową. Za pomocą transformacji Lorentza można też każdej fali płaskiej nadać dowolnie dużą lub dowolnie małą amplitudę.

Nie każde zjawisko fizyczne jest tak jawnie relatywistycznie niezmiennicze. Wiele zjawisk realizuje tę niezmienniczość w sposób bardziej subtelny. Procesy zachodzące w polach klasycznych opisujemy klasyczną teorią pola, która w sformułowaniu lagranżowskim jest jawnie kowariantna. Kwantowanie tych pól wymaga formalizmu hamiltonowskiego, który nie jest jawnie kowariantny. Kwantowa teoria pola jest relatywistycznie niezmiennicza, lecz nie tak *explicite* jak wyjściowa teoria klasyczna.

Termodynamika jest niemal uniwersalną (lecz nie fundamentalną) teorią fizyczną. Szeroki zakres jej ważności ujawnił się w spektakularny sposób przed 30 laty, gdy stwierdzono, że podlegają jej nie tylko ciała makroskopowe zbudowane z rozmaitych cząstek, a więc podległe teorii kinetycznej, lecz również obiekty egzotyczne – czarne dziury. Pomińmy dla prostoty czarne dziury. Roz-

ciągłe ciało makroskopowe zawsze wyróżnia pewien układ odniesienia – układ własny, czyli układ inercjalny, w którym chwilowo spoczywa. Jeżeli ciałem tym jest np. rwący strumień górski, to nie istnieje globalny układ własny, a jedynie lokalne układy własne: układy, w których przez chwilę spoczywają poszczególne krople cieczy. Dla szybko płynącej cieczy sformułowano hydrodynamikę relatywistyczną i ściśle z nią stowarzyszoną termodynamikę relatywistyczną. Obie teorie są na pozór jawnie niezmiennicze lorentzowsko, formułuje się je bowiem za pomocą tensorów (kartezjańskich, lecz przejście do tensorów względem dowolnych transformacji w czasoprzestrzeni z krzywizną nie jest trudne). Ta jawna niezmienniczość jest pozorna, bowiem lokalne układy własne zachowują wyróżnioną rolę fizyczną. Wszystkie wielkości fizyczne definiuje się i nadaje się im określony sens operacyjny w lokalnych układach spoczynkowych. Gęstość energii, entropia, ciśnienie, temperatura, naprężenia mechaniczne itp. są opisane wielkościami matematycznymi mającymi dobrze określone własności transformacyjne (skalary, wektory, tensory), czyli możemy je rachunkowo wyznaczyć w dowolnym układzie odniesienia, lecz własności fizyczne, jakie im przypisujemy (i z powodu których uważamy je za interesujące) na ogół występują tylko w układzie spoczynkowym. W innych układach własności tych nie mają.

Fakt ten był w przeszłości przyczyną licznych nieporozumień. Na przykład już w 1907 r. Max Planck stwierdził, że temperatura, podobnie jak energia i pęd cząstki, winna zmieniać się przy transformacji Lorentza, i zaproponował jej prawo transformacyjne. Spowodowało to trwającą ponad pół wieku dyskusję, inni badacze wprowadzili bowiem inne prawa transformacyjne. Obecnie wiadomo, że nie istnieje uniwersalna transformacja temperatury i że w odmiennych układach fizycznych transformuje się ona w odmienny sposób. Istota rzeczy tkwi w tym, że każda z tych formuł przekształca temperaturę ciała makroskopowego w jego układzie spoczynkowym w „temperaturę” przypisywaną mu w układzie ruchomym, mającą tylko niektóre formalne własności temperatury.

Rozpatrzmy jako przykład kosmiczne promieniowanie relikto- („promieniowanie tła”), czyli wypełniające jednolicie cały Wszechświat promieniowanie elektromagnetyczne, osiągające maksimum natężenia dla fal o długości ok. 1 mm. Istnieje inercjalny układ odniesienia (zwany czasem nieszczęśliwie „układem kosmicznego eteru”), w którym promieniowanie to jest ściśle termiczne, tzn. jest jednorodne oraz izotropowe i ma widmo dokładnie opisane prawem Plancka dla ciała doskonale czarnego o temperaturze T_0 (równej według najnowszych pomiarów 2,725 K). Gdyby źródłem promieniowania relikto-ego była jakaś bryła sztywna, to ten układ byłby jej układem spoczynkowym. Ten wyróżniony układ (wyznaczony z dokładnością do obrotów w przestrzeni i przesunięć) jest układem własnym promieniowania relikto-ego, ma ono w nim bowiem wszystkie własności promieniowania termicznego. Ziemia porusza się względem

tego układu z prędkością ok. 300 km/s. Zjawisko Dopplera sprawia, że dla obserwatora na Ziemi promieniowanie reliktowe nie jest izotropowe. Istnieje takie prawo transformacyjne dla temperatury, że w układzie ziemskim (a także każdym innym) promieniowanie reliktowe ma nadal widmo ściśle dane prawem Plancka. Jednakże temperatura T przypisana mu w tym układzie zależy od prędkości Ziemi i kąta między kierunkiem tej prędkości a kierunkiem obserwacji. Ta temperatura jest realna w tym sensie, że na tę stronę Ziemi, która jest zwrócona w kierunku jej ruchu, padają fotony reliktowe nieco przesunięte w stronę fal krótkich, a na stronę przeciwną padają doganiające ją fotony o falach dopplerowsko wydłużonych. Radioteleskopy rejestrują więc z jednej strony Ziemi promieniowanie o energii nieco większej, a w miejscu przeciwnym – o energii mniejszej od średniej. Dla widma planckowskiego ta różnica gęstości energii przekłada się na różnicę temperatury, równą ok. 1 mK. W rezultacie przez Ziemię płynie słabiutki strumień ciepła. Efekt jest rzeczywisty, tyle że nieobserwowalnie mały.

Z drugiej strony mierzona na Ziemi temperatura T bardziej odzwierciedla relację między promieniowaniem reliktowym a Ziemią niż własności samego promieniowania. Gdyby T potraktować jak rzeczywistą temperaturę, to musielibyśmy uznać, że mamy do czynienia z układem (obiektem) fizycznym o temperaturze rozłożonej anizotropowo, czyli z układem w stanie nierównowagi termicznej, w którym zachodzą przepływy ciepła. Tymczasem wiemy, że promieniowanie reliktowe jest w stanie równowagi i żadnych przepływów energii nie ma, a pozorna nierównowaga jest artefaktem stosowania układu odniesienia różnego od układu własnego.

Wyciągamy stąd oczywisty i zdroworoządkowy wniosek, że termodynamikę należy formułować w układzie własnym badanego ciała makroskopowego, a postać lorentzowsko niezmienniczą należy jej nadawać tylko wtedy, gdy nie istnieje globalny układ własny; wówczas obowiązują powyższe ograniczenia interpretacyjne. Rzeczywista niezmienniczość relatywistyczna termodynamiki tkwi głębiej, nie w samym jej sformułowaniu: każdy inercjalny układ odniesienia może być układem własnym pewnego ciała makroskopowego i w każdym układzie własnym termodynamika ma tę samą postać. Procesy termiczne w fotosferze Słońca i ich opis w jego układzie spoczynkowym są takie same jak w fotosferze dalekiej gwiazdy poruszającej się względem niego z prędkością relatywistyczną.

Należy uznać, że obowiązuje ogólna zasada, którą można byłoby sformułować (nieściśle) tak: jeżeli dany układ fizyczny jest zamknięty, tj. nie oddziałuje z otoczeniem i nie określa, nawet lokalnie, własnego układu odniesienia, to przynajmniej na poziomie klasycznym jego opis winien być jawnie relatywistycznie niezmienniczy (kowariantny). Oddziaływanie z otoczeniem na ogół wyróżnia pewien układ odniesienia. To pozorne łamanie niezmienniczości relatywistycznej jest w pełni zgodne z teorią względności: układ większy, złożony z układu wyjściowego i oddziałującego z nim otoczenia, staje się za-

mknięty i podlega opisowi kowariantnemu. Jeżeli otoczenie danego układu fizycznego nie jest jawnie znane, to łamanie przez ten układ niezmienniczości lorentzowskiej sygnalizuje jedynie, że należy wziąć pod uwagę nowe, zapewne dotąd nieznanne, fizyczne stopnie swobody. Ta teza stanowi istotę artykułu Pospelova i Romalisa.

Trwające od ponad ćwierć wieku próby rozszerzenia Modelu Standardowego cząstek o nowe pola (cząstki) i oddziaływania nie przyniosły dotąd zadowalających rezultatów: nie zaproponowano ani przekonującego teoretycznego jego rozszerzenia, ani w dostępnych doświadczalnie procesach wysokoenergetycznych nie znaleziono niczego ciekawego. Pozostaje więc szukanie nowych efektów w eksperymentach niskoenergetycznych, opierając się na teoriach efektywnych. Autorzy artykułu formułują tę ideę zbyt lakonicznie i niewyraźnie, warto zatem wypowiedzieć ją innymi słowami. Nieistniejąca dotąd fundamentalna teoria materii będzie – można się spodziewać – bardzo abstrakcyjna i zapewne w praktyce trzeba będzie się posługiwać wynikającą z niej teorią efektywną. O teorii fundamentalnej wiemy niewiele: może to być teoria strun, membran, bran lub jeszcze innych obiektów. Przypuszczalnie stosować się będzie do niej „twierdzenie folklorystyczne”, wysunięte przez Stevena Weinberga ok. 1996 r.: w granicy niskich energii oddziaływań i dużych odległości teoria fundamentalna przechodzi w kwantową teorię pola, której dynamika jest efektywna. Efektywność oznacza, że teoria ta obejmuje dużą liczbę rozmaitych pól kwantowych i ma bardzo skomplikowaną dynamikę, jej lagranżjan zawiera bowiem mnóstwo członów oddziaływań między tymi polami. Lagranżjan Modelu Standardowego cząstek jest jedynie członem wiodącym w jej lagranżjanie. Efektywna teoria pola nie spełnia postulatu prostoty i elegancji, głoszonego przez Einsteina, Diraca i Dysona. Prosta konceptualnie i matematycznie elegancka ma być teoria fundamentalna. Efektywna teoria pola ma być zgodna z doświadczeniem, a nie ładna. Teoria fundamentalna i efektywna kwantowa teoria pola mają być jawnie niezmiennicze relatywistycznie.

Może się zdarzyć, że w teorii efektywnej następuje spontaniczne łamanie symetrii: niektóre pola, które zwiemy wówczas „polami tła”, uzyskują niezerowe wartości, które są stałe lub zmienne w skali kosmologicznej, będące rozwiązaniami ich równań ruchu. Teoria efektywna redukuje się wówczas do teorii pozostałych pól kwantowych, które są zmienne w skali laboratoryjnej; są to pola tworzące Model Standardowy. Z lagranżjanu zredukowanej teorii efektywnej wypadają wszystkie człony opisujące swobodne pola tła i ich wzajemne oddziaływania. Jednak lagranżjan ten nie redukuje się do lagranżjanu Modelu Standardowego, spontaniczne łamanie symetrii przeżywają bowiem niektóre przynajmniej człony oddziaływań pól tła ze znanymi cząstkami, np. takie jak we wzorze (1) w artykule Pospelova i Romalisa. Pola tła zachowują się zatem wobec układu kwantowego jak makroskopowe otoczenie: otoczenie to, oddziałując słabo z układem, wpływa nieznacznie na jego własności, samo zaś pozostaje niezmienione przez to oddziaływanie. Pola

tła są praktycznie stałe, są więc czymś więcej niż tylko otoczeniem, które mogłoby być rozmaite – są absolutnym i globalnym elementem teorii efektywnej. Zredukowana teoria efektywna jest nadal jawnie relatywistycznie niezmiennicza – pod warunkiem, że pola b_μ i k_μ w (1) transformują się jak wektory, a $H^{\mu\nu}$ – jak tensor. Skoro jednak pola tła są elementem absolutnym teorii, to wyróżniają ten układ odniesienia, w którym przyjmują postać najprostszą. Dla wektora czasowego jest to układ, w którym ma on tylko składową czasową (część przestrzenna znika), a dla wektora przestrzennego – układ, w którym znika jego składowa czasowa, a część przestrzenna jest ułożona wzdłuż jednej z osi. (Jeżeli jest kilka pól tła, to na ogół nie przyjmują one najprostszej postaci w tym samym układzie). Oddziaływanie pól tła ze znanymi cząstkami wyróżnia pewne układy odniesienia. Tak samo jest wtedy, gdy rozpatrujemy ruch elektronu w zewnętrznym stałym polu magnetycznym: wyróżniony dynamicznie jest układ

odniesienia, w którym jest tylko pole magnetyczne, ponieważ transformacja Lorentza na ogół generuje z niego dodatkowo pole elektryczne. W tym sensie zredukowana efektywna kwantowa teoria pola narusza niezmienniczość relatywistyczną, mimo że teoria względności w pełni obowiązuje.

W granicy niskich energii pola tła są stałe, więc ich kwanty są niewykrywalne. Pola tła sygnalizują swoje istnienie, wywierając nieznaczny wpływ na dynamikę znanych cząstek. To powoduje, że poszukiwanie drobnych naruszeń niezmienniczości lorentzowskiej dla tych cząstek jest tak interesujące dla fizyki fundamentalnej. W sumie, teoria względności ma się dobrze i pomaga w poszukiwaniu cząstek niemieszczących się w Modelu Standardowym.

Leszek M. Sokołowski

Obserwatorium Astronomiczne UJ
Kraków

PTF



Oddział Częstochowski

Jednym z pól aktywnej działalności Zarządu Oddziału powołanego 15 lipca 2003 r. w składzie: Danuta Płusa – przewodnicząca, Ewa Jakubczyk – wiceprzewodnicząca, Wojciech Gruhn – sekretarz, Anna Przybył – skarbnik, Zygmunt Bąk, Kazimierz Dziliński, Marian Głowacki, Józef Świątek, Stanisław Tkaczyk i Bolesław Wysocki – członkowie, było organizowanie wspólnych seminariów środowiska częstochowskich fizyków. Zapraszano na nie wybitnych uczonych (głównie fizyków) z całego kraju. Seminaria odbywały się albo w Instytucie Fizyki Politechniki Częstochowskiej (5 seminariów zorganizowanych przez dr hab. Danutę Płusę), albo w Instytucie Fizyki Wyższej Szkoły Pedagogicznej (przemianowanej w 2005 r. na Akademię Jana Długosza) – organizacją tych 11 seminariów zajmował się autor tej notatki. Serdeczne podziękowania należą się dr. hab. Zygmuntowi Bąkowi, dziekanowi Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego AJD, za wspieranie akcji zapraszania wykładowców, a dr. Piotrowi Brąglowi – za pomoc w organizowaniu ostatnich 6 seminariów.

W roku 2003 zorganizowano 4 seminaria, na których wykłady wygłosili: prof. Łukasz A. Turcki („Symetrie w przyrodzie”), prof. Zbigniew Czapla („Własności dielektryczne kryształów ferroelektrycznych w polu elektrycznym”), prof. Robert R. Gałązka („Długozasięgowe oddziaływania magnetyczne”) i dr hab. Piotr Perlin („Lasery półprzewodnikowe emitujące światło niebieskie – szanse polskiej technologii”).

W roku 2004 odbyło się 8 seminariów, w tym jedno specjalne, poświęcone pamięci doc. Bogdana Całusińskiego (patrz *Postępy Fizyki* **56**, 56 (2005)); po-

zostałe to wykłady: prof. Andrzeja K. Wróblewskiego „Statek kosmiczny Ziemia”, prof. Wojciecha Gawlika „Jak i po co pułapkują się zimne atomy w Krakowie”, prof. Tomasza Storego „Półprzewodnikowe ferromagnetyczne struktury EuS–PbS”, prof. Kazimierza Rządewskiego „Mechanika kwantowa XXI wieku – narodziny inżynierii kwantowej”, prof. Jana Stankowskiego „Tajemnice spinu elektronu”, prof. Macieja Kolwasa „O parowaniu kropli wody” i prof. Iwona Białyńskiego-Biruli „Od *.zip do zasady nieoznaczoności w mechanice kwantowej”.

W roku 2005 autor notatki zorganizował 5 seminariów w IF AJD: prof. Jacek Kossut – „Półprzewodnikowe kropki kwantowe”, prof. Robert R. Gałązka – „48 lat ery kosmicznej”, prof. Jerzy Lukierski – „Od Modelu Standardowego do teorii M”, prof. Andrzej Trautman – „Annus Mirabilis 1905” i prof. Aleksander Sieroń – „Pola magnetyczne w medycynie”.

Na wykładach prof. Gałązki i prof. Trautmana było sporo uczniów z Liceum im. Juliusza Słowackiego w Częstochowie, zachęconych do wzięcia udziału w tych seminariach przez ich nauczycielkę, mgr Katarzynę Tazbir, absolwentkę WSP. Jeśli chodzi o próby zainteresowania młodzieży licealnej fizyką, to warto też dodać, że w roku szkolnym 2004/05 przeprowadzono konkurs na plakat o tematyce „Fizyka wokół nas”. Wpłynęło nań 365 prac. Nagrodzono trzy licealistki i trzy gimnazjalistki, a wyróżniono dalszych 12 prac.

22 czerwca 2005 r. wybrano nowy Zarząd Oddziału w składzie: Michał Piasecki – przewodniczący, Jacek Olaszewski – wiceprzewodniczący, Anna Przybył – sekretarz, Ewa Jakubczyk – skarbnik oraz Arkadiusz Mandowski i Maria Stefańska – członkowie.

Wojciech Gruhn

■ Nagroda FNP w dziedzinie nauk technicznych

Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej przyznała swoje doroczne nagrody, najwyższe wyróżnienia naukowe w Polsce. W roku 2005 nagrody w dziedzinie nauk ścisłych nie przyznano. W dziedzinie nauk technicznych nagrodę otrzymał prof. Roman Słowiński (Instytut Informatyki Politechniki Poznańskiej) za opracowanie metodyki komputerowego wspomaganie decyzji podejmowanych na podstawie niepełnych danych.

www.fnp.org.pl

B. W.

■ Współpraca AGH–CERN

29 lipca 2005 r. Ryszard Tadeusiewicz, rektor Akademii Górniczo-Hutniczej, oraz Robert Aymar, dyrektor generalny CERN-u, podpisali porozumienie o współpracy między tymi ośrodkami dotyczące wykonania przez AGH aparatury pomiarowej dla układu kriogenicznego wielkiego zderzacza hadronów LHC. Zespół 12 fizyków, inżynierów i techników z AGH będzie także wspomagał załogę cernowską w instalowaniu układu kriogenicznego w tunelu akceleratora. Współpraca w tym etapie ma trwać do roku 2007.

CERN Courier 45, nr 8 (2005)

B. W.

■ Penrose doktorem honoris causa Uniwersytetu Warszawskiego

29 sierpnia 2005 r. Uniwersytet Warszawski na wniosek Wydziału Fizyki nadał sir Rogerowi Penrose'owi tytuł doktora honoris causa. W ceremonii nadania honorowego doktoratu udział wzięli profesorowie: Piotr Węgleński (rektor UW), Andrzej Trautman (promotor), Katarzyna Chałasińska-Macukow (rektor elekt), Jan Bartelski (dziekan Wydziału Fizyki), członkowie Senatu UW oraz liczni goście.



Roger Penrose (fot. Marcin Kluczek, zdjęcie udostępnione przez Biuro Informacji i Promocji UW)

Roger Penrose urodził się 8 sierpnia 1931 r. w Colchester w Anglii. Rodzice jego byli lekarzami, a ojciec

zajmował się genetyką medyczną i był członkiem Royal Society. Oboje rodzice oraz starszy o dwa lata brat Rogera interesowali się matematyką, a szczególnie geometrią. W roku 1953 Penrose ukończył z najwyższym wyróżnieniem z matematyki University College w Londynie i rozpoczął studia doktoranckie na Uniwersytecie w Cambridge. Od roku 1955 zaczął publikować oryginalne prace naukowe z teorii pól i pierścieni macierzy. W 1957 r. uzyskał stopień doktora za prace z dziedziny algebry i geometrii. W roku 1955 poznał Dennisa Sciamę, który zainteresował go fizyką i kosmologią. Poczynając od 1959 r. Penrose zaczyna publikować prace z kosmologii i ogólnej teorii względności. Już pierwsza praca – „The apparent shape of a relativistic moving sphere”, w której – korzystając z pewnej matematycznej własności odwzorowań sfer – wykazał, że poruszająca się sfera nie zostanie spłaszczona w taki sposób, jaki wynikałby ze skrócenia Lorentza, spotkała się z dużym zainteresowaniem ze względu na nowatorskie podejście. Przez następne 4 lata Penrose zajmował się wykorzystaniem spinorów do poszukiwania nowych rozwiązań równań Einsteina i do badania globalnych własności czasoprzestrzeni. Praca napisana wspólnie z Tedem Newmanem, w której zapisali równania Einsteina w formalizmie spinorowym, przyczyniła się do znalezienia wielu nowych rozwiązań równań Einsteina, m.in. rozwiązania Kerra, które opisuje pole grawitacyjne na zewnątrz obracającej się czarnej dziury. To nowe podejście pozwoliło też na dokładniejsze zbadanie asymptotycznych własności pola grawitacyjnego i fal grawitacyjnych. Praca ta jest najczęściej cytowaną pracą z ogólnej teorii względności w ostatnich 50 latach.

W roku 1965, korzystając z metod topologicznych, Penrose udowodnił, że proces katastroficznego zapadania się masywnych gwiazd w ostatnich fazach ich ewolucji musi prowadzić do powstania czarnej dziury z centralną osobliwością (tj. formalnie punktem o nieskończonej gęstości). Oznacza to, że klasyczna ogólna teoria względności załamuje się i końcowych etapów grawitacyjnego zapadania nie można opisać, korzystając z pojęcia czasoprzestrzeni rozumianej jako kontinuum. W rok później wspólnie ze Stephenem Hawkingiem udowodnili, że Wszechświat musiał zacząć swoją ewolucję od początkowej osobliwości. Od tego momentu Penrose rozpoczął intensywne poszukiwania kwantowej teorii czasoprzestrzeni, a od 20 lat szuka jej za pomocą tzw. formalizmu twistorowego.

Jednym z najważniejszych osiągnięć Penrose'a było właśnie stworzenie teorii twistorów – obiektów matematycznych, które umożliwiają konstruowanie czasoprzestrzeni. Teoria twistorów to niezwykle bogata teoria matematyczna, łącząca w sobie metody algebraiczne i geometryczne z potężnymi metodami przestrzeni zespolonej. Główne założenia teorii spinorów i twistorów zostały przedstawione w monumentalnej, dwutomowej monografii *Spinors and space-time* napisanej wspólnie z Wolfgangiem Rindlerem. Od dwóch lat teoria twisto-

rów przeżywa renesans. Okazało się, że przestrzenie twistorów mają ważne znaczenie w teorii strun. Prace w tej dziedzinie są obecnie w pełnym toku.

Duży rozgłos przyniosły Penrose'owi jego dwie popularne książki *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki* oraz *Cienie umysłu. Poszukiwanie naukowej teorii świadomości*, w których krytykuje powszechny pogląd, że aktywność mózgu sprowadza się do zachodzących po sobie algorytmicznych procesów. Zdaniem Penrose'a, wyjaśnienie tajemnic świadomości wymaga nowej fizyki.

O różnorodności zainteresowań Penrose'a świadczy też problem, którym właściwie zajmował się od dziecka – poszukiwanie minimalnej liczby elementów (płytek), którymi można pokryć nieskończoną płaszczyznę, tak aby uzyskiwane wzory się nie powtarzały. Po wielu latach poszukiwań Penrose wykazał, że można tego dokonać, korzystając z sześciu elementów, a na początku lat 80. znalazł sposób na nieperiodyczne pokrycie nieskończonej płaszczyzny tylko dwoma elementami. Później okazało się, że takie nieperiodyczne struktury powstają w kwazikryształach.

Osiągnięcia naukowe sir Rogera Penrose'a zostały uhonorowane wieloma nagrodami i zaszczytami. Oto najważniejsze z nich: jest członkiem Royal Society i amerykańskiej National Academy of Sciences, wspólnie z Hawkingiem otrzymał Nagrodę Fundacji Wolfa z fizyki, Royal Society przyznała mu Royal Medal, otrzymał nagrodę i medal Alberta Einsteina. W roku 1994 królowa brytyjska za zasługi dla nauki nadała mu tytuł szlachecki.

Sir Roger Penrose wielokrotnie przebywał w Warszawie (po raz pierwszy w 1962 r.), gdzie prowadził cykle wykładów i wygłaszał seminaria. Z jego inicjatywy powstała w Warszawie grupa zajmująca się badaniem globalnych własności czasoprzestrzeni oraz zastosowaniem teorii spinorów i twistorów w różnych działach fizyki teoretycznej. W jego Instytucie w Cambridge, a później w Oksfordzie przebywało wielu pracowników Instytutu Fizyki Teoretycznej i Katedry Metod Matematycznych Fizyki. Przy jego współpracy i współudziale na Wydziale Fizyki UW powstało kilkanaście prac doktorskich.

Sir Roger Penrose jest niewątpliwie jednym z najwybitniejszych współczesnych fizyków matematycznych.

Marek Demiański

■ V Festiwal Nauki, Techniki i Sztuki

W dniach 18–25 kwietnia 2005 r. w Łodzi odbył się kolejny Festiwal Nauki, Techniki i Sztuki. Ze względu na obchody Światowego Roku Fizyki 2005 fizyce poświęcono w nim szczególnie dużo miejsca. Do organizacji imprez festiwalowych włączyły się trzy placówki z naszego miasta: Instytut Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego, Instytut Fizyki Politechniki Łódzkiej oraz łódzki oddział Instytutu Problemów Jądrowych.

W auli Wydziału Fizyki UŁ odbyły się wykłady: „Energia – wczoraj, dziś i jutro”, „Chaos deterministyczny”, „Stulecie teorii względności”, „Największy eks-

peryment na świecie do pomiaru promieni kosmicznych”, „Pojazdy z napędem wiatrowym poruszające się pod wiatr”. Pracownicy UŁ przygotowali także wiele warsztatów oraz pokazów dla dzieci i młodzieży szkolnej.

Wieczorem 19 kwietnia odbyła się specjalna impreza poświęcona w całości Albertowi Einsteinowi. W jej trakcie przedstawiono wykład „Albert Einstein – uczony osobny” oraz wykład multimedialny „Symfonia Einsteina”. Po jej zakończeniu, późnym wieczorem, przeprowadzony został łódzki etap międzynarodowej sztafety świetlnej.

Także IF PŁ przygotował wiele imprez festiwalowych, w tym wykłady „Nanorurki węglowe w nanotechnologii”, „Komputerowe symulacje wzrostu kryształów”, „Fizyka laserów półprzewodnikowych”, „Kryptografia kwantowa – bezpieczne szyfrowanie” oraz pokazy eksperymentów fizycznych.

Również oddział IPJ w Łodzi zorganizował wykłady oraz zwiedzanie podziemnego detektora promieni kosmicznych i laboratorium, połączone z pokazem detekcji cząstek.

Wszystkie imprezy cieszyły się dużym zainteresowaniem. Sam IF UŁ odwiedziło 19 kwietnia ponad 1300 osób z 42 szkół. Na wielu imprezach zanotowano nadkomplet.

Marcin Ostrowski

■ Audytorium im. Leonarda Sosnowskiego w IF PAN

9 listopada 2005 r. odbyła się w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie uroczysta sesja związana z nadaniem audytorium Instytutu imienia profesora Leonarda Sosnowskiego i odsłonięcia upamiętniającej go tablicy. W uroczystości poza bardzo licznymi dawnymi współpracownikami i uczniami Profesora wzięła też udział jego rodzina: córka Joanna oraz synowie Marek (fizyk jądrowy) i Michał.



Dzieci Leonarda Sosnowskiego: Michał, Joanna i Marek pod tablicą upamiętniającą ojca (fot. Wiesław Czerwonka)

W wykładzie „Leonard Sosnowski – inicjator w zakresie fizyki półprzewodników w Polsce. Powstanie »Polskiej Szkoły fizyki półprzewodników«” Jerzy Kołodziejczak (IF PAN) przedstawił drogę naukową Sosnowskiego ku fizyce półprzewodników, tworzenie przez niego grupy badawczej, potem Instytutu Fizyki i wyniki dążenia do przedstawienia polskich badań w tej dziedzinie na światowym poziomie.

Marian Grynberg (IFD UW) w wykładzie „Leonard Sosnowski – fizyk erudyta” przypomniał (dobrze znane starszym uczestnikom seminariów piątkowych i konwersatoriów) głębokie zrozumienie i bardzo szeroką znajomość fizyki, a także umiejętność szybkiego rozumowania, cechujące Profesora.

Po wykładach spotkanie przy lampce wina dało okazję warszawskim „półprzewodnikowcom” do wymiany wspomnień.

B. W.

■ Historia fizyki polskiej we wspomnieniach

Już od roku na stronie www.ifpan.edu.pl/ON-1/fizyka.html znajduje się kolekcja artykułów opublikowanych na przestrzeni wielu lat w *Postęпах Fizyki* na temat fizyki półprzewodników. Informowaliśmy o tym Państwa jesienią ubiegłego roku (*PF* 55, 291 (2004)). Zbiorek ten był wynikiem pracy licencjackiej Anety Karpińskiej, studentki Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego. W tym roku współautorka niniejszej notatki (JF) podjęła trud zebrania i opracowania wspomnień o naszych wielkich zmarłych poprzednikach. W ciągu blisko 50 lat wydawania *Postępów Fizyki* ukazało się wiele tego typu notatek czy artykułów. Nie żyje już wielu autorów opublikowanych we wczesnych zeszytach wspomnień o swych zmarłych mistrzach; wspomnienia o nich napisali z kolei ich uczniowie. Kolekcję wzbogaca ciekawy i tchnący duchem czasu artykuł prof. Leonarda Sosnowskiego „Fizyka polska w okresie międzywojennym i stan jej odbudowy w latach 1945–1950” (*PF* 2, 79 (1951)). Zeskanowane i opracowane artykuły znajdują się na stronie www.ifpan.edu.pl/ON-1/Historia.

Ze względu na ograniczony czas wykonywania pracy licencjackiej nie udało się zamieścić na tej stronie wszystkich wspomnień opublikowanych w *Postęпах Fizyki*. W zbiorze zawarto wspomnienia (i przytoczony artykuł Leonarda Sosnowskiego), które ukazały się w latach 1948–69. Znajdziemy tam np. wspomnienie o Marianie Smoluchowskim pióra jego ucznia, Kazimierza Gostkowskiego, o Stefanie Pieńkowskim napisane przez Jerzego Pniewskiego, o Czesławie Białobrzeskim – przez Włodzimierza Ścisłowskiego, czy o Andrzeju Sołtanie – przez Ludwika Natansona. Obok artykułu o Marii Curie-Skłodowskiej (który napisała jej córka Irena) zamieszczone zostało wspomnienie o jej mężu. Choć Pierre Curie nie był Polakiem, to naszym zdaniem nie można było notatki o nim pominąć w „Historii fizyki polskiej we wspomnieniach”. Łącznie na stronie umieszczono 28 wspomnień.

Joanna Falzmann, Witold Dobrowolski

■ Jubileusz Fizyki w Szkole

W roku 2005 czasopismo dla nauczycieli *Fizyka w Szkole* skończyło 50 lat. Powstało w 1955 r. w następstwie podziału *Fizyki i Chemii* na dwa odrębne wydawnictwa. Tradycja ukazywania się czasopisma dla nauczycieli datuje się jeszcze sprzed wojny – w latach 1927–39 ukazywał się kwartalnik *Fizyka i Chemia w Szkole* wydawany przez komisję pedagogiczną ówczesnego Ministerstwa Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego.

Pierwszym redaktorem naczelnym *Fizyki w Szkole* był Włodzimierz Ścisłowski, a po nim kolejno: Witold Łaniecki, Czesław Fotyma, Mieczysław Sawicki, Zygmunt Przeniczny. Od roku 2000 funkcję redaktora naczelnego pełni Adam Smólski.

W ciągu 50 lat zmieniała się i szata wydawnicza, i zakres merytoryczny czasopisma. Głównym jednak jego celem pozostaje dopomaganie nauczycielom fizyki w kształceniu uczniów przez podnoszenie własnych kwalifikacji. Nasza Redakcja składa serdeczne życzenia Dostojnej Jubilatce.

■ Einstein dla wszystkich

Działający przy Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego i Oddziale Katowickim PTF Komitet Obchodów Światowego Roku Fizyki zorganizował wśród innych imprez także Wojewódzki Interdyscyplinarny Konkurs „Einstein dla wszystkich”. Stanęli do niego uczniowie szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych województwa śląskiego. Konkurencje odbywały się w czterech kategoriach: 1) prezentacje multimedialne, 2) przedstawienia sceniczne (teatralno-kabaretowe), 3) prace literackie (wyповідź słowna, eseje, poezja), 4) sztuka. Przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego był prof. Jerzy Warczewski, który także wygłosił wykład inauguracyjny Konkursu.

Pośród 167 zgłoszonych prac zakwalifikowano do udziału w finale łącznie 37 prac z trzech pierwszych kategorii oraz 80 prac plastycznych.

Jury złożone z nauczycieli specjalizujących się w różnych dziedzinach wyłoniło po trzech zwycięzców w każdej kategorii i przyznało kilka wyróżnień. Pierwsze miejsca w poszczególnych kategoriach zdobyli:

- prezentacje multimedialne – Jakub Sikorski (ZSO nr 3, Bytom),
- przedstawienia sceniczne – grupa teatralna „Arlekin” (gimnazjum nr 15, Katowice),
- prace literackie – Magdalena Sulikowska (ZSO nr 1, Bytom),
- sztuka – Justyna Góra (Zespół Szkół Plastycznych, Katowice).

Na zakończenie odbyło się wręczenie nagród i dyplomów uczestnikom oraz podziękowań nauczycielom, których entuzjazm, poświęcenie i zaangażowanie w przygotowanie uczniów przyczyniły się do sukcesu ich podopiecznych i do popularyzacji fizyki.

Barbara Biskup

■ Lekkie jony w terapii raka

W roku 2002 powstała europejska sieć ds. terapii lekkojonowej European Network for Research in Light Ion Therapy (ENLIGHT). Komisja Europejska przez 3 lata finansowała to przedsięwzięcie. Sieć została utworzona jako współpraca europejskich ośrodków, instytutów oraz indywidualnych uczonych zajmujących się tworzeniem i doskonaleniem urządzeń do leczenia nowotworów za pomocą hadronów. W czerwcu 2005 r. odbyło się we włoskich Alpach spotkanie zorganizowane przez włoską fundację na rzecz terapii hadronowej (Fondazione per Adroterapia Oncologica). Spotkaniu przewodniczył Ugo Amaldi, a wzięło w nim udział ok. 100 osób: lekarzy klinicyistów, radiobiologów, fizyków i inżynierów.

Stosowanie hadronów w terapii chorób nowotworowych ma w stosunku do promieniowania γ lub X tę zaletę, że przenikające materię jony oddają większość swojej energii przy końcu zasięgu, tylko nieznacznie uszkadzając po drodze zdrową tkankę. Wymaga to oczywiście dostosowania energii (a więc zasięgu) do głębokości umiejscowienia nowotworu. Niestety, koszty leczenia hadronami są nieporównanie wyższe niż przy użyciu promieniowania.

Dla konkretnego typu i położenia nowotworu prowadzi się badania kliniczne w celu określenia najwłaściwszej dawki i liczby kolejnych naświetlań, dających najlepsze efekty. Z wyników uzyskanych w Japonii w ośrodku Chiba i w GSI w Niemczech wynika, że lepsze rezultaty od protonów dają jony węgla, które powodują rozrywanie podwójnej helisy DNA głównie w obszarze komórek nowotworowych.

Rośnie zainteresowanie przemysłu tego rodzaju terapią. Wiele firm mających doświadczenie w budowie akceleratorów protonowych wyraziło chęć budowy akceleratorów przystosowanych do przyspieszania jonów węgla.

CERN Courier 45, nr 8 (2005)

B. W.

■ PRL będzie szybciej odrzucać prace

Redakcja *Physical Review Letters* ogłosiła, że więcej nadsyłanych prac niż dotychczas będzie odrzucać bez opinii recenzenta. Odsetek artykułów odrzuconych tylko na podstawie opinii redakcji wzrośnie z 10–15% do 20–25%. Redakcja jest zdania, że dobry redaktor potrafi szybko oddzielić plewy od ziarna.

Prace odrzucone przez PRL bez opinii recenzenta to te, które w sposób oczywisty nie są ważne lub nie są dostępne dla szerszego grona fizyków. Redaktor Jack Sandweiss powiedział: „Nie zmieniamy kryteriów przyjmowania prac do druku w *Physical Review Letters*, my tylko będziemy je stosować we wcześniejszej fazie”. Ta nowa taktyka ma pomagać wydawnictwu w dawaniu sobie rady z rosnącą liczbą nadsyłanych manuskryptów. Redakcja spodziewa się, że w nadchodzącym roku 2006 będzie ich ponad 10 tysięcy, tzn. dwa razy tyle, ile 12 lat temu. PRL przyjmuje do druku ok. 35% manuskryptów, a średni czas akceptacji wynosi ponad 4 miesiące. Można sądzić, że niektórzy przyszli autorzy będą nawet zadowoleni z tej zmiany – im szybciej praca będzie odrzucona przez PRL,

tym szybciej można będzie próbować zamieścić ją w innym czasopiśmie.

Science 309, nr 5741 (2005)

B. W.

■ *Nature Physics*

W październiku 2005 r. zaczęło się ukazywać siostrzane w stosunku do *Nature* czasopismo – *Nature Physics* (www.nature.com/naturephysics).

■ Powiedzonka twórcy kwantowej teorii informacji

1 stycznia 2005 r. zmarł w Hajfie Asher Peres, jeden z twórców kwantowej teorii informacji.

Peres urodził się 30 stycznia 1934 r. we Francji, dokąd jego rodzice wyemigrowali ze Lwowa. W czasie wojny jego żydowska rodzina musiała się ukrywać. Po wojnie, w 1949 r., przenieśli się do Palestyny, gdzie Asher studiował na politechnice Technion w Hajfie. Pierwsza jego praca z fizyki teoretycznej ukazała się w 1954 r. w *Comptes Rendus*. Pracę doktorską przygotował pod opieką Nathana Rosena (tego od paradoksu EPR) – przedstawił w niej obliczenia promieniowania grawitacyjnego orbitującej gwiazdy, temat obecnie bardzo aktualny wobec obserwacji uzyskiwanych przez kosmiczne interferometry laserowe. Wkrótce po doktoracie Peres został profesorem Technionu.

Zakres uprawianych przez niego badań obejmował zagadnienia podstawowe, m.in. własności statystyczne elementów macierzowych układów chaotycznych, a przede wszystkim podstawy kwantowej teorii informacji. W roku 1993 był jednym z sześciu autorów pionierskiej pracy na temat teleportacji kwantowej, w której wykazano, że wprawdzie o stanie cząstki kwantowej nie można uzyskać pełnej informacji przez bezpośredni pomiar, ale wykorzystując kombinację splątania kwantowego i klasycznej komunikacji, informację o stanie jednej cząstki można przekazać innej, która nie była z tą pierwszą w kontakcie.

Peres znany był ze swoich zdecydowanych opinii i nie oglądał się na to, czy one komuś się podobają, czy nie. We wspomnieniu ogłoszonym w *Physics Today* przytoczono kilka jego powiedzonek.

- Doświadczenia niewykonane nie przynoszą rezultatów.
- Zjawiska kwantowe nie zachodzą w przestrzeni Hilberta, one zachodzą w laboratoriach.
- Mechanika kwantowa nie wymaga interpretacji.
- Nie próbujcie niedoceniać pomysłowości doświadczalników.

Gdy w roku 1983 (trwała wtedy wojna izraelsko-libańska) Królewska Akademia Szwedzka zwróciła się do niego o nominowanie kandydata do Nagrody Nobla z fizyki, zaproponował Menachema Begin, wówczas premiera Izraela, motywując, że zasługuje on na nagrodę z fizyki w równym stopniu, jak w roku 1978 zasługiwał na Nagrodę Pokojową, którą otrzymał wtedy wspólnie z prezydentem Egiptu Anwarem al-Sadatem.

Phys. Today 58, nr 8 (2005)

B. W.

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2006 r. wynosi 36,00 zł za pół roku, 72,00 zł za rok. Prenumeratę przyjmują:

I. „RUCH” S.A.

1. Wpłaty na prenumeratę przyjmują jednostki kolportażowe „RUCH” S.A. właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora.

2. Informacji o prenumeracie ze zleceniem dostawy za granicę udziela Dział Prenumerat i Współpracy z Zagranicą, ul. Jana Kazimierza 31/33, 01-248 Warszawa, tel. (+4822) 5328731, e-mail: prenumerata@okdp.ruch.com.pl, Internet: www.ruch.pol.pl.

3. Terminy przyjmowania wpłat na prenumeratę krajową i zagraniczną: do 5 grudnia – na I półrocze roku następnego, do 5 czerwca – na II półrocze roku bieżącego.

II. ZARZĄD GŁÓWNY PTF

Wpłaty należy dokonać na konto Zarządu Głównego PTF w PKO BP IX O/Warszawa nr 19 1020 1097 0000 7802 0001 3128 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową pod wskazany adres.

III. ODDZIAŁY PTF

Opłata roczna dla członków PTF oraz studentów wynosi 48,00 zł. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

Dostępne są również zeszyty archiwalne – prosimy o kontakt z redakcją.

INFORMACJE DLA AUTORÓW

Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być dostępne dla ogółu fizyków. Prace należy nadsyłać pod adresem redakcji. O przyjęciu pracy do druku decyduje komitet redakcyjny. Prace niezamówionych i niezakwalifikowanych do druku redakcja nie zwraca. Bardziej szczegółowe informacje na temat układu i sposobu przygotowania pracy znajdują się na stronie internetowej *Postępów Fizyki*.

REKLAMA W *POSTĘPACH FIZYKI*

Zapraszamy – szczególnie przedstawicieli producentów aparatury oraz sprzętu i oprogramowania komputerowego, wydawców podręczników i książek naukowych oraz popularnonaukowych – do zamieszczania ogłoszeń reklamowych w *Postępach Fizyki*. Nasze czasopismo dociera do większości polskich fizyków, z których wielu decyduje o bieżących zakupach uczelni, instytutów i szkół. Zainteresowanych prosimy o kontakt z redakcją pod adresem: postepy@fuw.edu.pl.

POSTĘPY FIZYKI (ADVANCES IN PHYSICS)

founded in 1949, published bimonthly in Polish with titles in English by the Polish Physical Society with a support of the Polish State Research Committee (KBN) and the Physics Faculty of the Warsaw University.

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Jana Kazimierza 31/33, skrytka pocztowa 12, 00-958 Warszawa, Poland (for details see <http://www.ruch.pol.pl>).

NOWE KSIĄŻKI

- Donald A. McQuarrie, *Matematyka dla przyrodników i inżynierów*, z jęz. angielskiego tłum. Anna Zatorska-Goldstein i Paweł Goldstein; PWN, Warszawa 2005, t. I s. 552, t. II s. 386.
- *Biofizyka. Wybrane zagadnienia z ćwiczeniami*, redakcja naukowa: Zofia Józwiak i Grzegorz Bartosz, PWN, Warszawa 2005, s. 553.
- Jan Stankowski, Wojciech Hilczer, *Wstęp do spektroskopii rezonansów magnetycznych*, PWN, Warszawa 2005, s. 92.
- Krzysztof Pigoń, Zdzisław Ruziewicz, *Chemia fizyczna*, t. 1: *Podstawy fenomenologiczne*, wyd. piąte, zmienione i uaktualnione, PWN, Warszawa 2005, s. 640.

POSTĘPY FIZYKI W INTERNECIE

Zapraszamy do odwiedzania naszej strony internetowej

<http://postepy.fuw.edu.pl>, gdzie można znaleźć:

- szczegółowe spisy treści wszystkich zeszytów wydanych od 1993 r.,
- archiwum zawierające spisy treści *PF* z lat 1949–1992,
- materiały dodatkowe, uzupełniające treść niektórych artykułów,
- materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku w 1999 r. i XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich w Toruniu w 2001 r.
- WYBRANE ARTYKUŁY W FORMACIE PDF, w tym wykłady noblowskie z lat 2001–04.

WKRÓTCE W *POSTĘPACH*

- *Wykład noblowski Davida Politzera*
- *Hans Feldmeier i Thomas Neff o powłokach, klastrach i halo, czyli współczesnych aspektach struktury jądrowej*
- *Bernard Jancewicz – Geometria a fizyka*
- *Marek Szydłowski – Rozwój nauki a wzrost gospodarczy – fizyczny punkt widzenia*

Symposium „Albert Einstein – rok 1905” (fot. Janusz Rosiek)



Bogdan Cichocki



Andrzej Trautman



Stanisław Bażański

**Święto UKSW
25 maja
2005 roku**

Fizyka w Lasku Bielańskim

Sesja poranna
9.00 Łukasz A. Turski „Annus Mirabilis 1905 – widziany dzisiaj”
9.45 Marek Godlewski „Historia źródeł światła – od tęczowa do diody półprzewodnikowej”
10.30 Robert Holyśt „Po co patrzymy na gwiazdy, czyli rzecz o środowisku naturalnym człowieka”

Sesja popołudniowa
14.00 Tadeusz Skoskiewicz „Temperatura – zadziwiająca, podstawowa dla życia wielkość fizyczna”
14.45 Jan Mostowski „Fizyka dźwięku muzycznego”
15.30 Kazimierz Rządewski „O przewidywaniu przyszłości”

Wykłady będą się odbywały w Auli Jana Pawła II
Prezencje: Jerzy Kępczyński

W przerwie między sesjami pokazy ciekawych dokumentów
Marta Zaharowska-Kucmierak ze studentami

Po ostatnim wykładzie spotkanie z wykładowcami

FIZYKA 2005

Suplement:

plakat symposium „Fizyka w Lasku Bielańskim”
(patrz wykład Łukasza A. Turskiego)

COHERENT ULTRAFAST

RODZINA LASERÓW DLA FIZYKI I CHEMII FEMTOSEKUNDOWEJ

OSCYLATORY (CHAMELEON, MIRA)

WZMACNIACZE (EVOLUTION/LIBRA/LEGEND)

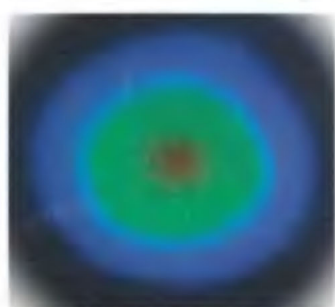
PARAMETRYCZNE UKŁADY PRZESTRAJALNE (OPERA)

GENERATORY THZ I TW

Legend-HE-Cryo

Legend-HE - wzmacniacz regeneratywny

Cryo - wieloprzebiegowy wzmacniacz
chłodzony helem



Długość fali:	800 nm
Częstość repetycji:	1 lub 5 kHz
Energia w impulsie:	od 5 do 10 mJ
Moc średnia:	5 do 10 W
Moc w impulsie:	0.1 TW
Stabilność energii:	< 1% rms
Mod:	M2<1.5
Stabilność kierunkowa:	<30 mikrorad

Eurotek International Sp. z o. o. (od 1992 r.)

Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Tel./faks: (22) 843 79 40 / 843 61 43,

inbox@eurotek.com.pl