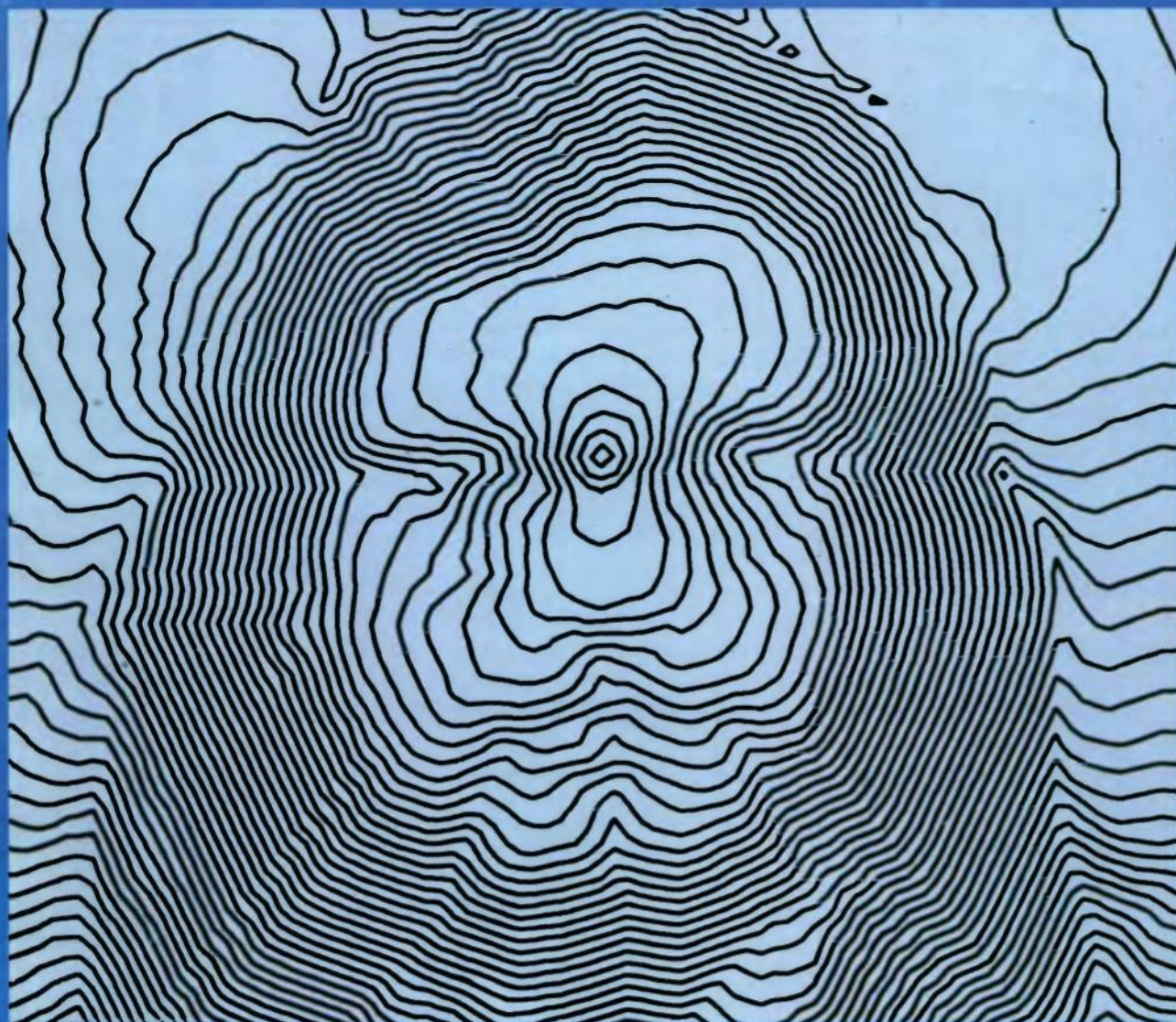


# POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego

OWOJA 201  
BIBLIOTEKA MARII JURJEWICZ  
Biblioteka Instytutu Fizyki  
pl. Maria Curie-Skłodowskiej, 1  
20-031 Lublin tel. 81-424-194



**Narodziny teorii względności**

**Komputerowa mowa**

**O Mieczysławie Wolfkem**





# XXXVII Zjazd Fizyków Polskich

## GDAŃSK, 15–18 WRZEŚNIA 2003

Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki, Uniwersytet Gdański • ul. Wita Stwosza 57, 80-952 Gdańsk  
tel./fax (+58) 341 87 00 • <http://iftia9.univ.gda.pl/~zjazdptf> • e-mail: [ZjazdPTF@iftia9.univ.gda.pl](mailto:ZjazdPTF@iftia9.univ.gda.pl)  
konto PTF: PKO BP SA, nr 79 10201811 1022701451

Szanowni Państwo,

w imieniu Komitetu Organizacyjnego serdecznie zapraszam Państwa do uczestnictwa w XXXVII Zjeździe Fizyków Polskich w roku 2003 w Gdańsku. Wykłady plenarne zostaną wygłoszone w czasie sesji przedpołudniowych, natomiast obrady w sekcjach specjalistycznych odbędą się w godzinach popołudniowych. Przewidziane są też sesje plakatowe. Sporo czasu chcielibyśmy również poświęcić aktualnej sytuacji nauczania fizyki w szkołach. Obradom Zjazdu towarzyszyć będą wystawy i pokazy mające na celu popularyzację fizyki głównie wśród młodzieży szkół Trójmiasta i Województwa.

- Uczestnicy Zjazdu zostaną zakwaterowani w domach studenckich Uniwersytetu Gdańskiego położonych w pobliżu miejsca obrad. Wyżywienie zapewni stołówka studencka. Będzie też możliwość rezerwacji miejsc w hotelach Trójmiasta.
- W celu uatrakcyjnienia Zjazdu organizatorzy zaplanowali szereg imprez o charakterze towarzyskim (koncert organowy w Katedrze Oliwskiej, spektakl „Kopenhaga” Michaela Frayna w Teatrze Kameralnym w Sopocie, wycieczka statkiem po Zatoce Gdańskiej, spotkanie wieczorne w Operze Leśnej w Sopocie). Koszt tych imprez wliczony jest w opłatę zjazdową.
- Będzie możliwość przedłużenia pobytu do niedzieli włącznie.

Przez pierwsze trzy dni obrady Zjazdu odbywać się będą w nowym budynku Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Gdańskiego. Ostatniego dnia obrady Zjazdu przeniesione zostaną do Gmachu Głównego Politechniki Gdańskiej. Szczegółowe informacje dotyczące Zjazdu ukazywać się będą sukcesywnie na zjazdowej stronie WWW, do odwiedzenia której gorąco zachęcamy.

Łączę serdeczne pozdrowienia

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego  
XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich  
Prof. dr hab. Eugeniusz Czuchaj

### TEMATYKA ZJAZDU

fizyka jądrowa i cząstek elementarnych • spektroskopia atomowa i molekularna • fizyka fazy skondensowanej • dydaktyka fizyki • fizyka matematyczna • fizyka komputerowa • fizyka dla przemysłu • fizyka w medycynie • fizyka w ekonomii i socjologii

### ORGANIZATORZY

Oddział Gdański PTF • Uniwersytet Gdański • Politechnika Gdańska • Urząd Miasta Gdańska

### CZAS I MIEJSCE OBRAD

15–17 września 2003: Uniwersytet Gdański, Wydział Prawa i Administracji, ul. Bażyńskiego 6, Gdańsk

18 września 2003: Gmach Główny Politechniki Gdańskiej, ul. Narutowicza 11/12, Gdańsk

### KOSZT UCZESTNICTWA

Pełny koszt udziału w XXXVII Zjeździe Fizyków Polskich wynosi 750 zł (członkowie Towarzystwa 650 zł), doktoranci, asystenci, studenci i nauczyciele 450 zł, osoby towarzyszące 400 zł. Po 1 czerwca 2003 wszystkie opłaty są wyższe o 100 zł.

### WAŻNE DATY

31.05.2003 – ostateczny termin przysyłania streszczeń komunikatów

31.08.2003 – ostateczny termin rejestracji oraz opłacenia kosztów udziału

### ADRES ORGANIZATORÓW

prof. dr hab. Eugeniusz Czuchaj, Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Gdański,  
ul. Wita Stwosza 57, 80-952 Gdańsk, tel./fax (58) 341 87 00, e-mail: [ZjazdPTF@iftia9.univ.gda.pl](mailto:ZjazdPTF@iftia9.univ.gda.pl)

### KONTO BANKOWE

Oddział Gdański PTF, PKO BP SA, nr 79 10201811 1022701451

Rejestracja on-line: <http://iftia9.univ.gda.pl/~zjazdptf>

Na życzenie będzie można otrzymać formularz zgłoszeniowy zwykłą pocztą

RADA REDAKCYJNA

Andrzej K. Wróblewski (przewodniczący), Jerzy Czerwonko, Marek Demiański, Zofia Gołąb-Meyer, Stanisław K. Hoffmann, Franciszek Kaczmarek, Józef Szudy

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

KOMITET REDAKCYJNY

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

Adres Redakcji:

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

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Maciej Piętka (Białystok), Jerzy J. Wyslocki (Częstochowa), Stanisław Zachara (Gdańsk), Roman Bukowski (Gliwice), Krystian Roleder (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Jacek Bieroń (Kraków), Elżbieta Jartych (Lublin), Urszula Garuska (Łódź), Ewa Pawelec (Opole), Lidia Ski-bińska (Poznań), Małgorzata Klisowska (Rzeszów), Małgorzata Kuzio (Słupsk), Janusz Typek (Szczecin), Józefina Turlo (Toruń), Aleksandra Miłosz (Warszawa), Bernard Jancewicz (Wrocław), Justyna Jankiewicz (Zielona Góra)

SPIS TREŚCI

A. Krasieński – Jak powstawała teoria względności ..	95
M. Schroeder – Automatyczne rozpoznawanie i synteza mowy .....	107
A. Kiejna – Mieczysław Wolfke: życie i działalność naukowa .....	113
A. Zięba – Jeszcze o prostej dostatecznie grubej: w odpowiedzi M.W. Gutowskiemu .....	123
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI .....	131
RECENZJE .....	133
NOWI PROFESOROWIE .....	135
KRONIKA .....	136

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Maciej Kolwas (prezes), Katarzyna Chałasińska-Macukow i Reinhard Kulessa (wiceprezesi), Aleksandra Kopystyńska (sekretarz generalny), Marek Kowalski (skarbnik), Andrzej Bielski, Stanisław Chwirot, Jan Gaj, Bernard Jancewicz, Mirosław Trociuk i Jerzy Warczewski (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

Andrzej Maziewski (Białystok), Stefan Kruszewski (Bydgoszcz), Stanisław Tkaczyk (Częstochowa), Eugeniusz Czuchaj (Gdańsk), Andrzej Klimasek (Gliwice), Karol Kołodziej (Katowice), Janusz Braziewicz (Kielce), Reinhard Kulessa (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Bogustaw Broda (Łódź), Ryszard Pietrzak (Opole), Andrzej Dobek (Poznań), Aleksander B. Szymański (Rzeszów), Henryk Wrembel (Słupsk), Adam Bechler (Szczecin), Andrzej Bielski (Toruń), Jacek Baranowski (Warszawa), Adam Kiejna (Wrocław), Andrzej Więckowski (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: Amm Studio, tel.: (22) 6689990, e-mail: amm@amm.com.pl, Internet: www.amm.com.pl

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

ISSN 0032-5430

*Drodzy Czytelnicy!*

*Tym razem nie jesteśmy w czarnej sukience – mimo że mała czarna jest dobra na wszystkie okazje – teraz proponujemy coś jaśniejszego. Ważniejsze jednak to, co w środku. W tym zeszycie zamieszczamy interesujący artykuł Andrzeja Krasieńskiego o kształtowaniu się pojęcia i teorii względności. Ciekawy, bo m.in. burzy niektóre mity. Polecamy też artykuł Manfreda Schroedera o rozpoznawaniu i syntezie mowy. Postępy w tej dziedzinie ułatwiają względnie normalne życie wielu niepełnosprawnym. Autor jest również mistrzem grafiki komputerowej, co można podziwiać na naszej okładce.*

*Działalność, szczególnie związaną z Wrocławiem, Mieczysława Wolfke, jednego z najwybitniejszych polskich fizyków, omawia artykuł wrocławianina, prof. Adama Kiejny.*

*Już w drugim kolejnym zeszycie przedstawiamy sylwetki naszych kolegów, którzy ostatnio otrzymali tytuł profesora. Uważamy, że dobrze wiedzieć, kim są fizycy wchodzący do tego zaszczytnego grona.*

*Pewnie zauważyli Państwo, że z Kroniki zniknęły notatki dotyczące PTF. Zniknęły z Kroniki, ale oczywiście nie z Postępów. Są w zeszycie, tylko rozrzucone na różnych stronicach. Odnajdą je Państwo łatwo, bo towarzyszy im logo naszego Towarzystwa.*

*Żadne czasopismo nie może spełniać swego zadania bez kontaktu z Czytelnikami. Zechnijcie Państwo przekazywać Redakcji swoje uwagi o Postęпах.*

Barbara Wojtowicz

*Na okładce:*

„The Eikonal Portrait”, grafika komputerowa M.R. Schroedera i W. Möllera (patrz s. 106); © 2003 Manfred Robert Schroeder.



## Nagroda Smoluchowskiego–Warburga

Polskie Towarzystwo Fizyczne i Niemieckie Towarzystwo Fizyczne (DPG) przyznały w 2003 r. Nagrodę Mariana Smoluchowskiego – Emila Warburga Fritzowi Haakemu za jego wybitne dokonania w teorii optyki kwantowej i chaosu kwantowego, a także za intensywną i owocną współpracę z polskimi teoretykami.

Fritz Haake urodził się w 1941 r. w Królewcu. Fizykę studiował w Stuttgarcie, Berlinie i Paryżu. Staż podoktorski odbył w USA na Uniwersytecie Harvarda. Jest profesorem Uniwersytetu w Essen. Pracuje w dziedzinie optyki kwantowej, fizyki statystycznej, teorii szkieł spinowych, a ostatnio – chaosu kwantowego. Wiele ze swoich wyników zawarł w monografii *Quantum Signatures of Chaos*.

Podobnie jak Smoluchowski, Haake jest zamiłowanym alpinistą.



Fritz Haake w Tatrach (fot. Kazimierz Rządewski)

Nagroda Smoluchowskiego–Warburga jest przyznawana przez PTF i DPG co 2 lata na przemian fizykowi niemieckiemu i fizykowi polskiemu.

*Phys. J.* 2, nr 3 (2003)

B. W.



## Oddział Warszawski

W czerwcu 2003 r. kończy się dwuletnia kadencja obecnego Zarządu Oddziału Warszawskiego PTF. Wielu członków Zarządu przepracowało w nim dwie lub więcej kadencji.

W czasie upływającej kadencji Zarząd poświęcał wiele uwagi pracy popularyzatorskiej i działaniom na rzecz nauczania fizyki na wszystkich poziomach. Z inicjatywy Zarządu odbywały się konwersatoria naukowe pod wspólnym patronatem PTF i IFD UW (organizacja: prof. Jacek Baranowski i prof. Janusz Zakrzewski), informujące o najnowszych badaniach i odkryciach. Konwersatoria cieszą

się dużym zainteresowaniem warszawskiego środowiska fizyków.

Organizacją sobotnich wykładów z fizyki doświadczalnej zajmował się dr Andrzej Wymśołek (prowadzący również część wykładów). Wykłady w 2002 r. zostały dofinansowane przez gminę Warszawa Centrum, zaś w 2003 r. (6 wykładów dla szkół średnich i 6 wykładów dla gimnazjów) zostaną dofinansowane przez nowe władze oświatowe Warszawy. Wykłady te odbywają się w auli Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW dzięki życzliwości i wsparciu władz Wydziału Fizyki UW, są bogato ilustrowane pokazami i cieszą się ogromną popularnością wśród uczniów i nauczycieli. Najczęściej sala wypełniona jest do ostatniego miejsca. Wykłady dotyczą zagadnień z termodynamiki, mechaniki, drgań i fal, optyki, elektryczności i magnetyzmu, półprzewodników i ogólnych własności materii.

Ogólnopolskie Seminarium Dydaktyki Fizyki (opieka naukowa: prof. Jerzy Ginter, organizacja: mgr Zuzanna Suwald) poświęcone jest popularyzacji fizyki, upowszechnianiu doświadczeń pedagogicznych nauczycieli i prezentacji nowoczesnych rozwiązań metodycznych. Program seminarium obejmuje zagadnienia współczesnej fizyki i astronomii oraz dydaktyki fizyki; omawiane są zmiany w nauczaniu fizyki w zreformowanej szkole, nowe podręczniki i pomoce dydaktyczne.

Zarząd gminy Warszawa Centrum w 2002 r. sfinansował realizację projektu „Działalność wspierająca nauczanie fizyki w szkołach średnich w związku z reformą edukacji”. W ramach tego projektu został zorganizowany kurs dla nauczycieli fizyki w gimnazjum i liceum: Proste i tanie demonstracje zjawisk fizycznych, obejmujący cykl 6 wykładów z zakresu mechaniki, elektryczności i magnetyzmu, termodynamiki, optyki, drgań i fal oraz energii i jej przemian, w wymiarze 4 godzin każdy. W nieodpłatnych zajęciach wzięło udział ok. 80 nauczycieli. Zajęcia były prowadzone przez pracowników Wydziału Fizyki UW. Organizacją kursu zajmowali się prof. Tadeusz Stacewicz i dr Andrzej Wymśołek. Dr Ewa Kurek i mgr Aleksandra Miłosz brały udział w pracach Komisji Głównej Konkursu Fizycznego organizowanego dla uczniów liceów i techników województwa mazowieckiego przez Kuratorium Oświaty i Politechnikę Warszawską. W Komisji Konkursu Fizycznego (KKF) dla gimnazjów pracowała mgr Zuzanna Suwald. Zarząd Oddziału sfinansował zakup nagród dla laureatów i finalistów tego konkursu. Wojewódzka KKF korzysta z opieki naukowej i uzyskuje recenzje od członków Towarzystwa.

Jak co roku, organizowany jest dla szkół średnich Turniej Młodych Fizyków. W pracach organizacyjnych i ocenianiu występów turniejowych młodzieży biorą udział członkowie Zarządu oraz wielu fizyków z Wydziału Fizyki UW i Instytutu Fizyki PAN. Turniej Młodych Fizyków (TMF) jest imprezą komplementarną względem Olimpiady Fizycznej; zawody są wzorowane na konferen-

(dokończenie na stronie 129)



# Jak powstawała teoria względności

Andrzej Krasiński

Centrum Astronomiczne PAN im. Mikołaja Kopernika, Warszawa

---

## How the theory of relativity had been taking shape

**Abstract:** The paper describes the chain of events that had led to the creation of the relativity theories, first the special, then the general one. It is emphasized that Einstein did not overturn the older physics but built a new structure upon it, which includes Newton's mechanics as a limit and contains Maxwell's theory of electromagnetism verbatim. A few popular misconceptions about relativity vs. Newtonian mechanics are corrected.

---

### 1. O czym jest ten artykuł?

Autorzy popularnych prac i książek o teorii względności zwykle pozostawiają czytelników z wrażeniem, że Einstein dokonał niemalże cudu, jednoosobowo przeprowadzając wielką rewolucję i zaskakując tym ówczesne środowisko naukowe, zupełnie jakoby na taką zmianę nieprzygotowane. Tymczasem rzeczywistość była o wiele bardziej skomplikowana. „Cud”, którego dokonał Einstein, polegał na tym, że zobaczył on samodzielnie w swojej wyobraźni coś, czego większość pozostałych fizyków musiała (i musi do dzisiaj) mozolnie się uczyć. Była jeszcze jednak ta mniejszość – prawda, że bardzo nieliczna – mianowicie ludzie, którzy swoimi odkryciami i przemyśleniami przygotowali grunt dla Einsteina. Pozostawili oni sporo wskazówek, które z perspektywy dzisiejszej wiedzy wydają się całkiem czytelne, ale które były wtedy – w XVIII i XIX w. – dostrzegane przez bardzo niewielu.

Einstein niczego nie zburzył, tylko przeprowadził twórczą syntezę dawniejszej fizyki i pomógł na nowo – w wielu punktach jaśniej i prościej – zrozumieć wcześniejsze teorie: mechanikę i teorię grawitacji Newtona oraz elektrodynamikę Maxwella. Newtonowska teoria grawitacji i mechanika nadal pozostają w mocy jako przybliżenie do teorii Einsteina i mogą być z powodzeniem stosowane we wszystkich sytuacjach, w których prędkość światła można uznać za nieskończoną. Inżynierowie, nawet ci od najszybszych urządzeń – samolotów i promów kosmicznych – z powodzeniem nadal stosują teorię Newtona, bo jest dużo prostsza, a błędy spowodowane zaniedbaniem przewidywań teorii względności i tak są mniejsze niż dopuszczalne techniczne „luzy”, nawet w bardzo precyzyjnych urządzeniach. Elektrodynamika Maxwella po prostu jest częścią teorii względności. Jak pokażemy

dalej, sformułowanie równań Maxwella było jednym z najważniejszych etapów na drodze do teorii względności. Równania te prościej się dyskutuje i rozwiązuje w języku teorii względności niż w tradycyjnym języku analizy wektorowej.

Niniejszy artykuł przedstawia w wielkim skrócie najważniejsze etapy drogi, która w końcu doprowadziła do sformułowania teorii względności; najpierw tzw. szczególnej, czyli teorii zjawisk mechanicznych i elektromagnetycznych z pominięciem grawitacji, potem ogólnej, która uwzględnia również grawitację.

Warto przy tej okazji przypomnieć, jaki jest prawdziwy sens słowa „teoria”. Często spotyka się pogląd, że teoria jest czymś gorszym od prawdziwej wiedzy – co najwyżej pośrednim etapem na drodze do tej ostatniej<sup>1</sup>. W rzeczywistości cała wiedza naukowa składa się z teorii. Nawet jeśli jakaś gałąź wiedzy nie ma słowa „teoria” w nazwie (jak np. mechanika kwantowa), jest również teorią. Nauki przyrodnicze już od czasów Galileusza porzuciły próby dotarcia do prawdy absolutnej, ponieważ okazały się one nieskuteczne. Natura nie podsuwa nam gotowych, „absolutnie prawdziwych” objaśnień zjawisk – my sami musimy odgadnąć wszystkie objaśnienia i nikt nam nie zagwarantuje, że odgadliśmy prawidłowo. Próba nowego objaśnienia pojedynczego zjawiska nazywa się hipotezą. Hipoteza wielokrotnie potwierdzona staje się założeniem. Na podstawie zespołu sprawdzonych założeń buduje się teorię. Jeśli prawidłowo przewiduje ona wyniki dużej liczby doświadczeń i żaden znany aktualnie wynik doświadczenia nie jest z nią sprzeczny, to uznajemy ją za prawdziwą – i nigdy nie będziemy mieli niczego lepszego, co najwyżej inną teorię, jeśli obecna zawiedzie. To jest właśnie ten element niepewności zawarty w słowie „teoria”, o którym każdy uczciwy naukowiec zawsze pamięta – każdą teorię musimy traktować

---

<sup>1</sup> Pogląd ten jest prawdziwą plagą w społeczeństwie amerykańskim, gdzie rozpowszechniają go fundamentalistyczni ewolucyjni biologowie. Propagandzie tej uległ nawet jeden z poprzednich prezydentów USA.

jako tymczasową (do czasu znalezienia lepszej, ale też nie absolutnie prawdziwej). Tymczasowość może trwać bardzo długo, ale nierealne jest oczekiwanie, że kiedykolwiek będziemy posiadali absolutną i kompletną wiedzę o wszystkim.

## 2. „Prehistoria”, czyli prekursorzy Einsteina odszukani przez późniejszych historyków nauki

Pierwsze przebliski „relatywistycznego” myślenia pojawiły się na długo przed Einsteinem. Nie mamy pewności, że wiemy o wszystkich – historia jest przecież też wiedzą tworzoną przez ludzi. Za najstarszą zapowiedź teorii względności można uważać spekulację samego Newtona na temat oddziaływania światła z polem grawitacyjnym. W dziele pt. *Opticks*, po raz pierwszy opublikowanym w 1704 r., Newton postawił pytanie: „Czy ciała nie oddziałują na światło na odległość i przez to oddziaływanie nie uginają jego promieni; i czy to działanie (*caeteris paribus*) nie jest najsilniejsze w najmniejszej odległości?” [1].

Następna spekulacja idąca w tym kierunku jest zawarta w liście angielskiego astronoma i geologa Johna Michella do fizyka Henry’ego Cavendisha z roku 1783: „gdyby promień sfery o takiej samej gęstości jak Słońce przewyższył promień Słońca w proporcji 500:1, to ciało spadające ku niej z nieskończonej wysokości osiągnęłoby przy jej powierzchni prędkość większą niż prędkość światła i w konsekwencji – zakładając, że światło jest przyciągane, tak jak inne ciała, z siłą proporcjonalną do jego *vis inertiae* – całe światło wyemitowane z takiego ciała zostałoby zmuszone do zawrócenia wskutek swojej własnej grawitacji” [2]. Michell zasugerował nawet, że takie „czarne” ciała mogłyby zostać wykryte przez obserwowanie ich towarzyszy w układach podwójnych.

Henry Cavendish, być może zainspirowany listem Michella, obliczył w 1784 r. kąt ugięcia promienia świetlnego w polu grawitacyjnym (zob. niżej), ale nie opublikował tego wyniku [3].

Rozumowanie Michella powtórzył w innej formie, i prawdopodobnie niezależnie, Pierre-Simon de Laplace w 1795 r. [4]. Zauważył on mianowicie, że prędkość ucieczki z powierzchni ciała o masie  $M$  i promieniu  $R$ , równa

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}, \quad (2.1)$$

gdzie  $G$  jest stałą grawitacyjną, staje się większa od prędkości światła  $c$ , gdy  $R$  jest mniejsze od

$$R_S = 2GM/c^2 \quad (2.2)$$

(dla Słońca  $R_S \approx 2,95$  km). Laplace wywnioskował stąd, że ciało o promieniu mniejszym niż  $R_S$  musia-

łoby wydawać się całkowicie czarne. W świetle dzisiejszej wiedzy wynik ten można uważać za przepowiednię istnienia czarnych dziur.

Tu dygresja: Dzisiejsi popularyzatorzy wiedzy o czarnych dziurach lubią zadziwiać czytelników stwierdzeniem, że wzór na promień horyzontu sferycznie symetrycznej czarnej dziury, wynikający z teorii względności, jest identyczny z (2.2). Jest to prawda w sensie „graficznym”, ale nie można zapominać o dwóch ważnych różnicach: 1) W teorii względności wielkość  $R_S$  nie jest odległością powierzchni czarnej dziury od jej środka. Jest to wartość współrzędnej radialnej odpowiadająca tej odległości. Jak wiadomo, współrzędne w teorii względności można wybierać dowolnie, i w rozwiązaniu Schwarzschilda – najprostszym modelu czarnej dziury – celowo wybiera się współrzędną radialną tak, aby niektóre wyniki wyglądały tak samo jak w teorii Newtona. Geometryczna odległość od środka czarnej dziury Schwarzschilda do jej powierzchni wynosi  $(GM/c^2)(\pi + 1)$ . 2) W teorii względności powierzchnia czarnej dziury jest barierą całkowicie nieprzekraczalną w kierunku od środka na zewnątrz – przedostanie się na zewnątrz wymagałoby ruchu z prędkością większą niż prędkość światła. W teorii Newtona wniosek ze wzoru (2.2) jest taki, że z powierzchni ciała o promieniu mniejszym niż  $R_S$  światło nie może uciec do nieskończoności, ale jednak może przez powierzchnię  $R = R_S$  przechodzić w obu kierunkach i oddalać się od niej na zewnątrz. Jak można łatwo obliczyć, maksymalna odległość od środka ciała o masie  $M$ , na którą ucieknie obiekt startujący z powierzchni  $r = R$  z prędkością  $v_0 < v_e = \sqrt{2GM/R}$ , wynosi

$$r_{\max} = \frac{GM}{GM/R - v_0^2/2} \quad (2.3)$$

i może być dowolnie duża, jeśli  $v_0$  jest bliskie  $v_e$ . Morał z tej dygresji: ostrożnie z newtonowskimi analogiami! Mogą one to i owo podpowiedzieć, ale nie pozwalają na zrozumienie szczegółów teorii względności<sup>2</sup>.

Trzecim prekursorem „prehistorycznym” był astronom z Monachium, Johann von Soldner, który w 1804 r. opublikował wynik obliczenia kąta, pod jakim powinien ugiąć się promień świetlny w polu grawitacyjnym Słońca [5]. Wynik ten możemy łatwo wyprowadzić. Jak wiadomo, newtonowskie równanie orbity w sferycznie symetrycznym polu grawitacyjnym, we współrzędnych sferycznych, jest następujące:

$$r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos(\varphi - \varphi_0)}, \quad (2.4)$$

gdzie  $p$  oraz  $\varepsilon$  są odpowiednio parametrem oraz mimośrodem orbity i są związane z fizycznymi charakterystykami orbity w następujący sposób:

$$p = \frac{J^2}{GMm^2}, \quad \varepsilon = \sqrt{1 + \frac{2EJ^2}{G^2M^2m^3}}, \quad (2.5)$$

gdzie  $J$  jest momentem pędu ciała na orbicie względem środka ciała centralnego,  $\mathbf{J} = m\mathbf{r} \times \mathbf{v}$ ,  $E$  jest całkowitą energią tego ciała,  $E = \frac{1}{2}m\mathbf{v}^2 - GMm/r$ ,  $M$  jest masą ciała centralnego,  $m$  jest masą obiektu na orbicie. Dla

<sup>2</sup> Laplace miał natomiast rację w sensie „praktycznym”. Już najbliższa gwiazda jest tak daleko, że z dobrym przybliżeniem jesteśmy względem niej w nieskończoności. Jeśli więc jej promień byłby wyraźnie mniejszy od  $R_S$ , to jej światło nie mogłoby do nas dotrzeć także według teorii Newtona.



orbity hiperbolicznej  $\varepsilon > 1$  i rozwiązując równ. (2.4) względem  $\varphi$  dostajemy

$$\varphi = \varphi_0 \pm \arccos \left[ \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{p}{r} - 1 \right) \right]. \quad (2.6)$$

Kierunki asymptot toru hiperbolicznego wynikają z (2.6) w granicy  $r \rightarrow \infty$ :

$$\varphi^\pm = \varphi_0 \pm \arccos(-1/\varepsilon) \quad (2.7)$$

i tworzą ze sobą kąt  $\varphi^+ - \varphi^- = 2 \arccos(-1/\varepsilon)$ . Kąt ugięcia jest więc równy (rys. 1)

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= 2 \arccos(-1/\varepsilon) - \pi \\ &= -2[\pi/2 - \arccos(-1/\varepsilon)] \\ &= 2 \arcsin(1/\varepsilon). \end{aligned} \quad (2.8)$$

Zauważmy teraz, że  $J = mRv_R$ , gdzie  $R$  jest najmniejszą odległością cząstki orbitującej od środka ciała centralnego, zaś  $v_R$  jest prędkością orbitalną w punkcie najbliższym tego ciała – bo w tym punkcie wektory  $\mathbf{r}$  i  $\mathbf{v}$  są do siebie prostopadłe. Obliczając energię w tym punkcie i przyrównując ją do energii w nieskończoności dostajemy

$$E = \frac{1}{2}mv_R^2 - \frac{GMm}{R} = \frac{1}{2}mv_\infty^2, \quad (2.9)$$

a stąd

$$v_R^2 = v_\infty^2 + 2\frac{GM}{R}. \quad (2.10)$$

Podstawiając  $J$ , (2.9) i (2.10) do (2.5) dostajemy

$$\varepsilon = \sqrt{1 + \frac{R^2 v_\infty^2}{G^2 M^2} \left( 2\frac{GM}{R} + v_\infty^2 \right)} = 1 + \frac{Rv_\infty^2}{GM}. \quad (2.11)$$

Jak należało oczekiwać, wynik ten nie zależy od masy cząstki  $m$ . Podstawiając  $v_\infty = c$  (prędkość światła – masa „cząstki” światła jest przecież nieistotna) dostajemy

$$\varepsilon = 1 + \frac{Rc^2}{GM} \quad (2.12)$$

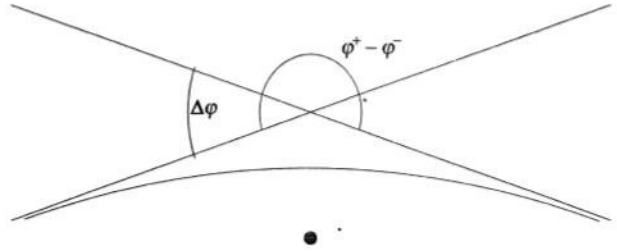
(aż do tego miejsca nie stosowaliśmy żadnych przybliżeń).

Dla zwykłych obiektów astronomicznych, np. dla Słońca, jak już wiemy, odległość  $GM/c^2$  jest znacznie mniejsza od promienia powierzchni, czyli  $R$  musi z konieczności być bardzo duże w porównaniu z  $GM/c^2$ , więc  $\varepsilon \approx Rc^2/(GM)$ . Zatem dla realnych orbit  $\varepsilon$  jest bardzo duże, więc  $1/\varepsilon$  jest bardzo małe, a stąd  $\arcsin(1/\varepsilon) \approx 1/\varepsilon \approx GM/(c^2 R)$ , i w konsekwencji

$$\Delta\varphi \approx \frac{2GM}{c^2 R}. \quad (2.13)$$

To jest wynik uzyskany przez Soldnera i Cavendisha. Podstawiając za  $R$  promień Słońca, a więc najmniejszą odległość, na jaką promień świetlny może się do

Słońca zbliżyć, a za  $M$  masę Słońca, dostajemy maksymalny możliwy kąt ugięcia. Według dzisiejszych danych  $R = 6,96 \cdot 10^{10}$  cm,  $M = 1,989 \cdot 10^{33}$  g,  $c = 3 \cdot 10^{10}$  cm/s,  $G = 6,67 \cdot 10^{-8}$  cm<sup>3</sup>/g · s<sup>2</sup>, więc  $\Delta\varphi \approx (2,84 \cdot 10^{-4})^\circ \approx 0,864''$ . Tu musimy znów wtrącić dygresję: kąt  $\Delta\varphi$  ze wzoru (2.13) jest dokładnie dwa razy mniejszy niż odpowiedni wynik obliczony z teorii względności. A więc, chociaż uchylamy kapeluszy z szacunkiem dla przenikliwości dawnych autorów, ostrzeżenie pozostaje w mocy: ostrożnie z analogiami newtonowskimi.



Rys. 1. Asymptoty hiperbolicznej orbity tworzą ze sobą kąt  $\varphi^+ - \varphi^-$ , gdzie  $\varphi^\pm$  dane są wzorem (2.7). Kąt ugięcia wynosi więc  $\Delta\varphi = \varphi^+ - \varphi^- - \pi$ .

Wyniki Michella, Laplace’a i Soldnera przez długie lata pozostawały niezauważone i były nieobecne w publicznej świadomości. Zostały odszukane przez historyków jako ciekawostki już po sformułowaniu teorii względności. W następnym rozdziale powiemy o odkryciach, które były od początku dostrzeżone, chociaż nie od razu w pełni zrozumiane.

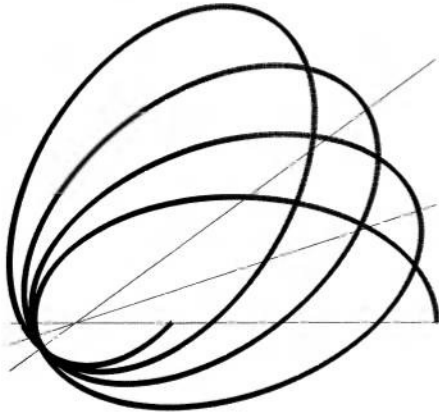
### 3. Historia wczesna, czyli prekursorzy znani, ale nie zawsze świadomi

Równanie (2.4) opisuje także, w przypadku  $\varepsilon < 1$ , orbity eliptyczne w sferycznie symetrycznym polu grawitacyjnym, a więc w przybliżeniu orbity planet w polu Słońca. Dlaczego w przybliżeniu? Przede wszystkim dlatego, że zależność (2.4) dotyczy sytuacji wyidealizowanej: jednej planety obiegającej gwiazdę, która jest dokładnie sferyczna, w przestrzeni całkowicie pustej. W rzeczywistości Słońce nie jest dokładnie kuliste, ponieważ obraca się i siła odśrodkowa ruchu obrotowego, podobnie jak na Ziemi, wywołuje jego spłaszczenie. Potencjał grawitacyjny Słońca nie jest więc dokładnie potencjałem kulombowskim  $V = GM/r$ , lecz zawiera poprawki wyższych rzędów w  $1/r$ . Największe fizyczne zaburzenie ruchu planet jest wywoływane przez inne planety. Uwzględnienie wpływu innych planet daje taki skutek, że równanie ruchu każdej pojedynczej planety modyfikuje się i przybiera postać

$$r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos[(1 - \alpha)(\varphi - \varphi_0)]}, \quad (3.1)$$

gdzie  $\alpha$  jest pewną stałą, inną dla każdej planety. (Ale uwaga: to nie jest dokładny wzór, tylko pierwsze przy-

bliznie w rachunku perturbacyjnym! Małym parametrem jest tu wielkość proporcjonalna do  $\alpha$ , a mianowicie  $V_2/V_1$ , gdzie  $V_1$  i  $V_2$  są pierwszymi wyrazami rozwinięcia potencjału grawitacyjnego  $V$  w szereg względem potęg  $1/r$ . Jak łatwo widać, obecność tej stałej powoduje, że po wykonaniu pełnego obiegu,  $\varphi \rightarrow \varphi + 2\pi$ , planeta nie powraca do położenia wyjściowego. Aby znaleźć się powtórnie w tej samej odległości od Słońca, planeta musi obieć Słońce o kąt  $2\pi/(1-\alpha) \approx 2\pi(1+\alpha)$ . Rzeczywista orbita ma więc kształt rozetki, takiej jak na rys. 2. Wielkość  $2\pi\alpha$  jest nazywana prędkością obrotu perihelium (jest ona dodatnia i bardzo mała – patrz niżej; jej naturalną jednostką są radiany na jeden obieg, ale w praktyce astronomicznej mierzy się ją w sekundach łuku na stulecie).



Rys. 2. Rzeczywiste orbity planet, wskutek różnych zaburzeń, nie są elipsami, ale krzywymi niezamkniętymi. Kąt obrotu perihelium pokazany na rysunku jest znacznie przesadzony – w rzeczywistości największy obserwowany w Układzie Słonecznym kąt obrotu, dla Merkurego, wynosi tylko ok.  $1,5^\circ$  na 100 lat.

W ten sam sposób ujawnia się zaburzenie „niefizyczne” – z konieczności obserwacje astronomiczne na Ziemi wykonywane są w układzie geocentrycznym. Ich wyniki są potem przeliczane do układu heliocentrycznego, ale w surowej postaci wynik pomiaru stałej  $\alpha$  zawiera też przyczynek pochodzący od ruchu orbitalnego Ziemi. Największym zaburzeniem podlega orbita Merkurego; według dzisiejszych pomiarów całkowita prędkość obrotu perihelium Merkurego wynosi  $(5599,74 \pm 0,41)''$  na stulecie (czyli ok.  $1,5^\circ$  na 100 lat) [6,7], z czego ok.  $5000''$  przypada na „niefizyczny” wpływ ruchu orbitalnego Ziemi, ok.  $280''$  na zaburzenia pochodzące od Wenus, ok.  $150''$  od Jowisza, ok.  $100''$  od innych planet... [6]. Ale czy to się sumuje do wielkości obserwowanej?

To pozornie pedantyczne i nieistotne pytanie zadał sobie jako pierwszy francuski astronom Urbain-Jean-Joseph Le Verrier w latach pięćdziesiątych XIX w. Obliczył on dokładnie wszystkie składniki zaburzeń orbity Merkurego, zsumował je – i wyszło mu o ok.  $43''$  na stulecie za mało [8,9]. Według dzisiejszych pomiarów rozbieżność ta wynosi  $(43,11 \pm 0,45)$  [6] (dla innych planet odpowiednie wielkości są znacznie mniejsze i nie przekraczają kilku sekund łuku na stulecie [7]). Wydawało się wtedy, że jest to tylko jakiś brakujący szczegół w obserwacjach. Sam Le Verrier był przekonany, że to niewyjaśnione zaburzenie pochodzi od nowej, nieznannej jeszcze planety, którą nazwał Vulcan. Przypuszczenie to było o tyle naturalne, że niecałe 10 lat wcześniej Le Verrier przewidział istnienie, również wtedy nieznannej, planety Neptun, na podstawie zaburzeń, jakie wywoływała w orbicie Urana, i Neptun został rzeczywiście odkryty. Planeta Vulcan, aby wyjaśnić zaburzenie orbity Merkurego, musiałaby jednak krążyć wewnątrz orbity Merkurego i mieć tak dużą masę, że jej przeoczenie w teleskopach byłoby niemożliwe.

Ten „anomalny ruch perihelium Merkurego” stał się największą zagadką astronomii II połowy XIX w. Próbowano objaśnić go na jeszcze inne sposoby, z których warto tu wspomnieć o jednym. W 1895 r. Simon Newcomb wysunął hipotezę, że obrót perihelium Merkurego jest skutkiem spłaszczenia Słońca [10,11]. Rzeczywiście, gdyby Słońce nie było dokładnie kuliste, wpływ jego spłaszczenia na orbity planet byłby jak ościo wo właśnie taki. Kłopot był jednak z uzgodnieniem liczb. Gdyby spłaszczenie Słońca było wystarczająco duże dla wyjaśnienia brakujących  $43''$  na stulecie, to równocześnie występowałby inny efekt: okresowe zmiany kąta między płaszczyzną orbity Merkurego a płaszczyzną równika Słońca, z prędkością również  $43''$  na stulecie [12]. To było znacznie więcej, niż dopuszczały obserwacje – ten efekt po prostu nie występował.

Wyjaśnienie tej anomalii było historycznie pierwszym, zupełnie nieoczekiwanym sukcesem ogólnej teorii względności. Dojdziemy do tego w dalszym ciągu artykułu.

Następnym etapem na drodze do teorii względności było sformułowanie równań Maxwella w latach 1861–65 [13–18]<sup>3</sup>. Było to jedno z największych i najbardziej rewolucyjnych (w konstruktywnym sensie) odkryć w historii fizyki, które odegrało wielką rolę także w technice. O jego skutkach można by napisać całą książkę. Z naszego punktu widzenia istotna jest jedna własność tych równań. Występuje w nich jako współczynnik prędkość światła w próżni  $c$ . Ale równa-

<sup>3</sup> Oryginalnych prac Maxwella nikt dziś nie cytuje i nie było łatwo odnaleźć dane o nich. Za pierwsze przedstawienie równań Maxwella w literaturze uchodzi seria prac z lat 1861–62 [13,14]. Ulepszoną wersją tego wykładu jest praca [15] z dalszymi poprawkami w artykule [16]. Kompletnym wykładem jego teorii elektromagnetyzmu jest dzieło [17]. Syntetyczną informację o tym, jak Maxwell i współcześni mu fizycy i matematycy stopniowo dochodzili do układu równań zwanych dziś równaniami Maxwella, zawiera książka [18]. Książka ta, wydana po raz pierwszy w roku 1910, miała wiele wznowień. Z niej pochodzą dane bibliograficzne o pracach [13–16] (przypisy w t. I na s. 247, 255 i 258).



nia Maxwella nie są niezmiennicze względem zamiany zmiennych, jaka w mechanice Newtona występuje przy przejściu do układu poruszającego się względem wyjściowego z prędkością  $v$ ,  $x'_i = x_i - v_i t$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Oznaczałoby to, że równania Maxwella wyróżniają pewien układ odniesienia. Co więcej, Maxwell zauważył, że doświadczalnie zmierzona prędkość rozchodzenia się zaburzeń pola elektromagnetycznego jest prawie dokładnie równa prędkości światła. Wynioskował stąd, że światło musi być falą elektromagnetyczną. Nie było to wiadome do tamtej chwili i wcale nie był to wniosek oczywisty, bo „zwykle” fale elektromagnetyczne też jeszcze nie były doświadczalnie wykryte – ich istnienie było jedną z przepowiedni równań Maxwella. Zatem, układ odniesienia wyróżniony (z pozoru – patrz niżej) przez równania Maxwella musiałby być tym układem, względem którego prędkość światła wynosi  $c$ .

Według ówczesnych pojęć fale musiały rozchodzić się w jakimś ośrodku – i istnienie wyróżnionego układu odniesienia dla światła sugerowało, że ono też musi mieć swój ośrodek, który nazwano „eterem”. Lata całe minęły fizykom na bezowocnych próbach wykrycia eteru – to znowu jest temat dla całej książki (która zresztą istnieje [18]).

Jedną z tych prób stała się kolejnym kamieniem milowym na drodze ku teorii względności. W 1881 r. Albert Abraham Michelson<sup>4</sup> spróbował zmierzyć prędkość ruchu Ziemi względem eteru [20–22] (bardziej znana jest inna praca, w której opisano udoskonaloną wersję tego samego eksperymentu, przeprowadzoną wspólnie z Edwardem Morleyem [24]). Rozumowanie, na którym opierał się eksperyment, było proste i może być objaśnione przez porównanie ze statkiem, który płynie po jeziorze po linii prostej ze stałą prędkością  $v$ . Wyobraźmy sobie, że do statku podpływa motorówka, poruszająca się z prędkością  $c > v$  (prędkość statku i prędkość motorówki są oczywiście mierzone względem nieruchomej wody). Wyobraźmy sobie, że motorówka wykonuje następnie dwie operacje: 1) odpływa od statku wprost do tyłu na pewną odległość  $l$ , a potem wraca; 2) odpływa od statku na tę samą odległość  $l$  w kierunku prostopadłym do toru statku i podpływa doń z powrotem. Można łatwo obliczyć, że czas podróży motorówki tam i z powrotem wyniesie  $t_1 = 2lc/(c^2 - v^2)$  w pierwszym wypadku i  $t_2 = 2l/\sqrt{c^2 - v^2} < t_1$  w drugim wypadku. Podstawiając za  $c$  prędkość światła względem eteru oraz mierząc czasy  $t_1$  oraz  $t_2$  dla promienia świetlnego wysłanego w kierunku przeciwnym do prędkości orbitalnej Ziemi i odbitego od zwierciadła w odległości  $l$  oraz promienia wysłanego w kierunku prostopa-

dłym do tej prędkości, można obliczyć  $v$  – prędkość Ziemi względem eteru. Ściśle mówiąc, w eksperymentach Michelsona chodziło nie tyle o zmierzenie tej prędkości (powinna przecież wyjść taka sama, jak prędkość ruchu Ziemi po orbicie), ile o jej wykrycie tą metodą. Światło w doświadczeniu Michelsona poruszało się wzdłuż dwu prostopadłych do siebie ramion interferometru, przy czym raz jedno, raz drugie ramię było skierowane równoległe do prędkości orbitalnej Ziemi. Gdyby czas podróży sygnału świetlnego na tych dwu drogach był różny, to przy obrocie interferometru z jednej pozycji do drugiej prążki interferencyjne powinny przesunąć się w inne miejsce – i można łatwo obliczyć, o ile. Ale, w granicach błędu pomiaru, przesunięć nie było widać, choć aparatura była bardzo precyzyjna<sup>5</sup>...

Zwolennicy teorii eteru próbowali ją jeszcze ratować twierdząc, że Ziemia porywa ze sobą eter i w jej bliskim otoczeniu eter płynie przez przestrzeń razem z nią, tak jak woda przy burcie statku. Kolejny przełom był już jednak w drodze. W początku lat dziewięćdziesiątych XIX w. Hendrik Antoon Lorentz i George Francis FitzGerald wpadli niezależnie od siebie na ten sam pomysł: negatywny wynik doświadczeń Michelsona można objaśnić, jeśli założymy, że ramię interferometru leżące wzdłuż kierunku prędkości Ziemi ulega skróceniu względem swojej długości spoczynkowej  $L$ , i względem drugiego ramienia, o wielkość  $\Delta L = Lv^2/(2c^2)$  [26,27,22] (jest to wynik przybliżony, dokładnie różnica długości wynosi  $\Delta L/[1 + v^2/(2c^2)]$ ). Ten wynik stał się później częścią szczególnej teorii względności, a efekt do dziś jest nazywany skróceniem Lorentza lub poprawnie skróceniem Lorentza–FitzGerala.

Ten sam Lorentz w 1904 r. opublikował drugą fundamentalną pracę, w której znalazł przekształcenie zmiennych niezmienniające postaci równań Maxwella [28,29]. Zauważył mianowicie, że przy przejściu do układu  $O' = \{x', y', z'\}$  poruszającego się z prędkością  $v = (v_1, v_2, v_3)$  względem układu  $O = \{x, y, z\}$  należy przekształcić nie tylko współrzędne przestrzenne  $\{x_i\}$ , ale także czas oraz pola elektryczne i magnetyczne, ładunek i prąd. Lorentz rozpatrywał w pracy [28] tylko szczególny przypadek tej transformacji, odpowiadający ruchowi układu  $O'$  względem  $O$  wzdłuż osi  $x$ , przy czym osie  $x$  i  $x'$  pokrywały się, zaś osie  $(y, y')$  i  $(z, z')$  były parami równoległe. Ściślej mówiąc, Lorentz nie podał wzorów na transformację gęstości ładunku  $\rho$  i prędkości  $u$  jego przemieszczania, ale dzisiejszy, odpowiednio przygotowany czytelnik może je sobie łatwo z jego pracy wywnioskować (wnioskowa-

<sup>4</sup> Michelson urodził się w Strzelnie w 1852 r. Gdy miał 2 lata, jego rodzice wyemigrowali razem z nim do USA [19]. Stał się potem pierwszym amerykańskim laureatem Nagrody Nobla z fizyki. Ciekawe, co by z niego wyrosło, gdyby został w Polsce...

<sup>5</sup> To właśnie za skonstruowanie dokładnego interferometru Michelson dostał Nagrodę Nobla, a nie za utworzenie drogi do teorii względności; cytat z oficjalnego uzasadnienia decyzji [25]: „for his optical precision instruments and the research which he has carried out with their help in the fields of precision metrology and spectroscopy”.

nie to jest utrudnione przez niefortunną, dość mylącą notację dla  $\rho'$  i  $\mathbf{u}'$  użytą w pracy Lorentza). Wzory transformacyjne są również częścią teorii względności, a przekształcenie  $(x, y, z, t) \rightarrow (x', y', z', t')$  do dziś nosi nazwę szczególnej transformacji Lorentza (ogólna transformacja Lorentza jest złożeniem transformacji szczególnej uogólnionej na dowolny kierunek ruchu  $O'$  względem  $O$  z dowolnym obrotem osi układu  $O'$  względem osi  $O$ ; wzory na nią można znaleźć w każdym dobrym podręczniku elektrodynamiki).

Teoria względności była tuż za rogiem. Trzeba było „tylko” fakty doświadczalne i założenia dobierane *ad hoc* dla ich objaśnienia powiązać w jedną logiczną całość. Pewien skromny referent w berneńskim urzędzie patentowym już nad tym pracował.

#### 4. Szczególna teoria względności

Po latach trudno jest ustalić, kto co wiedział, gdy przystępował do pracy, zwłaszcza że wydarzenia następowały w krótkich odstępach czasu. Przez pewien czas rozpowszechniany był pogląd, że Einstein nie znał negatywnego wyniku pomiarów Michelsona, gdy spisywał do publikacji swoją pierwszą wielką<sup>6</sup> pracę „O elektrodynamice ciał w ruchu” [30,31]. Niezależnie od tego, co i kiedy Einstein wiedział, praca [30] była kolejnym odkryciem najwyższej klasy w historii fizyki.

Tym wielkim pomysłem, który połączył luźne elementy mozaiki w jeden obraz, były dwa założenia. Pierwsze Einstein nazwał *zasadą względności*: prawa elektrodynamiki i optyki są takie same we wszystkich układach odniesienia, w których prawdziwe są prawa mechaniki (a według popularniejszej dzisiaj terminologii – prawa elektrodynamiki i optyki są takie same we wszystkich układach inercjalnych). Drugim założeniem było, że prędkość światła w próżni zawsze wynosi  $c$ , niezależnie od stanu ruchu ciała je emitującego.

Z tych dwu założeń Einstein wyprowadził wniosek, że współrzędne przestrzenne i czasowe w układzie stacjonarnym  $K$  i układzie  $k$  poruszającym się tak samo, jak w opisanym wcześniej rozumowaniu Lorentza, muszą być powiązane transformacją Lorentza. Wykazał też, że prędkość światła zmierzona w układzie  $k$  będzie taka sama, jak w układzie  $K$ , tzn. że jeśli w układzie  $K$  punkty czoła kulistej fali świetlnej, wyemitowanej z punktu  $(x, y, z) = (0, 0, 0)$  w chwili  $t = 0$ , spełniają równanie

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2, \quad (4.1)$$

<sup>6</sup> Wielką w sensie wpływu na naukę; nie jest ona wcale długa – ma 29 stron. Na korzyść wspomnianej teorii historycznej może świadczyć brak cytowań w [30]; praca ta nie zawiera żadnych odsyłaczy do wcześniejszej literatury. Z drugiej jednak strony praca Einsteina zawiera następujące zdanie: „bezwoczne próby wykrycia jakiegokolwiek ruchu Ziemi względem »ośrodka świetlnego« sugerują, że zjawiska elektrodynamiki i mechaniki nie wykazują właściwości odpowiadających idei absolutnego spoczynku”. To z kolei świadczyłoby, że o wynikach Michelsona wiedział. Na s. 40 pracy [23] pisze też: „W zgodzie z doświadczeniem zakładamy następnie, że wielkość  $2AB/(t'_A - t_A) = c$  jest stałą uniwersalną – prędkością światła w pustej przestrzeni”. Natomiast redaktor tomu [23], Arnold Sommerfeld, zaświadcza w przypisie na s. 38, że Einstein nie znał drugiej z cytowanych wcześniej prac Lorentza.

to w układzie  $k$ , w którym punkt i czas emisji były  $(x', y', z', t') = (0, 0, 0, 0)$ , spełnione będą równania

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2. \quad (4.2)$$

Oznaczało to, że zasada względności jest zgodna z założeniem stałości prędkości światła.

Dalej Einstein wyprowadził wniosek, że zegary w układzie ruchomym muszą spóźniać się względem zegarów spoczywających. Wyprowadził też wzór na składanie prędkości i pokazał, że składanie prędkości mniejszych niż  $c$  nigdy nie da prędkości większej niż  $c$  oraz że prędkość równa  $c$  w jednym układzie będzie równa  $c$  w każdym innym układzie, poruszającym się ze stałą prędkością względem pierwszego. W drugiej części pracy wykazał, że z zasady względności i założenia o stałości  $c$  wynikają wzory Lorentza dla pola elektrycznego i magnetycznego oraz dla transformacji ładunków i stwierdził, że rozróżnienie między polem elektrycznym i magnetycznym nie jest absolutne, lecz zależy od stanu ruchu obserwatora. Wyprowadził też wzory opisujące zjawisko Dopplera dla fal elektromagnetycznych i transformację energii promieniowania przy przejściu do ruchomego układu odniesienia.

W skróconym opisie te wszystkie wyniki mogą robić wrażenie tajemniczych i magicznych. W rzeczywistości prace Einsteina są dość łatwe w czytaniu i, z wyjątkiem nielicznych odniesień do tematów dziś już nieaktualnych, nadają się do lektury dla każdego, kto przeszedł kurs mechaniki i elektrodynamiki. W tych dawnych czasach autorzy prac naukowych dokładali jeszcze starań, aby ich teksty były nie tylko odkrywczymi, ale też ciekawymi i w miarę łatwymi do zrozumienia... W pracach Einsteina nie ma rewolucyjnego burzycielstwa, które przypisują mu do dziś niektórzy entuzjaści burzenia. Jak napisano na wstępie, Einstein niczego nie obalił, tylko znaną przed nim fizykę uzupełnił bardzo elegancką i pouczającą nową konstrukcją, rozwiązującą kilka zidentyfikowanych wcześniej problemów.

Musimy tu wspomnieć o jeszcze jednej pracy Einsteina z 1905 r., opublikowanej w tym samym tomie *Annalen der Physik* [32,33], w której na 3 stronach druku wyprowadził on sławny dziś wzór  $E = mc^2$ . Sam autor nazwał go „bardzo interesującą konkluzją” i przedstawił w formie nieco innej niż ta powielana do znudzenia, ostatnio nawet w reklamach i na plakatach filmowych: „Jeśli ciało wydzieli energię  $L$  w postaci promieniowania, to jego masa zmniejsza się o  $L/c^2$ ”. W następnym zdaniu Einstein stwierdził, że założenie, iż energia odebrana ciału ma postać promieniowania,



nie może być istotne, i wobec tego „otrzymujemy ogólniejszy wniosek, że:

Masa ciała jest miarą energii, którą ono zawiera; jeśli energia zmienia się o  $L$ , to masa zmienia się w tym samym kierunku o  $L/9 \cdot 10^{20}$ , gdzie energię mierzymy w ergach, a masę w gramach”.

Wynik ten był rozwinięciem wzoru, uzyskanego w pracy [30], na zmianę energii fali świetlnej przy przejściu do ruchomego układu odniesienia.

W zakończeniu pracy Einstein wysunął sugestię, którą warto zacytować, ponieważ daje wgląd w realia tamtej epoki: „Nie jest niemożliwe, że za pomocą ciał, których zawartość energetyczna jest w dużym stopniu zmienna (np. za pomocą soli radioaktywnych), obecna teoria może być skutecznie poddana sprawdzeniu”.

### 5. Intermedium – teoria względności wprowadza nową geometrię

Przez krótki czas po sformułowaniu szczególnej teorii względności wydawało się, że większość zagadkowych problemów fizyki została już rozwiązana. W rzeczywistości okazało się, że Einstein odkrył nową kopalnię ciekawych problemów i wskutek tego odkrycia teoria zaczęła wyprzedzać doświadczenie (i nie wyzbyła się tej skłonności do dzisiaj).

Pierwszy chodnik w tej nowej kopalni wydrążył Hermann Minkowski, niemiecki matematyk urodzony w Rosji [34,35]. Zauważył on mianowicie, że transformacje Lorentza nie tylko zachowują bez zmiany równanie propagacji światła (4.1), ale zachowują wartość wyrażenia

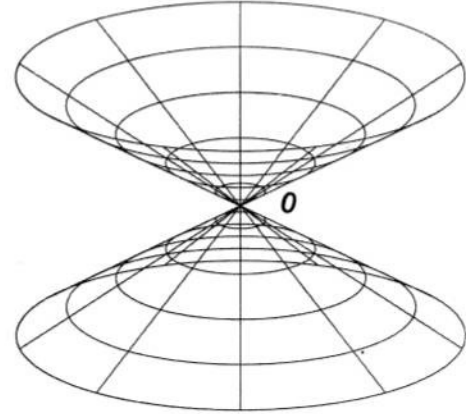
$$(\Delta s)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2, \quad (5.1)$$

gdzie  $(t, x, y, z)$  oraz  $(t + \Delta t, x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z)$  są odpowiednio współrzędnymi czasowymi i przestrzennymi dwu różnych zdarzeń. W geometrii Euklidesa przestrzeń jest niezmiennicza względem obrotów, obroty zaś nie zmieniają odległości punktów o współrzędnych  $(x, y, z)$  i  $(x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z)$ , wyrażającej się wzorem

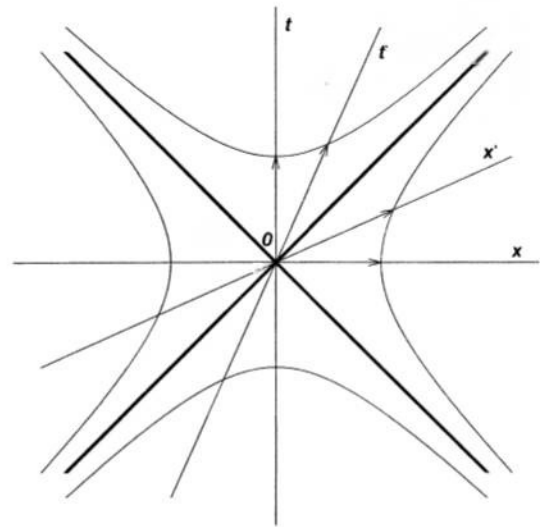
$$L^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2. \quad (5.2)$$

Z podobieństwa wzorów (5.1) i (5.2) i ze wspomnianej wyżej obserwacji Minkowski wywnioskował, że szczególna teoria względności jest geometrią przestrzeni nowego rodzaju, którą dziś nazywamy czasoprzestrzenią Minkowskiego (Minkowski zaproponował nazwę „świat”, ale wyszła ona z użycia; nazwisko Minkowskiego w nazwie nie jest tylko pomnikiem – dziś znamy wielką liczbę innych czasoprzestrzeni, więc trzeba było je jakoś ponazywać). To nowe spojrzenie na postulat niezależności prędkości światła od ruchu obserwatora inercyjnego i na transformacje Lorentza okazało się bardzo bogate w konsekwencje, z których wiele zauważył sam Minkowski. Równanie  $(\Delta s)^2 = 0$  jest równaniem powierzchni

(3-wymiarowej!) stożka w nowej (4-wymiarowej) przestrzeni; promienie świetlne poruszają się w czasoprzestrzeni po powierzchni tego stożka. Stożek taki istnieje dla każdego zdarzenia  $O$  w czasoprzestrzeni (rys. 3 i 4); wewnątrz stożka powyżej wierzchołka  $O$  to te zdarzenia, do których obserwator może z  $O$  dotrzeć, poruszając



Rys. 3. Stożek świetlny w czasoprzestrzeni Minkowskiego. Oś czasu biegnie pionowo do góry, osie przestrzenne  $x$  i  $y$  leżą w płaszczyźnie poziomej, prostopadłej do osi czasu. Promienie świetlne wysłane lub odebrane w zdarzeniu reprezentowanym przez wierzchołek stożka  $O$  poruszają się wzdłuż tworzących stożka; tory ruchów ciał materialnych muszą w każdym punkcie mieć styczne nachylone do osi stożka pod mniejszym kątem niż tworzące.



Rys. 4. Przekrój przez stożek z rys. 3 płaszczyzną  $y = 0$ . Tworzące stożka zaznaczono grubszymi liniami. Zaznaczono też osie wyjściowego układu inercyjnego  $(t, x)$  i osie układu poruszającego się  $(t', x')$ , związaneego z  $(t, x)$  transformacją Lorentza. Poziome hiperbole wyznaczają jednostkę czasu na każdej osi czasu, pionowe – jednostkę odległości na każdej osi przestrzennej. Jednostkowe czasy i odległości zaznaczono strzałkami. Oryginalna praca Minkowskiego zawiera większość informacji o geometrii czasoprzestrzeni podawanych dzisiaj przez podręczniki.

się z prędkością mniejszą od  $c$ , wewnątrz stożka poniżej punktu  $O$  – to te zdarzenia, z których obserwatorzy mogą dotrzeć do  $O$ , poruszając się z prędkością mniejszą niż  $c$ . Po transformacji Lorentza osie nowego układu inercjalnego  $(t', x')$  są ustawione względem osi starego układu tak, jak pokazano na rys. 4. Każde ze zdarzeń leżących na zewnątrz stożka może więc, przez dobór odpowiedniego ruchomego układu odniesienia, stać się równoczesne ze zdarzeniem  $O$ . Tangens kąta rozwarcia stożka jest równy  $c$ . Jeśli więc potraktujemy prędkość światła jak swobodny parametr, to w granicy  $c \rightarrow \infty$  stożek rozszerza się i kładzie na płaszczyźnie  $t = 0$ , czasoprzestrzeń zostaje w tej granicy podzielona na dwie połowy – przyszłość i przeszłość zdarzenia  $O$ , i dostajemy z powrotem newtonowskie pojęcie absolutnej równoczesności.

Komentarz niehistoryczny: Stożek świetlny wygląda tak, jak na rys. 3 i 4, tylko wtedy, gdy odległości przestrzenne i czas mierzymy w tych samych jednostkach, np. w centymetrach. Ile to jest „centymetr czasu”? To czas, jakiego potrzebuje światło na pokonanie drogi 1 cm, czyli ok.  $3,3 \cdot 10^{-11}$  s. Gdyby mierzyć odległość w centymetrach, a czas w sekundach, i dla sekundy oraz centymetra przyjąć taki sam odcinek na każdej osi, to stożek świetlny byłby rozarty tak szeroko, że w skali rysunku wcale nie zauważylibyśmy, że nie pokrywa się on z płaszczyzną  $t = 0$ . Właśnie dlatego teoria Newtona tak dobrze działa we wszystkich sytuacjach, w których prędkości obiektów są małe w porównaniu z  $c$ .

Minkowski wykazał też, że skrócenie Lorentza i spóźnianie się zegarów w ruchu, przewidziane przez Einsteina, dają się objaśnić jako proste relacje geometryczne między czasami i odległościami mierzonymi w dwu różnych układach odniesienia w czasoprzestrzeni. Pokazał także, że jego czasoprzestrzeń jest naturalną areną dla równań elektrodynamiki, które przy takiej interpretacji nabierają jasności i stają się łatwiej zrozumiałe.

Minkowski nie żył długo – umarł po roku od wygłoszenia swojego wykładu [34], w wieku 45 lat, i nie mógł wziąć udziału w dalszym rozwoju swoich idei. Stały się one nowym natchnieniem dla Einsteina. Zadał on sobie pytanie: gdzie w tym schemacie mieszczą się oddziaływania grawitacyjne? Jego dotychczasowe rozważania o mechanice i elektrodynamice dotyczyły abstrakcyjnej przestrzeni, w której pola grawitacyjnego nie ma wcale, ale przecież w rzeczywistości pole to jest obecne wszędzie. Pomysł, jak uwzględnić pole grawitacyjne, był całkiem nowy i niezwykły. Einstein zauważył, że pole grawitacyjne można symulować za pomocą przyspieszeń. Wyrażenie (5.1) nazywane formą metryczną nie zmienia swojej postaci przy transformacjach Lorentza, które odpowiadają przejściu do układu poruszającego się względem pierwotnego ruchu jednostajnym. Gdyby przejść do układu poruszającego się z dowolnym przyspieszeniem, tzn. ta-

kiego, w którym nowe współrzędne  $(t', x', y', z')$  są dowolnymi funkcjami starych współrzędnych  $(t, x, y, z)$ , to współczynniki formy metrycznej (5.1) zmieniłyby swoją postać – nie byłyby już stałe. Ich niestałość byłaby skutkiem przyspieszeń układu odniesienia, ale w takim razie taki sam powinien być skutek pola grawitacyjnego – w czasoprzestrzeni z polem grawitacyjnym współczynniki  $\Delta x_i \Delta x_j$  powinny być funkcjami współrzędnych. Różnica między czasoprzestrzenią Minkowskiego, gdzie pola grawitacyjnego nie ma, a ogólną czasoprzestrzenią z polem grawitacyjnym byłaby taka, że w czasoprzestrzeni Minkowskiego istnieją specjalne współrzędne, w których forma metryczna przybiera postać (5.1), a w ogólnej czasoprzestrzeni one nie istnieją. Czasoprzestrzeń Minkowskiego była odpowiednikiem płaskiej przestrzeni Euklidesa. Zatem ogólna czasoprzestrzeń powinna być zakrzywiona i właśnie to zakrzywienie widzimy jako pole grawitacyjne (streszczone tu w wielkim skrócie rozumowanie Einsteina zostało przedstawione w pracy [36]).

Jeszcze dziś pomysł Einsteina wydaje się zdumiewający dla każdego, kto o nim słyszy pierwszy raz. W tamtych czasach, przed rokiem 1910, fizycy nie rozumieli, co to znaczy, że przestrzeń Euklidesa jest płaska, chociaż grupka matematyków pracowała nad odpowiednim uogólnieniem geometrii euklidesowej już od ok. 50 lat. Twórca podstaw tej nowej geometrii, Bernhard Riemann, umarł (przedwcześnie, w wieku 40 lat) w 1866 r., na 13 lat przed narodzinami Einsteina, a swoje podstawowe idee przedstawił w wykładzie habilitacyjnym<sup>7</sup> w roku 1854. Pomysł Riemanna polegał, w bardzo dużym uproszczeniu, na tym, żeby wzór Pitagorasa (5.2) zastąpić ogólną formą kwadratową w dowolnie dużej liczbie zmiennych:

$$(ds)^2 = g_{11}(x_1, \dots, x_n)(dx_1)^2 + g_{12}(x_1, \dots, x_n)dx_1 dx_2 + \dots + g_{nn}(x_1, \dots, x_n)(dx_n)^2, \quad (5.3)$$

w której współczynniki są funkcjami punktu. Wielkość  $ds$  jest odległością między punktami o współrzędnych  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  oraz  $(x_1 + dx_1, x_2 + dx_2, \dots, x_n + dx_n)$  (wyrażenie dla  $ds$  ma sens tylko pod całką, ale taki sposób definiowania tensora metrycznego  $g_{ij}$  przyjął się powszechnie jako bardziej czytelny od zapisu macierzewego). W 1908 r. geometria Riemanna (a właściwie „geometrie Riemanna”, ponieważ jest ich nieskończenie wiele) była już dość zaawansowanym działem matematyki. Mimo pewnych intuicyjnych przewidywań sformułowanych jeszcze przez Riemanna matematycy nie wiedzieli, że geometrie te mogą mieć cokolwiek wspólnego z rzeczywistością fizyczną, a fizycy nie wiedzieli o geometrii Riemanna. Skojarzenie geometrii Riemanna z teorią grawitacji było kolejnym sukcesem

<sup>7</sup> Wykład ten nie był wcale oparty na jego rozprawie habilitacyjnej. Głównym tematem rozprawy było przedstawianie funkcji przez szeregi trygonometryczne, a jednym z jej wyników był inny klasyczny temat matematyczny: warunki, przy których funkcja jest, jak dziś mówimy, całkowna w sensie Riemanna [37].

Einsteina, zdecydowanie największym ze wszystkich, i drugim już w jego życiu odkryciem o podstawowym znaczeniu dla całej fizyki.

## 6. Ogólna teoria względności, czyli teoria grawitacji

Pomysł polegający na zinterpretowaniu grawitacji jako krzywizny czasoprzestrzeni musiał być uzupełniony równaniami, które byłyby sensownym uogólnieniem prawa grawitacji Newtona. To zadanie okazało się dużo trudniejsze. Einstein postanowił nauczyć się geometrii Riemanna i poprosił o pomoc swojego koleżę ze studiów, matematyka Marcela Grossmana. Nauka trwała kilka lat, a w tym czasie Einstein publikował różne przemyślenia i częściowe wyniki. Jednym nich było obliczenie kąta ugięcia promieni świetlnych w polu grawitacyjnym. Pierwsza praca na ten temat pochodzi z 1907 r. [38], ale sam Einstein nie był zadowolony z jej wyniku, co przyznał w drugiej pracy, z 1911 r. [39]. Metoda, którą zastosował, była inna niż opisana wcześniej metoda Soldnera, ale wynik ten sam – (2.13), czyli nadal nieprawidłowy. Metoda ta zasługuje mimo to na uwagę, bo jest pouczająca. Einstein wykazał najpierw, że prędkość światła w polu grawitacyjnym nie jest stała, lecz związana z potencjałem grawitacyjnym zależnością

$$c = c_0(1 + \Phi/c_0^2), \quad (6.1)$$

gdzie  $c_0$  jest prędkością światła mierzoną poza obszarem działania pola grawitacyjnego, a  $\Phi$  jest potencjałem grawitacyjnym<sup>8</sup>. Z tego wzoru i z rysunku pokazującego rozchodzenie się fal w przestrzeni Einstein wniosł, jak zmienia się kierunek propagacji fali przy przemieszczaniu się przez pole grawitacyjne i jaki będzie całkowity kąt ugięcia. Sam zaproponował też metodę pomiaru tego efektu, która rzeczywiście została później użyta: podczas całkowitego zaćmienia Słońca należy zmierzyć położenia na niebie gwiazd widocznych blisko tarczy Słońca (i porównać je z położeniami tych samych gwiazd kilka miesięcy później – tego już Einstein nie musiał pisać).

W tej samej pracy Einstein uzyskał inny klasyczny (i poprawny) rezultat, będący wnioskiem z równowagi masy i energii: promieniowanie o częstotliwości  $\nu_2$ , wyemitowane w polu grawitacyjnym o natężeniu  $\Phi$ ,

dotrze do obserwatora „w nieskończoności” (a więc w obszarze niemierzalnie słabego pola grawitacyjnego) z mniejszą częstotliwością

$$\nu_1 = \nu_2(1 + \Phi/c^2) \quad (6.2)$$

(przypominamy, że potencjał pola grawitacyjnego jest wielkością ujemną). Jeśli obserwator mierzący częstotliwość  $\nu_1$  jest też w polu grawitacyjnym, to za  $\Phi$  należy podstawić różnicę potencjałów  $\Phi_2 - \Phi_1$ . Wynik ten został sprawdzony doświadczalnie znacznie później [40–42].

W swojej pracy nad teorią grawitacji Einstein nadal nie był osamotniony. Historię powstawania ogólnej teorii względności opisał dokładnie Jagdish Mehra [43]. Nie była to prosta droga, ani też nie było to zawsze przyjazne współdziałanie ludzi poszukujących prawdy. Był tam przynajmniej jeden nieprzyjazny konkurent, zawzięcie krytykujący Einsteina, ale równocześnie usiłujący (bez sukcesu) wyprzedzić go w ostatecznym sformułowaniu nowej teorii (po nazwiska i fakty odsyłam Czytelników do pracy [43]). Einstein mylił się kilkakrotnie i musiał potem wycofywać z opublikowanych już propozycji. Nie robił on żadnej tajemnicy ze swojego zamiaru i nie ukrywał osiągniętych pośrednich wyników – i w końcu spotkała go niemiła przygoda. Jego usiłowaniami zainteresował się jeden z najwybitniejszych matematyków wszystkich czasów, starszy odeń o kilkanaście lat David Hilbert. Einstein dążył do swojej teorii kierując się intuicją fizyczną i geometryczną. Hilbert wybrał drogę formalną – zażądał mianowicie, aby poszukiwane równania pola grawitacyjnego wynikały z zasady wariacyjnej, w której zmiennymi niezależnymi mają być współczynniki  $g_{ij}$  w formie metrycznej (5.3); aby były drugiego rzędu jako równania różniczkowe we współrzędnych; wreszcie żeby funkcjonal wariacyjny był skalarem. Z tych trzech aksjomatów, drogą dedukcji, doszedł samodzielnie i niezależnie do równań, nazywanych dziś równaniami Einsteina. Praca zajęła mu ok. 2 lat i, patrząc formalistycznie na daty, Hilbert wyprzedził Einsteina w ostatecznym sformułowaniu teorii względności. Einstein przedstawił swoją teorię podczas czterech kolejnych posiedzeń Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie w dniach 4, 11, 18 i 25 listopada 1915 r., przy czym dopiero podczas ostatniego posiedzenia podał poprawny wynik końcowy. Hilbert przedstawił swój wynik na posiedzeniu Królewskiej Akademii Nauk<sup>9</sup> w Getyndze 20 listo-

<sup>8</sup> Pokutuje do dziś nieporozumienie związane ze „stałością prędkości światła”. Wynosi ona ok.  $3 \cdot 10^{10}$  cm/s w próżni w układzie inercyjnym (w lokalnym układzie inercyjnym, czyli spadającym swobodnie, w polu grawitacyjnym). Prędkość ta mierzona przez obserwatorów nieinercyjnych, a więc np. spoczywających w polu grawitacyjnym, może mieć inne wartości. Jak widać, sam Einstein wiedział o tym bardzo dobrze. Ta sama uwaga dotyczy obserwatorów obserwujących bardzo dalekie od nas obszary Wszechświata, gdzie materia oddala się od nas z dużą prędkością. Prędkość rozchodzenia się czoła fali świetlnej w takim dalekim obszarze, mierzona przez obserwatora na Ziemi, będzie większa od  $c$  dla promieni oddalających się od nas i mniejsza od  $c$  dla promieni biegnących ku nam, wskutek „pęcznienia przestrzeni” między nami i czołem fali. Jeśli Wszechświat rozszerza się odpowiednio szybko, a źródło światła jest odpowiednio daleko, to czoło skierowane do nas może nawet oddalać się od nas (czyli mieć ujemną prędkość „zbliżania się”). Stąd właśnie biorą się horyzonty kosmologiczne istniejące w niektórych modelach, oddzielające od nas obszary Wszechświata, z których światło nigdy do nas nie dotrze.

<sup>9</sup> Takimi sprawami zajmowano się wtedy podczas posiedzeń akademii nauk. A dziś?



pada 1915 r. [44]. Ta zabawa z datami nie powinna jednak nikogo zmylić. Wynik Hilberta był identyczny z wynikiem Einsteina, ale tylko w próżni – Hilbert nie zajmował się równaniami dla innych przypadków. Równania Einsteina obejmowały też pola grawitacyjne wewnątrz materii i w obecności pola elektromagnetycznego (zgodnie z tym, że każda energia ma swoją równoważną masę, a masy generują pola grawitacyjne – pole elektromagnetyczne też oddziałuje grawitacyjnie). Einstein pracował nad swoją teorią co najmniej od 1907 r. i wszyscy zainteresowani mogli śledzić jego postępy. Hilbert dołączył na finiszu, w roku 1913. Nie ma wątpliwości co do tego, że duchowym ojcem całego przedsięwzięcia i właściwym twórcą idei ogólnej teorii względności był Einstein, Hilbert zaś w tym przypadku był tylko niebezpiecznie inteligentnym uczniem (nie mówimy tu o innych, bardzo licznych sukcesach matematycznych Hilberta, które zapewniły mu nieśmiertelną i zasłużoną sławę niezależnie od jego roli w stworzeniu teorii względności). Sam Hilbert podobnie widział swoją rolę i nigdy nie zgłaszał pretensji do pierwszeństwa; w opublikowanej wersji swojej pracy cytował wyniki Einsteina i obydwaj panowie żyli w najlepszej zgodzie, publicznie wyrażając wzajemny szacunek i podziw [44]. Oryginalne prezentacje prac Einsteina i Hilberta zawierają poz. [45] i [46]; Einstein opublikował potem drugą wersję [36], w której jednak nie wszystkie wyniki pierwszej wersji są powtórzone.

Czytelnicy zauważyli już pewnie, że wykręcam się od napisania równań Einsteina. Robię to dlatego, że samo objaśnienie symboli mogłoby zająć kilka stron druku. Poprzestaniemy więc na ogólnikowym stwierdzeniu, że równania Einsteina są układem 10 równań różniczkowych cząstkowych 2. rzędu na 10 funkcji (współczynników formy metrycznej (5.3) w 4-wymiarowej czasoprzestrzeni) zależnych od 4 zmiennych (czasu i 3 współrzędnych przestrzennych). Wyrażenia różniczkowe zbudowane ze składowych formy metrycznej są przyrównane do zera – gdy szukamy rozwiązań w próżni – i do 10 składowych tensora energii-pędu, którego różne składowe przedstawiają gęstość energii materii (lub innych pól fizycznych, np. pola elektromagnetycznego), gęstość pędu i rozkład ciśnień/naprężeń. W granicy newtonowskiej,  $c \rightarrow \infty$ , jedno z tych równań przechodzi w równanie Poissona, a pozostałe są spełnione tożsamościowo, bo obie strony dążą do zera.

Praca [36] jest jeszcze dziś całkiem dobrym wprowadzeniem do podstaw geometrii Riemanna. Poza układem podstaw geometrii i wprowadzeniem równań

nazywanych dziś równaniami Einsteina zawiera ona też inne ważne wyniki formalne i fizyczne, m.in. stwierdzenie, że ciała poruszające się swobodnie w polu grawitacyjnym powinny poruszać się po liniach geodezyjnych w odpowiedniej przestrzeni Riemanna; dowód, że prawa zachowania energii i pędu są konsekwencją równań pola; uogólnienie równań Maxwella na przypadek krzywej czasoprzestrzeni i ich sformułowanie w języku tensorowym; dowód, że teoria grawitacji Newtona jest zawarta w teorii względności jako pierwsze przybliżenie; dowód, że zegar umieszczony w polu grawitacyjnym będzie się spóźniał względem zegara „w nieskończoności”; poprawny wzór na kąt ugięcia promienia świetlnego w polu grawitacyjnym; wreszcie wzór na „anomalię orbitalną” Merkurego. Ten ostatni wzór jest w pracy tylko zacytowany – wyprowadzenia znajdują się we wcześniejszej wersji [45] i w pracy Karla Schwarzschilda [47], w której autor znalazł pierwsze historycznie i do dziś najważniejsze ściśle rozwiązanie równań Einsteina, odpowiadające sferycznie symetrycznemu polu grawitacyjnemu w próżni.

## 7. Co było potem?

To nie jest koniec historii teorii względności. Wiele ważnych wyników dodali do niej późniejsi badacze. Poprawiono niejasne miejsca i usterki wywodów Einsteina. Dzięki teorii względności naprawiono kilka nieprawidłowych, choć rozpowszechnionych wyobrażeń o świecie i (zwłaszcza) Wszechświecie. Okazało się np., że z teorii względności wynika, iż Wszechświat nie może być statyczny – musi się rozszerzać albo zapadać<sup>10</sup>. Ten wynik wydał się samemu Einsteinowi tak niewiarygodny, że początkowo zmodyfikował on swoje równania przez wprowadzenie stałej kosmologicznej, tak aby dopuszczały statyczny model Wszechświata. Około 10 lat później Hubble odkrył<sup>11</sup>, że Wszechświat naprawdę się rozszerza [49]. Po długiej i burzliwej kontrowersji zostało powszechnie zaakceptowane, że według teorii Einsteina fale grawitacyjne mogą, a prawdopodobnie nawet muszą istnieć – trwają właśnie wielkie i monumentalnie kosztowne przygotowania do ich wykrycia. Podobna była historia czarnych dziur – najpierw wyprowadzono z teorii względności wniosek, że mogą one istnieć, potem astrofizyka dostarczyła argumentów, że właściwie są one niezbędne do wyjaśnienia pewnych zjawisk, i dziś w środowisku astronomicznym przeważa opinia, że wiele czarnych dziur już zaobserwowano. Uzyskano wielką liczbę ścisłych i przybliżonych rozwiązań równań Einsteina i na ich podstawie opisano

<sup>10</sup> Dopiero 20 lat po Einsteinie E.A. Milne i W.H. McCrea pokazali, że taki sam wniosek wynika też z teorii Newtona [48]. Aż do 1928 r. wszyscy wiedzieli, że Wszechświat jest statyczny, więc nikt nie zadał sobie pytania, czy może się rozszerzać. Autorzy stwierdzili z gorzką ironią, że gdyby nie ten dogmatyzm, wyniki kosmologii teoretycznej początku XX w. mogłyby zostać uzyskane przynajmniej o 200 lat wcześniej, ponieważ już wtedy znane były wszystkie metody matematyczne potrzebne do tego rachunku.

<sup>11</sup> Nawiasem mówiąc, Hubble do końca życia nie wierzył, że Wszechświat się rozszerza [50]. Uważał, że przeliczanie przesunięcia widm galaktyk ku czerwieni na prędkości ruchu według wzoru Dopplera jest tylko wygodną metodą rachunkową.

wiele nieznanymi dawniej własności fizycznych i geometrycznych różnych obiektów astronomicznych. Uściślono i uproszczono koncepcyjnie podstawy matematyczne teorii względności – dziś już jest ona wykładana w inny sposób, niż przez samego Einsteina. Pewne problemy tylko intuicyjnie rozumiane w czasach Einsteina uzyskiwały operacyjne rozwiązania. Na przykład, wszystkie formy metryczne otrzymane z formy wyjściowej przez transformacje współrzędnych są równoważne w sensie geometrycznym. Przypuśćmy, że dwaj autorzy z różnych rozważań wyprowadzili dwie różne formy metryczne. Jak stwierdzić, czy są one istotnie różne, czy też każda z nich może być otrzymana z drugiej przez transformację współrzędnych? W czasach Einsteina żadna niezawodna metoda szukania odpowiedzi na to pytanie nie była znana. Dziś pytanie to daje się rozstrzygnąć w wielu, choć nie we wszystkich przypadkach. Teoria względności weszła nawet do techniki, i to wojskowej – jak można dowiedzieć się np. z artykułów Neila Ashby'ego [51,52]; gdyby pominąć poprawki relatywistyczne, system nawigacyjny GPS nie mógłby działać. Zaniedbanie wpływu pola grawitacyjnego na upływ czasu spowodowałoby już po 24 godzinach błąd w określeniu położenia wynoszący 18 km.

Wielu autorów próbowało teorię względności zastąpić inną albo uogólnić. Obecna sytuacja jest taka, że dopuszczalne (przez wyniki doświadczeń i obserwacji astronomicznych) uogólnienia różnią się w swoich przewidywaniach od teorii względności tak mało, że nie „opłaca się” ich stosować (podobnie, jak „nie opłaca się” stosować teorii względności w inżynierii). Teorie, które były alternatywne dla teorii względności, zostały przez doświadczenie wyeliminowane. Ale – musimy przypomnieć ostrzeżenie ze wstępu do niniejszego artykułu – teoria względności jest też tymczasowa i kiedyś trzeba będzie zastąpić ją teorią dokładniejszą.

## Literatura

- [1] P. Schneider, J. Ehlers, E.E. Falco, *Gravitational lenses* (Springer, Berlin 1992), s. 1.
- [2] J. Michell, *Trans. Roy. Soc. London* **74**, 35 (1784); przedruk w: *Black holes: selected reprints*, red. S. Detweiler (Am. Assoc. of Physics Teachers, Stony Brook, N.Y. 1982), przytoczone za pracą [1].
- [3] C.M. Will, *Am. J. Phys.* **56**, 413 (1988), przytoczone za pracą [1].
- [4] P.S. Laplace, *Exposition du système du monde* (1795), przytoczone za pracą [1].
- [5] J. Soldner, *Berliner Astronomisches Jahrbuch 1804*, s. 161, przytoczone za pracą [1].
- [6] C.M. Will, *Theory and experiment in gravitational physics* (Cambridge University Press, 1981).
- [7] K. Lang, *Astrophysical formulae* (Springer, Berlin 1974), s. 579.
- [8] U.J. Le Verrier, *Ann. de l'Obs. de Paris* **5**, 104 (1859), przytoczone za pracą [9].
- [9] R.H. Dicke, *The theoretical significance of experimental relativity* (Gordon and Breach, New York 1964).
- [10] S. Newcomb, *The elements of the four inner planets* (Government Printing Office, Washington, D.C. 1895), przytoczone za pracą [9].
- [11] S. Newcomb, *Suppl. Amer. Ephemer. and Nautical Almanac 1895*, przytoczone za pracą [9].
- [12] R.H. Dicke, „The rotation of the Sun”, w: *Stellar rotation*, red. A. Slettebak (D. Reidel, Dordrecht 1970).
- [13] J.C. Maxwell, *Phil. Mag.* **21**, 161, 281, 338 (1861).
- [14] J.C. Maxwell, *Phil. Mag.* **22**, 12, 85 (1862).
- [15] J.C. Maxwell, *Phil. Trans. Roy. Soc.* **155**, 459 (1865).
- [16] J.C. Maxwell, *Phil. Trans. Roy. Soc.* **158**, 643 (1868).
- [17] J.C. Maxwell, *Treatise on electricity and magnetism* (1873).
- [18] E.T. Whittaker, *History of the theories of aether and electricity* (Thomas Nelson and Sons Ltd, London 1951).
- [19] B. Jaffe, *Albert Michelson*, tłum. Z. Zinserling (Wiedza Powszechna, Warszawa 1964).
- [20] A.A. Michelson, *Am. J. Sci.* **22**, 120 (1881), przytoczone za pracą [22].
- [21] H.A. Lorentz, *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern* (Leiden 1895), sec. 89–92, przytoczone za pracą [22].
- [22] H.A. Lorentz, w pracy [23], s. 3–8.
- [23] A. Einstein, H.A. Lorentz, H. Weyl, H. Minkowski, *The principle of relativity. A collection of original papers on the special and general theory of relativity* (Dover Publications, 1923).
- [24] A.A. Michelson, E.W. Morley, *Am. J. Sci.* **34**, 333 (1887), przytoczone za pracą [22].
- [25] *Nobel Lectures – Physics 1901–1921* (Elsevier Publ. Co., Amsterdam, London, New York 1967), s. 157; <http://almaz.com/nobel/physics/1907a.html>.
- [26] H.A. Lorentz, *Zittingsverlagen der Akad. van Wetenschappen Amsterdam* (1892–93), s. 74, przytoczone za pracą [22].
- [27] O.J. Lodge, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, **184A** (1893), przytoczone za pracą [22]. Lorentz pisze, że znalazł tylko ten jeden opublikowany tekst, chociaż Fitzgerald przedstawiał tę hipotezę od dłuższego czasu w swoich wykładach.
- [28] H.A. Lorentz, *Proc. Acad. Sci. Amsterdam* **6** (1904), przytoczone za pracą [29].
- [29] H.A. Lorentz, przedruk pracy [28] w pracy [23], s. 9–34.
- [30] A. Einstein, *Ann. Physik* **17**, 891 (1905), przytoczone za pracą [31].
- [31] A. Einstein, przedruk pracy [30] w pracy [23], s. 37–65.
- [32] A. Einstein, *Ann. Physik* **17** (1905), przytoczone za pracą [33].
- [33] A. Einstein, przedruk pracy [32] w pracy [23], s. 69–71.
- [34] H. Minkowski, zapis przemówienia wygłoszonego podczas 80. Spotkania Niemieckich Przyrodników i Lekarzy w Kolonii, 21 września 1908 r., przytoczone za pracą [35].
- [35] H. Minkowski, przedruk pracy [34] w pracy [23], s. 73–91; patrz też komentarze A. Sommerfelda, tamże, s. 92–96.
- [36] A. Einstein, *Ann. Physik* **49**, 769 (1916), przedruk w pracy [23], s. 109–64, przytoczone za pracą [43].
- [37] [www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Riemann.html](http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Riemann.html).
- [38] A. Einstein, *Jahrb. f. Radioakt. und Elektronik* **4** (1907), przytoczone za pracą [23], s. 99.
- [39] A. Einstein, *Ann. Physik* **35** (1911), przytoczone za pracą [23], przedruk tamże s. 97–108.
- [40] R.V. Pound, G.A. Rebka, *Phys. Rev. Lett.* **4**, 337 (1960).
- [41] R.V. Pound, J.L. Snider, *Phys. Rev. Lett.* **13**, 539 (1964).

- [42] R.V. Pound, J.L. Snider, *Phys. Rev. B* **140**, 788 (1965).
- [43] J. Mehra, *Einstein, Hilbert and the theory of gravitation* (D. Reidel, Dordrecht 1974).
- [44] Praca [43], s. 25.
- [45] A. Einstein, *Sitzber. Preuss. Akad. Wiss.* (1915), s. 844, przytoczone za pracą [43].
- [46] D. Hilbert, *Nachr. Königl. Gesell. f. Wiss. Göttingen* (1915), s. 395, przytoczone za pracą [43].
- [47] K. Schwarzschild, *Sitzber. Preuss. Akad. Wiss.* (1915), s. 189, przytoczone za pracą [23], s. 164.
- [48] E.A. Milne, *Quart. J. Math. Oxford* **5**, 64 (1934); W.H. McCrea, E.A. Milne, *Quart. J. Math. Oxford* **5**, 73 (1934); przedruk w *Gen. Rel. Grav.* **32**, 1939, 1949 (2000).
- [49] E.P. Hubble, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **15**, 169 (1929).
- [50] A. Krasieński, G.F.R. Ellis, *Gen. Rel. Grav.* **31**, 1985 (1999).
- [51] N. Ashby, w: *Gravitation and Relativity at the turn of the Millenium. Proceedings of the 15th International Conference on General Relativity and Gravitation*, red. N. Dadhich, J.V. Narlikar (Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics, Pune, India 1998), s. 231–58 (ISBN 81-900378-3-8).
- [52] N. Ashby, *Mercury* **25**, zes. 3, 23 (1996).



Prof. MANFRED R. SCHROEDER (ur. 1926 r.), autor artykułu na następnych stronach, ukończył studia matematyki i fizyki na Uniwersytecie w Getyndze. W 1954 r. rozpoczął pracę w AT&T Bell Laboratories w Murray Hill (New Jersey, USA), gdzie też w latach 1958–69 kierował badaniami nad kompresją, syntezą i rozpoznawaniem mowy. W 1969 r. otrzymał stanowisko profesora fizyki na Uniwersytecie w Getyndze i odtąd, aż do emerytury w 1991 r., dzielił swój czas pracy między Niemcy i Stany Zjednoczone.

Prof. Schroeder jest jednym z najwybitniejszych współczesnych akustyków, m.in. wynalazcą metod kompresji sygnałów LPC (1967) i CELP (1972) opisanych w artykule, posiadaczem 45 amerykańskich patentów, twórcą metod badania i poprawiania akustyki sal koncertowych (patrz *PF* **51**, 250 (2000)), laureatem prestiżowych nagród. Oprócz książki o komputerowej mowie napisał jeszcze dwa inne bestsellery: *Number Theory in Science and Communication* oraz *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise*. Był współzałożycielem IRCAM (patrz artykuł) w paryskim Centre Pompidou, jest członkiem renomowanych amerykańskich towarzystw naukowych: American Academy of Arts and Sciences, New York Academy of Sciences, National Academy, oraz Getyńskiej Akademii Nauk, szacownej niemieckiej instytucji kulturalno-naukowej, forum często organizowanych sesji, podczas których przyrodnicy, matematycy, filozofowie, historycy, filologowie, prawnicy i teolodzy wygłaszają wykłady stwarzające okazję wyjścia poza własną dyscyplinę nauki (patrz np. *PF* **53**, 137 (2002)).

Jednym z licznych zainteresowań prof. Schroedera jest grafika komputerowa, zwłaszcza obrazy, których percepcja zależy od odległości lub kąta widzenia. W 1969 r. za dzieło „One Picture is Worth a Thousand Words” zdobył I nagrodę na International Computer Art Salon w Las Vegas. Grafika na okładce tego zeszytu powstała w wyniku rozwiązania równania eikonalnego optyki geometrycznej na płaszczyźnie, w której współczynnik załamania jest proporcjonalny do gęstości optycznej odtwarzanego zdjęcia (pokazującego Wolfganga Möllera, studenta i współtwórcę obrazu). Linie przedstawiają kolejne czoła fali wychodzącej z pewnego punktu w środku obrazu.



# Automatyczne rozpoznawanie i synteza mowy\*

Manfred Schroeder

*Drittes Physikalisches Institut, Georg-August-Universität Göttingen, Niemcy*

---

## Automatic recognition and synthesis of speech

---

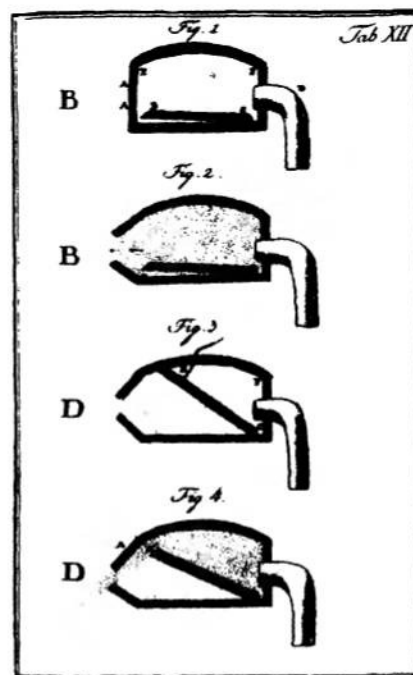
### Wstęp

Człowiek od dawna interesuje się maszynowymi imitacjami swych naturalnych umiejętności. Dotyczy to w pierwszym rzędzie wszystkich protez, które ułatwiają życie osobom niepełnosprawnym. Można tu wymienić np. elektroniczne implanty ucha środkowego, które umożliwiają głuchoniemym odbiór wrażeń podobnych do słyszenia. W ostatnich dziesięcioleciach oprócz imitacji mechanicznych pojawiły się także rozwiązania natury matematyczno-algorytmicznej. Chodzi tu zwłaszcza o sztuczne sieci neuronowe, które – choć daleko im jeszcze do możliwości naturalnych („mokrych”) neuronów w mózgu – potrafią już konkurować z ludzkim mózgiem w zakresie pewnych zdolności poznawczych. Przykładem jest w pełni zautomatyzowana identyfikacja odcisków palców, znacznie ułatwiająca pracę policji kryminalnej.

### Wolfgang Ritter von Kempelen

Próby stworzenia układów zastępczych dla ludzkich organów od dawna dotyczą najczęściej – prócz wzroku – narządów mowy i słuchu. Najdawniejsze znane próby lepszego zrozumienia fizyki mowy są związane z osobą radcy dworu Wolfganga Ritтера von Kempelena. Na rysunku 1 pokazano jego opublikowany w 1791 r. mechaniczny model ludzkiej wymowy dwóch spółgłosek dźwięcznych: /b/ (u góry) oraz /d/ (u dołu). Spółgłoski te są artykułowane w wyniku szybkiego wyrównania się ciśnienia na wargach lub końcu języka. Zaciśnięte wargi otwierają się gwałtownie przy dostatecznym nadciśnieniu wytwarzanym przez płuca i w ten sposób wytwarzają takie spółgłoski wargowe, jak /b/. Funkcję języka symuluje u von Kempelena drewniana płytka na zawiasie. Za jej pomocą można dobrze imitować zębowe spółgłoski dźwięczne, jak /d/.

Goethe, posłuchawszy kolejnej wersji tego przyrządu, stwierdził, że „wprawdzie mówiąca maszyna Kempelena nie jest zbyt elokwentna, ale wydaje całkiem zgrabnie różne dziecięce słowa i tony”. Także Georg Christoph Lichtenberg, członek Akademii Getyńskiej, słyszał jakąś kopię. Mówiła ona jednak niestety tylko „papa”, „mama” oraz „Roma”, w związku z czym „nadawała się jedynie dla chorego papieża”.



Rys. 1. Maszynka von Kempelena.

Von Kempelen wpadł był już wcześniej na nie-mądry pomysł lansowania „automatów” szachowych, w których ukrył liliputa potrafiącego grać w szachy.

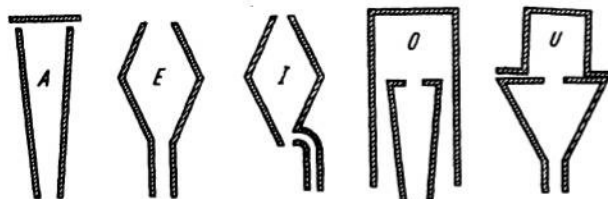
---

\*Artykuł oparty na tekście wykładu wygłoszonego dla Akademii Getyńskiej w połowie 2002 r. oraz książce prof. Schroedera *Computer Speech: Recognition, Compression, Synthesis* (Springer, Heidelberg, New York 1999) [Translated with permission].

Te nieuczciwe sztuczki naturalnie wpłynęły niekorzystnie na wiarygodność wynalazcy, tak że jego późniejsze autentyczne próby skonstruowania mówiących maszyn spotkały się ze sceptycyzmem. (Wargowe spółgłoski dźwięczne od pocałunku dzieli już tylko niewielki krok. No i rzeczywiście von Kempelen opracował wkrótce „mechaniczną teorię pocałunku”, do której Lichtenberg napisał uszczypliwy komentarz).

### Christian Gottlieb Kratzenstein

W roku 1779 Petersburska Akademia Nauk ogłosiła, że przyzna swą coroczną nagrodę temu, kto wyjaśni fizjologiczne różnice między pięcioma długimi samogłoskami (/a/, /e/, /i/, /o/, /u/) oraz poda sposób ich sztucznego naśladowania. Tę nagrodę carskiej Akademii otrzymał Christian Gottlieb Kratzenstein, niemiecki fizjolog z Wernigerode. Na rysunku 2 pokazano jego rezonatory dla pięciu niemieckich samogłosek. Energię akustyczną czerpały owe urządzenia z drgającego języczka, podobnie jak w klarncie. Lichtenberg słyszał także tę maszynę, lecz stwierdził: „wydaje ona tylko 5 samogłosek, a brzmienie ma bardzo nieprzyjemne”. Mimo krytycznego zdania Lichtenberga, aparat Kratzensteina słusznie uchodzi dziś jednak za ważne ogniwo w rozwoju naszego zrozumienia fizyki powstawania mowy.

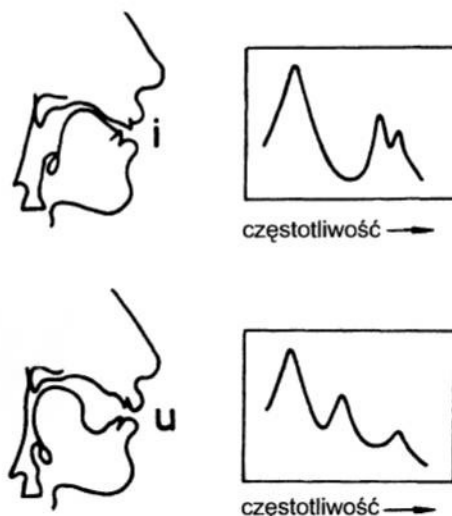


Rys. 2. Rezonatory Kratzensteina.

### Helmholtz i Rayleigh

Współczesne ujęcie związku akustycznych rezonansów z geometrią obszaru ust oraz gardła (tzn. wzajemnym ustawieniem języka i podniebienia miękkiego, jak też sposobem rozwarcia ust) pochodzi jeszcze z teorii rezonansów stworzonej przez Hermanna von Helmholtza i lorda Rayleigha. Na rysunku 3 pokazano podłużne przekroje gardła przy wymawianiu samogłosek /i/ oraz /u/ wraz z odpowiadającymi im widmami akustycznymi, ukazującymi rezonanse. To właśnie one, dzięki swym charakterystycznym zabarwieniom brzmienia, umożliwiają uchu fonetyczne rozróżnianie poszczególnych głosek. Jest to więc pierwszy krok człowieka na drodze do percepcji mowy.

Fizyka uczy jednak, że związek między geometrią i rezonansami nie jest jednoznaczny. Tę samą głoskę można w przybliżeniu oddać różnymi położeniami narządów artykulacji mowy; okoliczność tę już od dawna w pełni wykorzystują wytrawni brzuchomówcy.



Rys. 3. Geometria gardła przy wymawianiu samogłosek /i/ oraz /u/ wraz z ich widmami akustycznymi.

### Homer Dudley

U podstaw współczesnego rozwoju akustyki mowy leży wynalazek Amerykanina Homera Dudleya, po raz pierwszy przedstawiony szerokiej publiczności na nowojorskiej Wystawie Światowej w 1939 r. Wynalazek ten umożliwia ręczne wytwarzanie sztucznej mowy dzięki odpowiedniemu posługiwaniu się swoistą klawiaturą. Takiego właśnie urządzenia używa sławny brytyjski fizyk Stephen Hawking, cierpiący na stwardnienie zanikowe boczne (ALS, od ang. amyotrophic lateral sclerosis), aby akustycznie komunikować się z otoczeniem.

Udoskonalenie tego wynalazku zwane *vocoderem* (zbitka z angielskich słów *voice*, głos, i *coder*, koder) umożliwia tak efektywne upakowanie ludzkiej mowy w całym zakresie wymaganych częstotliwości, że w zasadzie możliwe staje się jej przekazywanie za pomocą wąskopasmowego transatlantyckiego kabla telegraficznego. (Przy okazji przypomnijmy, że pierwszy podwodny kabel dla potrzeb telegrafii położono już w 1866 r., lecz kabel transoceaniczny służący do przekazywania rozmów został oddany do użytku dopiero w roku 1956. Natomiast globalne przekazywanie dźwięku i obrazu za pomocą aktywnych satelitów komunikacyjnych zademonstrowano dopiero w 1963 r.). Wynalazek Dudleya opierał się na spostrzeżeniu, że ludzkie narządy artykulacyjne nawet przy szybkim mówieniu wykonują drgania o częstotliwościach stosunkowo małych w porównaniu z częstotliwościami akustycznych „fal mowy” (zależności ciśnienia akustycznego od czasu w pobliżu ust podczas mówienia).

Pierwsze poważne zastosowanie *vocodera* znalazł w roku 1942 podczas tajnego połączenia telefonicznego między sztabem Churchilla (War Room) w Londynie i gabinetem Roosevelta w waszyngtońskim Białym

Domu. Na początku II wojny światowej naukowcom z Bell Laboratories (m.in. Ralphowi LaRue Millerowi) udało się w taki sposób rozłożyć fale mowy na elementy zawierające informacje, że możliwe stało się kodowanie z zaledwie jedną czterdziestą (1500 bitów na sekundę) wymaganej przedtem szybkości przekazywania. Otworzyło to drogę do absolutnie bezpiecznego szyfrowania cyfrowego. Jest to znaczne osiągnięcie również dziś, w epoce gwałtownej digitalizacji, a owo przedsięwzięcie było chyba w ogóle pierwszą cyfrową obróbką sygnału – na 50 lat przed jej rozpowszechnieniem się w całym świecie.

## Przybliżenie liniowe

Współcześnie cyfrowa analiza mowy jest zdominowana przez dalsze rozwinięcie tej metody syntezy, zwane przybliżeniem liniowym. Wartości chwilowe parametrów fali mowy są przewidywane za pomocą liniowej ekstrapolacji (LPC, ang. linear predictive coding) na podstawie wartości w chwilach poprzedzających, a przekazywane są tylko odchylenia od przewidywań. Gdy dziś w krążowniku szos czy na jachcie mówi do nas automatyczny serwis wiadomości, przenośny aparat telefoniczny (komórka) lub system nawigacyjny sterowany z satelity, to niemal zawsze są to syntetyczne fale mowy, wytworzone metodami przybliżenia liniowego. I niezależnie od tego, czy przeprowadzana jest przy tym analiza oraz ponowna synteza danej fali mowy, czy nie, sztuczna mowa jest często nieodróżnialna od oryginalnej. Takie osiągnięcie jest najczęściej wynikiem uwzględnienia podczas kodowania subtelnych właściwości ucha ludzkiego. Owo „akustycznie wierne kodowanie” znajduje obecnie bardzo szerokie zastosowanie jako metoda CELP (ang. code-excited linear prediction). Ze względu na ograniczoną szerokość pasma, jaką dysponuje dziś telekomunikacja bezprzewodowa, tak wszechstronny rozwój urządzeń przenośnych nie byłby możliwy bez wydajnego kodowania.

Rozszerzenie wiernego akustycznie kodowania na muzykę, zwane MP3, dominuje dziś w dziedzinie cyfrowego przekazywania programów radiowych w Internecie. Mimo silnej kompresji strumienia informacji muzycznej osiąga się zadziwiająco wysoką jakość akustyczną przekazu.

## Synteza mowy

W pełni automatyczna synteza mowy na podstawie tekstu pisanego jest jednak wciąż jeszcze obciążona mniej lub bardziej dokuczliwym „elektronicznym akcentem”. Skonstruowanie czytnika dla niewidomych, zamieniającego drukowane teksty w zrozumiałą mowę, było zresztą jedną z pierwotnych motywacji rozwoju maszynowej syntezy mowy. Okazało się to jednak zadaniem nie tak prostym, jak sobie wyobrażano. Choć już od dawna nie stanowi problemu optyczne przetwarzanie wydrukowanych stron w ciąg liter, to jednak

przejście od elementów pisma (grafemów) do elementów mowy (fonemów) i ich prawidłowe ułożenie w łańcuch naturalnej mowy jest rzeczą trudną. Największy problem jest z następującymi po sobie głoskami, gdyż dla ich zamian często nie można podać żadnych prostych reguł. To samo dotyczy nacisku wyrazowego, ilości czasu oraz intonacji, które zależą m.in. od znaczenia wypowiedzianych zdań.

Aby przynajmniej trochę zmniejszyć te trudności, preferuje się obecnie syntetyzowanie mowy przez czasową sekwencję wcześniej zapamiętanych sylab lub nawet całych słów, w których wewnętrzne przejścia między głoskami są już podane prawidłowo. Synteza na podstawie całych słów wymaga jednak dużego „słownika”. Mimo to taka forma syntetycznej mowy jest dziś bardzo rozpowszechniona, przede wszystkim w automatycznych serwisach informacyjnych i zapowiadających, wykorzystujących ograniczone słownictwo (zegary, pogodynki, rozkłady jazdy, instrukcje obsługi).

## Próby przekroczenia granic płci

Rozłożenie mowy na składniki (częstotliwości drgań strun głosowych, rezonanse przestrzeni krtani) umożliwia różnorodne formy celowych jej zmian. Tak więc można np. przekształcić głos mężczyzny w głos „kobiety”. Mimo usilnych starań i uwzględniania tak specyficznych dla płci różnic, jak wysokość tonów i różna budowa policzków, w przekształconym głosie pozostaje jednak wciąż odcień męski.

Niedawno udało się za to fuzyja głosu męskiego z głosem kobiety: głos kastrata (i pupilka Händla) Farinello w filmie Gérarda Corbiau *Farinelli – ostatni kastrat* wytworzono przez połączenie kontratenora (Derek Lee Ragin) i sopranu (Ewa Małas-Godlewska) na styku rejestrów obojga artystów. Ta pionierska synteza została przeprowadzona przez Philippe'a Depalle'a, Guillermo Garcíę i Xaviera Rodeta z IRCAM (Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique) w Paryżu. Wypełnili oni tym samym „lukę w przyrodzie”, która zresztą była bardzo odczuwana już w XVIII w. (Casanova, *Histoire de ma Vie* 2, I-II).

## Symulacje cyfrowe

Wiele z prób syntezy mowy zrealizowano nie przez budowę urządzeń, lecz jej cyfrową symulację w komputerze. Falę akustyczną odpowiadającą wypowiedzi głosowej zapisywano początkowo (przed 1960 r.) na dziurkowanych kartach. Zapis krótkiego zdania wypełniał wtedy bagażnik średniej wielkości auta, którym jechało się do „wielkiej maszyny cyfrowej” w Nowym Jorku.

Obecnie symulacja komputerowa umożliwia bardzo złożone badania, które można już prowadzić nie wychodząc z własnego pokoju. Przy tego rodzaju symulacji fala mowy jest najpierw przekształcana w drgania elektryczne, które następnie są zamieniane w przetworniku analogowo-cyfrowym w ciąg cyfr (ok.



60 tys. zer i jedynek na sekundę) zrozumiałych dla komputera. Ponieważ każdy proces fizyczny można przedstawić (albo przynajmniej przybliżyć) za pomocą równań matematycznych, odpowiedni program komputerowy może matematycznie zanalizować napływające dane. Następnie komputerowe zera oraz jedynki zostają ponownie zamienione w elektryczne drgania i za pomocą głośnika przekształcone w słyszalną mowę.

Dzięki rozkładowi widmowemu i ponownej syntezie fal mowy udaje się np. zmieniać szybkość mówienia bez wpływania na jakość jego odtwarzania. Zwiększoną w ten sposób szybkość wykorzystuje się w programie udostępniania książek American Foundation for the Blind (Amerykańskiej Fundacji na rzecz Niewidomych), aby przystosować szybkość „czytania” przez niewidomych słuchaczy do zwykłych prędkości lektury czytelników widzących. Od dłuższego czasu wykorzystuje się też elektronicznie spowolnioną mowę w badaniach klinicznych afazji, zwłaszcza przy zaburzeniach rozumienia mowy.

### Dalsze zastosowania

Można także rekonstruować niezrozumiałą mowę nurków głębinowych, oddychających mieszką helowo-tlenową. W tego rodzaju mieszaninie gazów, w której azot, szkodliwy pod wysokim ciśnieniem, jest zastąpiony przez niezwykle lekki i obojętny dla zdrowia hel, częstotliwości rezonansowe jamy ustnej są przesunięte w stronę nienaturalnie wysokich tonów. Prowadzi to do komicznej, zniekształconej mowy nurków.

Szczególnie ciekawym przedsięwzięciem jest tzw. dekapitacja cyfrowa. W tym bezkrwawym „eksperymentie gilotynowym” głowy dwojga ludzi wraz z ich kanałami głosowymi zamieniono w komputerze miejscami, nie zamieniając jednak ich strun głosowych. Postawione pytanie brzmiało: co jest bardziej charakterystyczne dla mówcy – czy jego sposób mówienia i melodia zdania, czy rezonanse jamy ustnej? Odpowiedź, która zaskoczyła także niektórych ekspertów, brzmiała: jama ustna lepiej charakteryzuje mówiącą osobę niż jej sposób wymowy. Wynik ten jest tym bardziej zdumiewający, że intonacja, a ogólniej prozodia, ma znaczny udział w specyfice głosu. Po bliższym przysłuchaniu okazuje się na przykład, że grupa ludzi, którzy na hałaśliwym rogu ulicy zdają się rozmawiać po włosku, mówi po angielsku, choć z silnym akcentem włoskim. Akcent głosu jest bardzo odporny na zewnętrzne zakłócenia, np. odgłosy ruchu ulicznego; możemy nie rozumieć ani słowa, ale słyszymy akcent.

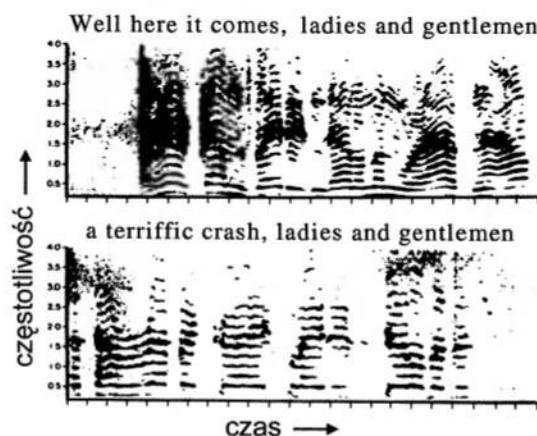
Akcenty zmieniają się nie tylko od regionu do regionu, czy nawet niekiedy od dzielnicy miasta do dzielnicy – ulegają także zmianom z upływem czasu. Dotyczy to nie tylko całych obszarów geograficznych, lecz również poszczególnych osób. Na przykład królowa Elżbieta II w orędziach bożonarodzeniowych wygłaszanych od 1953 r. stopniowo oddalała się w swych

formantach (rezonansach) od „Queen’s English”, zbliżając się do formantów bardziej potocznej „Standard Southern-British” (J. Harrington, S. Palethorpe, C.I. Watson, „Does the Queen speak Queen’s English?”, *Nature* 408, 927 (21/28 December 2000)).

Dodajmy, że już Lichtenberg zwrócił uwagę na zmienność czasową dialektów, a w każdym razie pytał, zapewne żartobliwie: „Jaką niemczyzną będzie się mówić w Saksonii w roku 2000?”

### Rozpoznawanie mowy

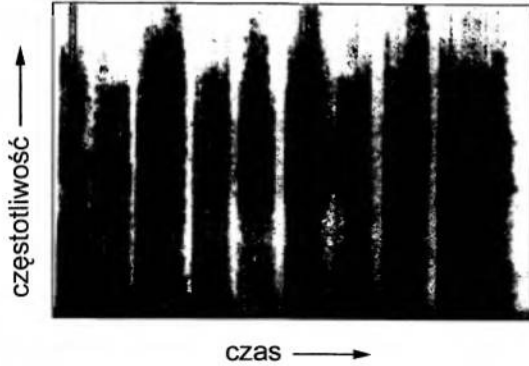
Nie możemy nie wspomnieć także o próbach charakteryzowania i identyfikacji osoby mówiącej na podstawie akustycznej analizy widmowej. Na rysunku 4 pokazano tzw. sonogram wypowiedzi „Well here it comes, ladies and gentlemen”. Oś czasu biegnie od lewej do prawej strony. Od dołu do góry naniesione są różne częstotliwości głosu do 4000 Hz, a więc z zakresu widmowego ważnego dla zrozumienia mowy. Większe zaczerwienie oznacza większą energię akustyczną. Oprócz zaczerwień, odpowiadających rezonansom jamy ustnej, można rozróżnić strukturę w postaci linii, które oddają wyższe harmoniczne zawarte w fali mowy, nadające zdaniu melodię. Jest to sonogram głosu spikera radiowego, relacjonującego 6 maja 1937 r. przylot sterowca „Hindenburg” do Lakehurst w stanie New Jersey. Parę sekund później statek powietrzny staje w płomieniach; w dolnej części rys. 4 pokazano sonogram zupełnie zmienionego głosu tego samego spikera.



Rys. 4. Sonogram głosu spikera radiowego, relacjonującego 6 maja 1937 r. przylot sterowca „Hindenburg” do Lakehurst w stanie New Jersey.

Oprócz samych wartości częstotliwości dla percepcji mowy szczególnie ważne są ich zmiany w czasie, czyli dynamika procesu mowy. Takie „odciski głosu” (ang. voice-prints), jak wkrótce nazwano owe sonogramy (rys. 5) przez analogię z odciskami palców (ang. finger prints), stanowiły wielką pomoc przy wyjaśnianiu różnych technicznych katastrof. Na przykład po zderzeniu dwóch wielkich samolotów pasażerskich nad Wielkim Kanionem Kolorado w roku 1956 można było

dokładnie odtworzyć, który z członków załogi jednego z nich jako pierwszy zauważył drugi samolot, a tym samym, z którego kierunku ów samolot nadleciał (był to drugi pilot, który siedział patrząc w bok). Dzięki temu rekonstrukcja przebiegu wypadku była znacznie łatwiejsza.



Rys. 5. Typowy „odcisk głosu” (voice-print) krótkiej wypowiedzi.

Również przy wyjaśnianiu przyczyn pożaru, w którym zginęło trzech astronautów amerykańskiego statku Apollo 1, „odciski głosu” odegrały dużą rolę, pomagając ustalić, który głos jako pierwszy krzyczał „Fire, fire, we are burning up!” Poprzez identyfikację tego głosu możliwe było jednoznaczne ustalenie źródła ognia, a tym samym przyczyny pożaru. Analiza nagrań była jednak trudna, bo krzyżący głos – ze względu na strach przed śmiercią – był w najwyższym stopniu zmieniony.

Metodę odcisków głosu rozwinęli początkowo Amerykanie w okresie II wojny światowej, aby identyfikować głosy rozmówców podczas bezprzewodowych połączeń między sztabami niemieckich dywizji znajdujących się w pobliżu linii frontu. Dzięki samemu śledzeniu zmian miejsca pobytu posiadaczy znanych im niemieckich głosów (oraz pojawianiu się nowych głosów) udało się aliantom przewidzieć początek ofensywy w Ardenach („Herbstnebel”) 16 grudnia 1944 r.

Po wojnie nie brakowało prób wykorzystania rozwiniętego wariantu metody odcisków głosu, zwanego po angielsku *visible speech*, do porozumiewania się osób głuchoniemych. Okazało się jednak, że ludzki zmysł wzroku nie potrafi – nawet jeśli mu się dostarczy wszystkie ważne informacje językowe – odczytywać żywej mowy w czasie rzeczywistym.

Przy policyjnych zastosowaniach metody odcisków głosu zalecana jest jak największa ostrożność. Na podstawie odcisków głosu można wprawdzie niekiedy z całą pewnością wykluczyć podejrzanego z grona możliwych sprawców przestępstwa, lecz sądowe przeprowadzenie dowodu winy konkretnego podejrzanego, zwłaszcza jednego spośród większej ich liczby, nie jest zwykle możliwe.

## Automatyczne rozpoznawanie mowy

W tym miejscu pragnę się podzielić kilkoma uwagami na temat automatycznego rozpoznawania mowy. Na wielkie powodzenie całkowicie automatycznych elektronicznych sekretarek przyjdzie nam jeszcze poczekać. Wciąż nie ma niezawodnych algorytmów do wytwarzania użytecznych transkrypcji niewyraźnie artykułowanej mowy, nie wspominając już o ożywionej rozmowie. Rozumienie mowy jest specyficzną zdolnością człowieka, daleko wykraczającą poza analizy widmowe i inne procesy fizyczne. Przy słuchaniu mowy korzystamy nieświadomie z aparatu lingwistycznego, leksykograficznego, syntaktycznego i semantycznego, który znacznie przekracza możliwości dzisiejszych komputerów. Dopiero dzięki znacznemu ograniczeniu zakresu słownikowego i znaczeniowego udaje się – przy dobrej dykcji – wytworzyć ze słowa mówionego użyteczne teksty pisane lub wiarygodne polecenia. Wybranie numeru telefonicznego w małym aparacie komórkowym lub głośnomówiącym w samochodzie za pomocą głosu właściciela to przykład automatycznego rozpoznawania mowy, które może dobrze działać, jeśli liczba możliwych rozmówców nie jest zbyt duża.

## Wordspotting

Większe sukcesy niż automatycznym sekretarkom wróży się „wordspottingowi”. Ten angielski termin oznacza rozpoznawanie określonych słów kluczowych, np. „pszenica” albo „cena”. Dawniej przodowali w tej dziedzinie specjaliści radzieccy, którzy nie tylko potrafili ulokować nowy budynek swojej ambasady w Waszyngtonie w samym środku głównej magistrali łączącej centrale amerykańskich firm telefonicznych, lecz także dzięki bardzo dobrym algorytmom rozpoznawania słów kluczowych umieli wyławiać z nasłuchu niezliczonych rozmów telefonicznych ważne dla siebie słowa, by następnie móc z całym spokojem analizować tylko wybrane rozmowy. Do mało znanych faktów w tej dziedzinie zalicza się sukces radzieckich służb specjalnych polegający na podsłuchu wewnątrzamerykańskich dyskusji nad ustaleniem ceny pszenicy na eksport do ZSRR. Kosztowało to wówczas amerykańskiego podatnika wiele pieniędzy.

Apetyty służb specjalnych na maszynowe rozpoznawanie mowy lub identyfikowanie rozmówców nie znają granic. Jak można przeczytać u Aleksandra Sołżenicyna w *Kręgu pierwszym*, Stalin osobiście bardzo się interesował identyfikacją głosu w telefonach w celu zakrojonego na odpowiednią skalę ścigania „kontrewolucjonistów”. Również Zachód nie pozostawał bezczynny. Przypominam sobie wizytę – dawno temu – wysłanników ściśle tajnego urzędu, którzy mnie pytali, czy rosyjski akcent w głosie osoby mówiącej po angielsku można zidentyfikować na nagranej taśmie tak dokładnie, by na tej podstawie precyzyjnie określić jej pochodzenie geograficzne, np. Samara lub wschodnie

dzielnicie Odessy. Moja ówczesna odpowiedź była przecząca i taka też byłaby dzisiaj. Może się to wydawać zaskakujące, jeśli pomyślimy o znacznych zdolnościach lingwistycznych małych dzieci. Komputer nie jest jednak człowiekiem, ani nawet dzieckiem. Słyszymy dziś wprawdzie dużo o „sztucznej inteligencji”, lecz – poza dziedziną błyskawicznie wykonywanych czystych obliczeń – współczesne komputery pozostają wciąż jeszcze daleko z tyłu za ludzką inteligencją.

Także komputer szachowy, który wygrywa z mistrzem świata, potrafi to zrobić tylko dlatego, że fizycznie oblicza miliardy możliwych ruchów i zna styl gry przeciwnika. Intuicja i przegląd sytuacji na szachownicy, niezbędne graczowi-człowiekowi, są mu (na razie?) obce. Trzeba jeszcze poczekać, by się przekonać, czy superszybkie, pracujące równolegle komputery kwantowe lub komputery biologiczne mogą któregoś dnia zmienić ten stan rzeczy. Naprawdę ciekawych zastosowań identyfikacji głosu szuka się dziś w dziedzinie kontroli dostępu do poufnych danych lekarskich, dyplomatycznych i handlowych.

## Percepcja mowy

Ludzka percepcja mowy jest jednym z najciekawszych tematów współczesnej lingwistyki. Klasyczne badania skupiały się na widmie częstotliwości fal mowy, natomiast później odkryto rolę ich zależności od czasu. Potwierdzają to wykryte przez W. Endresa z Darmstadt zmiany słyszanych samogłosek jedynie wskutek przyspieszenia lub spowolnienia fali mowy. Zdziawiający wpływ zmian czasowych formantów samogłoski na percepcję poprzedzającej ją lub następującej po niej spółgłoski jest znany od dawna. Słyszymy /p/, /t/ lub /k/ nawet wówczas, gdy te spółgłoski zostaną wycięte z fali mowy, czyli gdy już ich w ogóle nie ma w wypowiedzi.

Zaskakujący jest także znany z innych narządów zmysłów efekt ciągłości; nasz mózg sugeruje nam często, że jakaś obecna wcześniej, lecz potem „wyłączona” podnieta zmysłowa wciąż jeszcze trwa, jeśli nie zarejestrował jej wyraźnego końca. Na przykład mowa przerywana na krótko co sekundę jest słyszana jako mowa ciągła, nieprzerwana, jeśli do fali mowy dołączy się wystarczająco silny dźwięk maskujący (szum).

Rysunek 6 ilustruje analogiczną zdolność ludzkiego zmysłu wzroku. Na pierwszym z nich (u góry) widać pozornie bezsensowny zbiór fragmentów figur geometrycznych. Jeśli do tego rysunku dodać wielki „kleks” (u dołu), czyli element maskujący, to od razu staje się jasne, że na rysunku pokazano fragmenty wielkich liter B.

## Perspektywy

Co przyniesie przyszłość? Nie zabraknie nowych, pożytecznych zastosowań elektronicznej obróbki mowy. We współpracy z grupą pod kierunkiem Eberharda Krusego z Zakładu Foniatrii i Audiologii Dzie-

cięcej naszego getyńskiego Uniwersytetu trwają obecnie próby automatycznej klasyfikacji zaburzeń mowy, np. wskutek uszkodzeń strun głosowych, tak by lekarz dostał do ręki dodatkowy aparat diagnostyczny (doktoraty Matthiasa Fröhlicha i Dirka Michaelisa).

Innym tematem badań jest algorytmiczna ekstrakcja treści uczuciowej głosu z fali mowy. Chodzi o ustalenie, do jakiego stopnia maszyna może usłyszeć, czy osoba mówiąca jest szczęśliwa, ufna, zirytowana. Opracowane przez nas metody mogą zainteresować lektorów, aktorów, logopedów i nauczycieli języków. W tych badaniach mojemu współpracownikowi Holgerowi Quastowi dużej pomocy udzielili: Suitbert Ertel, emerytowany profesor Wydziału Psychologii Uniwersytetu Getyńskiego, oraz aktorzy Teatru Niemieckiego.



Rys. 6. Przykład wpływu maskowania na percepcję obrazu.

Możliwe już dziś oczyszczanie trudno zrozumiałej mowy z szumów i szkodliwego pogłosu może się okazać w naszym świecie, dotkniętym plagą hałasu, prawdziwym błogosławieństwem, i to nie tylko dla najstarszych spośród nas.

Na tekst Goethego zwrócił mi uprzejmie uwagę Albrecht Schöne, za co mu dziękuję.

Tłumaczył z języka niemieckiego  
Jerzy Gronkowski  
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW  
Warszawa



# Mieczysław Wolfke: życie i działalność naukowa

Adam Kiejna

*Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Wrocławski*

---

## Mieczysław Wolfke: his life and scientific activities

---

W 120. rocznicę urodzin Mieczysława Wolfkego artykuł przypomina sylwetkę naukową i najważniejsze osiągnięcia, szczególnie w dziedzinie optyki, tego wybitnego polskiego fizyka. Drugą okazją do przypomnienia tej postaci jest obchodzony w minionym roku jubileusz 300-lecia Uniwersytetu Wrocławskiego, uczelni, na której Wolfke uzyskał doktorat w 1910 r.

### 1. Młodość i studia

Mieczysław Władysław Wolfke urodził się 29 maja 1883 r. w Łasku koło Łodzi, w zaborze rosyjskim. Był jedynym dzieckiem Karola Wolfkego i jego żony Lucyny, z domu Kościńskiej. Rodzina Wolfków pochodzi z Prus Książęcych, z okolic Królewca [1]. Na przełomie XVIII i XIX w. pradziad Mieczysława, Bogumił Wolfke, był architektem w Warszawie. Gdy Mieczysław miał 8 lat, jego rodzina przeniosła się do Częstochowy, gdzie ojciec, z wykształcenia inżynier drogowy, został dyrektorem gimnazjum i nauczał swego ulubionego przedmiotu – chemii.

Już w młodym wieku, w szkole średniej, pod wpływem panującego w domu rodzinnym klimatu dużego zainteresowania naukami ścisłymi, zarówno ze strony ojca, jak i matki (podpis jej brata, Gustawa Kościńskiego, fizyka, widnieje na protokole obserwacji pierwszego skroplenia tlenu w 1883 r. obok podpisów Zygmunta Wróblewskiego (1845–88) i Karola Olszewskiego (1846–1915)), Mieczysław Wolfke wykazuje zdecydowane zainteresowanie fizyką i matematyką oraz talent do wynalazków [1,2]. W wieku 15 lat patentuje (w Rosji i w Niemczech) „telektroskop” – urządzenie do przesyłania obrazów na odległość za pomocą fal elektromagnetycznych. Była to poprawnie opracowana zasada telewizji, wykorzystująca modulacje sygnałów świetlnych za pomocą tarczy wirującej z prędkością zsynchronizowaną ze stacją odbiorczą. Podobną koncepcję wykorzystywano w pierwszych stacjach telewizyjnych [4]. Schemat prototypu urządzenia był pokazany na jubileuszowej wystawie Towarzystwa Politechnicznego we Lwowie, gdzie zdobył duży rozgłos i uznanie [1,2].

Po ukończeniu szkoły średniej (gimnazjum realnego w Sosnowcu) w 1902 r. Mieczysław wyjeżdża na studia za granicę, najpierw do Leodium (Liège) w Belgii, gdzie immatrykułuje się i studiuje na wydziale nauk ścisłych tamtejszego uniwersytetu. W tym czasie pracuje także w laboratorium fizycznym u prof. Pierre’a de Heena (1851–1915), ale, zniechęcony słabym wyposażeniem laboratorium, w 1904 r. przenosi się na paryską Sorbonę, na kierunek fizyki i matematyki. Tam ma okazję wysłuchać wykładów znakomitych naukowców francuskich i publikuje swoją pierwszą pracę naukową na temat „elektronu jako ośrodka ciśnienia w eterze” (w życiorysie naukowym dołączonym do rozprawy doktorskiej Wolfke wymienia m.in. wykłady następujących uczonych: matematyków Paula Painlevégo (1863–1933), Paula E. Appela (1855–1930), Edouarda Goursata (1858–1936), fizyków Piotra Curie (1859–1906) – Nagroda Nobla 1903, Paula Langevina (1872–1946), Gabriela Lippmanna (1845–1921) – Nagroda Nobla 1908, Jeana B. Perrina (1870–1942) – Nagroda Nobla 1926, oraz chemika Henriego F. Moissana (1852–1907) – Nagroda Nobla 1906). Jednocześnie przejawia zainteresowanie optyką, czego dowodzi jego odczyt na temat nowej konstrukcji teleskopu z nieruchomym zwierciadłem wklęsłym, wygłoszony na posiedzeniu Francuskiego Towarzystwa Astronomicznego. Posiedzeniu temu przewodniczył słynny astronom Camille Flammarion (1842–1925). W roku 1907 Wolfke nie zdaje licencjatu, w związku z czym opuszcza Paryż, ale z zamiarem kontynuacji studiów. Występuje do Kasy Mianowskiego o stypendium na pogłębienie studiów w dziedzinie fizyki i po jego uzyskaniu przyjeżdża do Wrocławia. Od 1907 r. pracuje w laboratorium prof. Ottona Lummera. W roku następnym postanawia formalnie wstąpić na Uniwersytet Wrocławski i ubiegać się o stopień doktora filozofii w dziedzinie fizyki.

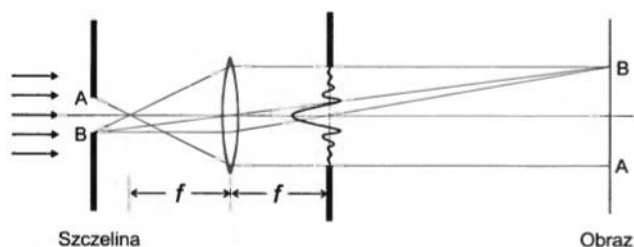
Otto Lummer (1860–1925), który w 1904 r. został powołany na stanowisko profesora zwyczajnego i dyrektora Instytutu Fizyki we Wrocławiu, należał niewątpliwie do grona najwybitniejszych optyków przełomu XIX i XX wieku i w tym czasie był już bar-

dzo znanym fizykiem. Jego sylwetkę naukową naświetlił niedawno Torge [5,6]. Przypomnijmy tu tylko, że pomiary promieniowania ciała czarnego dokonane [7] przez Lummera i Ernsta Pringsheima (1859–1917) bezpośrednio przyczyniły się do odkrycia ostatecznej postaci prawa promieniowania, podanego w grudniu 1900 r. przez Maksa Plancka (1858–1947). Dzięki badaniom rozwiniętym przez Lummera kierowany przez niego instytut stał się wkrótce jednym z czołowych ośrodków optyki fizycznej [6]. Nic więc dziwnego, że szeroko znany wysoki poziom ośrodka wrocławskiego w dziedzinie optyki przyciągnął Wolfkego.

## 2. Okres wrocławski

We Wrocławiu Wolfke początkowo zajmował się (bez pozytywnych wyników) wpływem promieniowania rentgenowskiego na rad. Ale głównym zadaniem, jakie otrzymał nowy doktorant, było wyjaśnienie pewnych aspektów dyfrakcyjnej teorii powstawania obrazu w urządzeniach optycznych. W tym czasie Lummer ze swoim współpracownikiem Fritzem Reichem (szczegółowo biograficzne dotyczące Reicha zawiera artykuł Torgego [6]) postanowił wydać książkę na temat teorii Ernsta Abbego (1840–1905) powstawania obrazu w mikroskopie [6,8]. Wolfke zajął się opracowaniem od strony teoretycznej wpływu różnych czynników na wierność odwzorowywania w mikroskopie optycznym. Odwzorowywanym przedmiotem była siatka dyfrakcyjna, czyli obiekt złożony ze świecących prążków przedzielonych ciemnymi paskami.

Powstawanie w mikroskopie obrazu siatki dyfrakcyjnej oświetlonej spójną wiązką równoległą przebiega (wg Abbego) następująco (dla uproszczenia założmy, że mamy do czynienia z pojedynczą szczeliną, rys. 1).



Rys. 1. Schemat powstawania obrazu pojedynczej szczeliny w mikroskopie [9].

Promienie ugięte na szczelinie (stanowiącej przedmiot) tworzą w tylnej płaszczyźnie ogniskowej obiektywu tzw. pierwotny obraz dyfrakcyjny szczeliny. Rozkład amplitudy w obrazie dyfrakcyjnym jest dany transformatą Fouriera rozkładu amplitudy w płaszczyźnie przedmiotu. Biegające dalej wiązki wychodzące z obrazu pierwotnego (ograniczone przesłoną) interferują ze sobą, dając obserwowany (wtórny), powiększony obraz przedmiotu. Inaczej mówiąc, transformata odwrotna Fouriera rozkładu amplitudy obrazu dyfrakcyj-

nego daje rozkład amplitudy właściwego obrazu przedmiotu. Proces powstawania obrazu przebiega więc dwuetapowo [9]. Ale apertura obiektywu (brzeży soczewki) ogranicza możliwość interferencji wszystkich promieni ugiętych na szczelinie. Wierność obrazu obserwowanego przez okular zależy więc od liczby wiązek ugiętych wchodzących do obiektywu (jego apertury) oraz od liczby pierścieni dyfrakcyjnych objętych przez przesłonę umieszczoną w płaszczyźnie ogniskowej i działającą jak filtr. Wolfke wyprowadził ogólne równania teorii opisujące powstawanie obrazu symetrycznego obiektu i zbadał wpływ apertury obiektywu oraz symetrycznej (i asymetrycznej) przesłony umieszczonej w płaszczyźnie obrazu pośredniego na wierność uzyskiwanego obrazu przedmiotu.



Rys. 2. Mieczysław Wolfke w 1911 r. (ze zbiorów prywatnych prof. Karola Wolfkego).

Równoległe z pracą nad doktoratem Wolfke pracuje także nad szybkimi promieniami katodowymi i wynajduje nowy rodzaj rury katodowej. Wraz ze swym kolegą i przyszłym szwagrem, Karlem Ritzmannem (1885–1947), pracują nad ulepszeniem wynalazionej przez siebie lampy kadmowo-rtęciowej światła białego, którą opatentowali w połowie 1909 r. Światło uzyskiwane ze zwykłej lampy rtęciowej ma niezbyt przyjemną dla oka, ubogą w czerwień barwę ze względu na brak w widmie rtęci linii w czerwonym zakresie widma. Pomysł Wolfkego i Ritzmanna polegał na uzupełnieniu widma rtęci przez widmo innego metalu. Okazało się, że przy jego wyborze – ze względów ekonomicznych (pobór mocy) oraz z uwagi na dążenie do uniknięcia osadów na ściankach – ważna jest nie łatwotopliwość, lecz możliwie niska temperatura parowania użytego metalu. Metal taki nie powinien także wchodzić w reakcje z kwarcem, by nie niszczyć ścian lampy. Okazało się, że odpowiednie warunki spełniał kadm. Około 10-procentowa domieszka rtęci do kadmu

dawała światło o naturalnej barwie i widmie niegorszym od widma wytwarzanego przez elektryczny łuk węglowy.

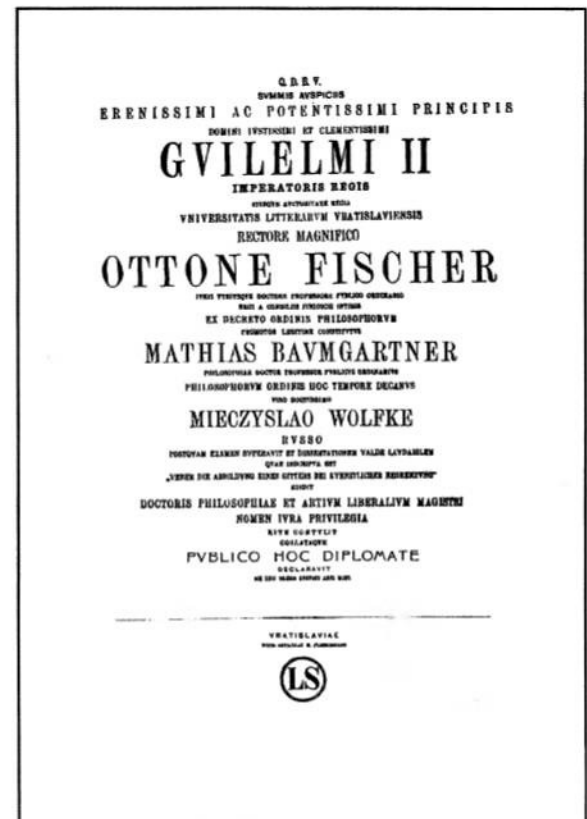
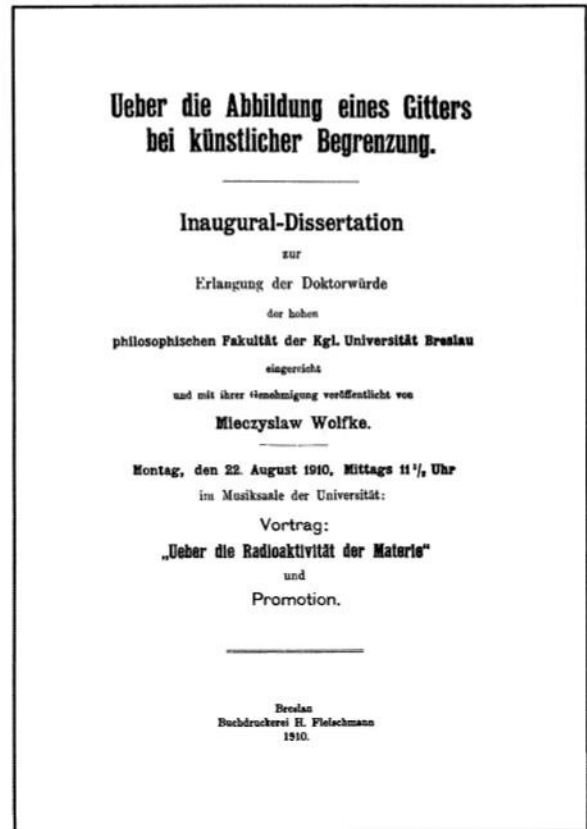
Jeszcze przed promocją doktorską część wyników przygotowywanej przez Wolfkego dysertacji zostaje włączona jako osobny rozdział do książki opracowywanej przez Lummera i Reichego [8]. We wstępie do niej Lummer napisał: „Te obliczenia przeprowadzone z naszej inspiracji przez Pana M. Wolfkego są próbierzem dokładności, z jaką doświadczenie jest opisywane przez teorię Abbego”.

Dnia 20 lipca 1910 r. recenzenci, profesorowie Lummer, Pringsheim i Kneser, wyrazili pozytywną opinię o rozprawie „O odwzorowaniu siatki ze sztuczną przesłoną” i dopuścili kandydata do egzaminu ustnego. Co zabawne, na egzaminie tym Wolfke potknął się na jednym z prostych pytań z fizyki, toteż ocena końcowa z egzaminu była tylko dostateczna. W miesiąc później uzyskuje doktorat z filozofii z odznaczeniem. 22 sierpnia 1910 r., w czasie promocji doktorskiej, która odbyła się w Auli Muzycznej Uniwersytetu Wrocławskiego, Mieczysław Wolfke wygłosił wykład „O radioaktywności materii” (rys. 3). Skrócona wersja rozprawy doktorskiej opublikowana została w *Annalen der Physik* [10].

Po doktoracie Wolfke rozpoczyna starania o pracę. Jednocześnie podejmuje, z różnym skutkiem, próby sfinansowania badań i produkcji lampy Cd-Hg. Odrzuca zaoferowane mu stanowisko asystenta na Uniwersytecie w Neuchâtel (Szwajcaria) i ostatecznie w 1911 r. podejmuje na dziewięć miesięcy pracę w firmie optycznej Carl Zeiss w Jenie, gdzie może zajmować się obydwojma interesującymi go zagadnieniami: lampą kadmowo-rtęciową i powstawaniem obrazu siatki w mikroskopie. Wolfke wykorzystuje zwłaszcza ułatwiony dostęp do drogiego materiału doświadczalnego (siatek dyfrakcyjnych) dla wyjaśnienia pewnych sprzeczności między rozwiniętą przez siebie teorią i doświadczeniem. Przedstawiona w rozprawie doktorskiej teoria Abbego-Wolfkego w przypadku stosowania asymetrycznej przesłony do (pierwotnego) obrazu ugiętego dawała także w tym przypadku symetryczny obraz przedmiotu, co nie zgadzało się z obserwacjami obrazu niesymetrycznego. Badając różne czynniki mogące wpływać na to zjawisko, pisze [11]:

„dopiero po przebadaniu ponad 60 różnych siatek dyfrakcyjnych stwierdzono, że przyczyna asymetrii obrazu tkwi w (pół)przezroczystości warstewek srebra. Ponad wszelką wątpliwość stwierdzono, że te nieliczne siatki dyfrakcyjne, których posrebrzenie było wystarczająco silne, by paski pomiędzy szczelinami nie przepuszczały zauważalnego światła, dawały symetryczne obrazy w pełni zgodne z teorią oraz że asymetria objawiała się tylko w przypadku tych siatek, których posrebrzenie było stosunkowo słabe, tak że pomiędzy szczelinami przepuszczały zauważalne światło”.

Po wyjaśnieniu tych problemów, Wolfke nie jest zainteresowany kontynuacją nastawioną na praktyczne korzyści pracy u Zeissa. Prawa patentowe do lampy Cd-Hg scedował na firmę Carl Zeiss, a wyniki swoich prac nad nią zawarł w publikacji w *Elektrochemische*



Rys. 3. Strona tytułowa rozprawy doktorskiej [10] oraz kopia dyplomu doktorskiego (ze zbiorów Archiwum Uniwersytetu Wrocławskiego).



*Zeitschrift* [12]. Na przełomie lat 1911/12 wraca do Wrocławia, gdzie powstają kolejne dwie prace [13,14] poświęcone wpływowi (pół)przepuszczalności siatki na powstawanie obrazu dyfrakcyjnego (pośredniego) i obserwowanego obrazu siatki dyfrakcyjnej z punktu widzenia teorii Abbego.

W 1912 r. Wolfke uzyskuje na cztery miesiące posadę asystenta prof. Ottona Lehmana w Zakładzie Fizyki na Politechnice w Karlsruhe. W tym czasie z myślą o habilitacji publikuje w *Annalen der Physik* „Ogólną teorię obrazowania przedmiotów samoświejących i niesamoświejących”, stanowiącą dalsze rozwinięcie zagadnień dotyczących teorii obrazu dyfrakcyjnego [15]. W pracy tej postawił sobie zadanie wyprowadzenia w jednolity sposób równań opisujących obydwie przypadki, które w teorii Abbego są wyprowadzane w zasadniczo różny sposób (promienie wychodzące z przedmiotu niesamoświejącego są spójne, czyli zdolne do interferencji, w przeciwieństwie do pochodzących z obiektu samoświejącego). Zasadnicza teoria Abbego poświęcona była odwzorowywaniu przedmiotów niesamoświejących. Wychodząc z zasady Fresnela-Huygensa i stosując prawo kosinusów Lamberta dla kątów promieniowania, Wolfke wyprowadził odpowiednie równania oraz dokonał ich weryfikacji, uzyskując dobrą zgodność jakościową z doświadczeniem. Ponadto udowodnił, że wyprowadzone przez niego równania pozwalają dobrze opisać powstawanie obrazów przedmiotów leżących poza tzw. subiektywną płaszczyzną obiektu, określaną przez cechy siatkówki oka obserwatora rozpatrywanej jako część całego układu optycznego. W tym przypadku teoria Abbego, którą Wolfke, idąc za sugestią Lummera, próbował najpierw zastosować, przeczyła obserwacjom. Po powrocie do Wrocławia w drugiej połowie 1912 r. Wolfke zajął się dokładniej tym zagadnieniem i poświęcił mu osobną pracę w *Annalen der Physik* [16].

W tym samym roku ożenił się z poznaną w czasie studiów we Wrocławiu panną Agnieszką Ritzmann (córką aptekarza Gustawa Ritzmanna i jego żony Anny, pochodzących z Kostomłotów k. Środy Śląskiej; oprócz Karola, Agnieszka (1893–1965) miała jeszcze dwóch braci: Wernera, który zginął w I wojnie światowej, i Henryka, który był lekarzem chirurgiem i mieszkał w Karpaczu). Ślub odbył się w kościele Najśw. Marii Panny na Piasku.

### 3. Prekursor holografii

W roku 1913 ostatecznie żegna się z Wrocławiem i przenosi na Politechnikę Federalną (ETH) do Zurychu, gdzie habilituje się z fizyki teoretycznej i doświadczałnej na podstawie rozprawy napisanej jeszcze w Karlsruhe [15]. W piśmie z 26 maja 1913 r., dotyczącym habilitacji Wolfkego na ETH, skierowanym do Prezydium Szwajcarskiej Rady Szkolnictwa w Zury-

chu, przewodniczący Wydziału VIII, Marcel Grossman (1878–1936), stwierdził:

„Panowie profesorowie Einstein i Weiss<sup>1</sup> zgodnie wypowiedzieli się pozytywnie o przedstawionych pracach naukowych, wykształceniu oraz osobowości kandydata i powitali z zadowoleniem habilitację prywatnego docenta w dziedzinie optyki”.

Podobnie jednoznacznie pozytywną opinię o pracach Wolfkego wyrazili recenzenci Wydziału Filozoficznego II Uniwersytetu Zurychskiego, profesorowie Max von Laue (1879–1960) i Alfred Kleiner (1849–1916). Wolfke habilitował się w rok później po raz drugi (habilitacja na Politechnice (ETH) nie dawała mu prawa wykładania na Uniwersytecie). Mimo nieprzećiętego zmysłu wynalazczości i odczuwanych problemów finansowych zainteresowanie pracą naukową przeżyło u Wolfkego nad intratnymi propozycjami posady w wytwórni lamp Westinghouse-Cooper-Hewitt pod Paryżem, zaofiarowanej mu w tym samym czasie przez firmę Zeissa.

Okres pobytu Wolfkego w Zurychu cechuje wyjątkowo sprzyjająca, twórcza atmosfera naukowa. W 1913 r. powstał model Bohra atomu wodoru, a w kolejnych latach następuje rozwój teorii kwantów. Wolfke uczestniczy w tym przełomie zachodzącym w fizyce i spotyka najwybitniejszych fizyków XX w. Na ETH poznaje Alberta Einsteina, z którym utrzymywał kontakty aż do swej przedwczesnej śmierci. W tym okresie Wolfke publikuje wiele prac dotyczących teorii promieniowania cieplnego w powiązaniu z teorią kwantów światła Einsteina oraz powstawania widma promieniowania wodoru, a także bada promienie kanalikowe. W pracach dotyczących teorii kwantów Wolfke wykazał się doskonałą znajomością metod teoretycznych, ale nie zawierały one znaczących nowych idei [17].

W serii prac opublikowanych w latach 1913–21 wysunął i udowodnił hipotezę, że przy założeniu istnienia niezależnych „atomów światła”  $h\nu$ , odpowiadających każdej częstotliwości  $\nu$ , możliwe jest wyprowadzenie wzoru Plancka na promieniowanie ciała czarnego [18]. W odróżnieniu od teorii Einsteina (prowadzącej do wzoru Wiena) wyprowadzenie podane przez Wolfkego nie wymagało niezależności przestrzennej „atomów” (kwantów) światła. „Na zasadniczą różnicę między promieniową teorią kwantów światła i powyższym podejściem zwrócił mi osobiście uwagę pan Einstein” [18]. W ostatniej z prac z tej serii Wolfke analizował strukturę przestrzenną promieniowania ciała czarnego (wnęki), rozważając „kwanty światła składające się z  $i$  kwantów  $h\nu$ , które w odróżnieniu od »atomów światła« składających się tylko z jednego  $h\nu$  są nazywane »molekułami światła«”. Przeprowadzone przez niego rozważania wykazały, że „z punktu widzenia einsteinowskiej hipotezy kwantów światła promieniowanie czarnej wnęki składa się z przestrzennie niezależnych molekuł światła  $h\nu$ ,  $2h\nu$ ,

<sup>1</sup> Pierre Weiss (1865–1940), Francuz z Alzacji, zasłynął badaniami ferromagnetyzmu.

$3h\nu, \dots$ ” [19]. W pierwszej połowie lat 20. idea wielokrotnych kwantów była wykorzystywana przez Waltera Bothe (1891–1957) oraz nieco rozwinięta przez Erwina Schrödingera (1887–1961) w początkach jego profesury na Uniwersytecie w Zurychu (por. [17], s. 347). Wolfke próbował powrócić do tego zagadnienia po II wojnie światowej.

Jesienią 1914 r. Einstein opuścił ETH w Zurychu i przeniósł się do Berlina, gdzie zaoferowano mu specjalne stanowisko: członkostwo Pruskiej Akademii Nauk wraz z profesurą na Uniwersytecie, ale bez żadnych obowiązków dydaktycznych. Po odejściu Einsteina przez 5–6 lat ciężar prowadzenia wszystkich wykładów teoretycznych na ETH spoczął na barkach docenta Wolfkego. W tym czasie wykładał tam m.in. elektromagnetyczną teorię światła, promieniowanie temperaturowe ciał stałych, falową teorię optyki, współczesną teorię grawitacji, matematyczną teorię promieniotwórczości i struktury atomów, promieniowanie cieplne i teorię kwantów, zasadę symetrii w zjawiskach fizycznych, wstęp do kinetycznej teorii gazu oraz wstęp do mechaniki statystycznej. Część z tych wykładów miał na Uniwersytecie, na którym po odejściu w lecie 1914 r. Maksa von Lauego do Frankfurtu nad Menem fizyka teoretyczna była również w trudnej sytuacji kadrowej [17].

W roku 1920 Wolfke wraca do tematyki habilitacji i publikuje w *Physikalische Zeitschrift* artykuł „O możliwości obrazowania optycznego sieci molekularnych” [20]. Tym razem zainteresowała go możliwość obrazowania sieci krystalicznych, a więc obiektów znacznie mniejszych niż szczeliny siatki dyfrakcyjnej, mających w dodatku strukturę przestrzenną. Jak wspomniano, proces tworzenia obrazu w przyrządach optycznych przebiega dwuetapowo. Wolfke zaproponował, żeby w pierwszym etapie do wytworzenia obrazu sieci użyć promieni X, których mała długość fali pozwala wytworzyć obraz dyfrakcyjny pojedynczych atomów. Ponieważ promieni tych nie da się skupić za pomocą soczewek, gdyż prawie nie ulegają załamaniu, Wolfke zauważył, że można usunąć soczewkę obiektywu, rozdzielając także w praktyce proces obrazowania na dwa oddzielne etapy, w których można użyć promieniowania o różnych długościach fali. W tej metodzie dwustopniowego odwzorowania optycznego wytwarza się najpierw za pomocą promieniowania rentgenowskiego obraz dyfrakcyjny na płycie fotograficznej (rentgenogram). Następnie prześwietla się płytę monochromatycznym światłem widzialnym, skupiając światło przepuszczone i ugięte za pomocą soczewki, co pozwala uzyskać prawdziwy obraz przedmiotu. W oryginalnym sformułowaniu zasada podana przez Wolfkego brzmi:

„Przy oświetleniu monochromatyczną, równoległą wiązką światła, prostopadłą do obrazu dyfrakcyjnego przedmiotu symetrycznego bez struktury fazowej, obraz dyfrakcyjny obrazu dyfrakcyjnego jest równoważny obrazowi tego przedmiotu”.

Otrzymany obraz jest powiększony w porównaniu do przedmiotu tyle razy, ile razy długość fali światła widzialnego jest większa od długości fali rentgenowskiej, czyli co najmniej kilka tysięcy razy. Przy zastosowaniu układu optycznego w drugim etapie możliwe są powiększenia do  $10^7$  razy, które wystarczają do obserwacji struktur cząsteczkowych. Wolfke przeprowadził ścisły dowód tego twierdzenia, opierając się na wynikach prac z lat 1911–13 wykonanych we Wrocławiu.

W ten sposób Wolfke podał podstawową zasadę wykorzystywaną w holografii (termin „holografia” został wprowadzony przez Dennisa Gabora (1900–79) i powstał ze złożenia dwóch greckich wyrazów: „holos” – całkowity i „grafo” – piszę), polegającą na rozbiciu procesu wytwarzania obrazu na dwie oddzielne fazy i zastosowanie dwu wiązek fal. Dokonał także weryfikacji doświadczalnej swojej teorii [20]:

„Udowodnione wyżej twierdzenie zostało sprawdzone na siatkach o różnej strukturze optycznej w równoległej wiązce światła żółtej linii rtęci i okazało się, że jest spełnione we wszystkich przypadkach. Do otrzymania ostrych obrazów należało stosować możliwie silne źródło światła przy bardzo małej, o punktowej szerokości, szczeliny kolimatora”.

Wolfke nie opublikował jednak obrazów doświadczalnych, prawdopodobnie ze względu na trudności z uzyskaniem obrazu o odpowiedniej jakości. Jego praca pozostawała w zapomnieniu przez prawie pół wieku [21,22].

Podobnie do Wolfkego rozważania przeprowadził niezależnie w 18 lat później Hans Boersch, a następnie, w 1939 r., William Lawrence Bragg (1890–1971). Tę samą w swej istocie zasadę dwustopniowego obrazowania wykorzystał Dennis Gabor, ogłaszając w 1948 r. pierwszą ze swych prac na temat holografii, w której powołał się na pracę Bragga. W wykładzie noblowskim [23] w 1971 r. Gabor uznał prekursorską rolę Wolfkego (na pionierski charakter pracy Wolfkego zwrócił Gaborowi uwagę doc. Siergiej Szuszurin z Wydziału Fizyki Uniwersytetu im. Łomonosowa w Moskwie [22]), stwierdzając:

„Dokonując tego, stałem na ramionach dwóch wielkich fizyków, W.L. Bragga i Fritsa Zernike. (...) W tym czasie ani ja, ani Bragg nie wiedzieliśmy, że Mieczysław Wolfke zaproponował tę metodę w 1920 r., ale nie zrealizował jej doświadczalnie”.

Obok zagadnień wybitnie teoretycznych lub czysto fizycznych Wolfkego pasjonowała zawsze praca doświadczalna i zastosowania praktyczne. Miało to dobre strony, gdyż stanowiło dodatkowe źródło dochodów w trudnych czasach I wojny światowej. W czasie pobytu w Zurychu Wolfke był konsultantem naukowo-technicznym znanych firm elektrotechnicznych Trüb Täuber i Brown-Boveri. Dla tej drugiej opracował m.in. układ elektryczny hamowania elektrowozów. Był ekspertem do spraw patentowych na Szwajcarię dla firmy Osram A.G. z Berlina. Pracował również dla kilku innych firm szwajcarskich m.in. nad nowym typem lampy rtęciowej, prostownikami rtęciowymi i z gazami szlachetnymi, badał topliwosć wolframu. Opra-

cował także przepisy na filtry szklane przepuszczające określone zakresy widma w podczerwieni.

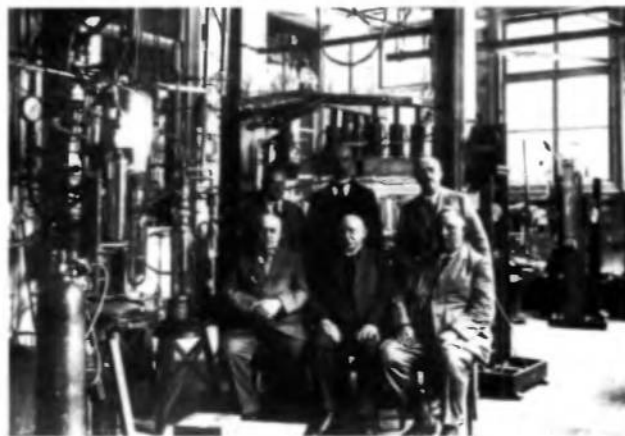
#### 4. Działalność naukowa w Warszawie

W 1918 r. Mieczysław Wolfke otrzymuje paszport polski dla siebie i rodziny, a w rok później podejmuje starania o profesurę w kraju. W swoim pamiętniku z 1920 r. Wolfke pisze: „Zostałem powołany i mianowany profesorem zwyczajnym na Uniwersytecie Warszawskim – przyjąłem, lecz nie mogłem objąć z powodu braku pieniędzy na wyjazd ze Szwajcarii”. Drugim powodem rezygnacji był brak pracowni doświadczalnej na Uniwersytecie [3,4]. W 1922 r. zostaje powołany na profesora zwyczajnego i kierownika Zakładu Fizyki I Politechniki Warszawskiej i wraca do wolnej Polski. Mimo początkowych obietnic nie miał tu także niestety możliwości kontynuowania badań nad optyką. Istnieją przypuszczenia, że Wolfke planował dalsze badania metody obrazowania dwustopniowego, ale szansa ta została zaprzepaszczona [4,24].

W tej sytuacji Wolfke zajął się zagadnieniami możliwymi do badania w skromnych warunkach. Jednym z nich było opracowanie metody otrzymywania bardzo wysokich napięć za pomocą transformatora Tesli. Już w 1923 r. udało mu się uzyskać napięcie 500 kV, co w tamtych czasach było rekordowym osiągnięciem [25] (w kilka lat później fizycy amerykańscy Breit, Tuve i Dahl z Instytutu Carnegiego w Waszyngtonie uzyskali tą metodą 5 MV [26]). Najważniejszym nowym kierunkiem jego badań stała się jednak fizyka niskich temperatur. Własnoręcznie zmontowana aparatura pomiarowa pozwalała jedynie na ograniczone badania, toteż w 1923 r. z ochotą przyjął zaaranżowane przez prof. Józefa Wierusza-Kowalskiego<sup>2</sup> (1866–1927), posła polskiego w Hadze, zaproszenie do słynnego laboratorium kriogenicznego w Lejdzie, kierowanego przez Heikego Kamerlingh Onnesa (1853–1926). W czasie 3-miesięcznego pobytu w Lejdzie w 1924 r. prowadził badania nad przenikalnością elektryczną w niskich temperaturach i zestaleniem helu. W swoim dzienniku Wolfke napisał: „Zaproponowałem Kamerlingh Onnesowi zestalenie helu pod ciśnieniem – nie zgodził się”. Oryginalny pomysł Wolfkego zestalenia helu poddanemu wysokiemu ciśnieniu w niskiej temperaturze został zrealizowany dopiero w 1926 r. przez następcę Kamerlingh Onnesa – Willema H. Keesoma (1876–1956), który uznał pierwszeństwo pomysłu podanego przez Wolfkego [4,27].

W czasie kolejnego pobytu w Lejdzie w 1925 r., badając wspólnie z Keesomem przenikalność elektryczną helu, dokonał innego wielkiego odkrycia, a mianowicie dwóch odmian ciekłego helu (He I, istniejącego między 2,29 K i temperaturą wrzenia (4.2 K), oraz

He II poniżej 2,29 K), różniących się m.in. gęstością, stałą dielektryczną, ciepłem parowania i napięciem powierzchniowym. To odkrycie odegrało ogromną rolę w rozwoju fizyki niskich temperatur i doprowadziło do odkrycia zjawiska nadpłynności przez Piotra F. Kapicę (1894–1984) w 1937 r. Wspomina o tym Max Born<sup>3</sup> [28], wymieniając nazwiska Keesoma i Wolfkego w artykule podsumowującym największe osiągnięcia fizyki w pierwszych 50 latach XX w. Publikacje Keesoma i Wolfkego o tych odkryciach są powszechnie cytowane w artykułach i monografiach dotyczących zjawisk zachodzących w helu w niskich temperaturach.



Rys. 4. W laboratorium kriogenicznym w Lejdzie (1927 r.). Siedzą od lewej: J. Wierusz-Kowalski, H. Kamerlingh Onnes, W.H. Keesom. Stoją: M. Wolfke, J. Flim (dyrektor techniczny) oraz L. Vegard (1880–1950) (ze zbiorów prywatnych prof. Karola Wolfkego).

Współpraca z Lejdą była owocnie kontynuowana w latach 30. ubiegłego wieku. Wolfke i jego współpracownicy kilkakrotnie wyjeżdżali do Lejdy i prowadzili tam badania. Z inicjatywy Wolfkego w 1927 r. Keesom otrzymał tytuł doktora honoris causa Politechniki Warszawskiej. Jeszcze w 1940 r. Keesom starał się zaprosić Wolfkego do Lejdy, ale ten odmówił.

W połowie lat 30. Wolfke zdecydował się wystąpić do Funduszu Kultury Narodowej o pieniądze na stworzenie wydzielonego laboratorium niskich temperatur, które pozwalałoby na osiąganie także w Warszawie wyników na światowym poziomie. Laboratorium Cavendisha w Cambridge, którego dyrektor, prof. J.D. Cockcroft, odwiedził zakład Wolfkego w 1933 r., udostępniło mu projekt Kapicy skraplarki helu.

Chociaż fizyka niskich temperatur zajęła dominującą pozycję w badaniach prowadzonych przez Wolfkego w Warszawie, to nie ograniczały się one tylko do tej dziedziny. W latach 30. w kierowanym przez

<sup>2</sup> Profesor fizyki m.in. na Uniwersytecie we Fryburgu (gdzie asystentem jego był późniejszy prezydent RP – Ignacy Mościcki) i na PW. Od 1919 r. pracował w dyplomacji.

<sup>3</sup> Urodzony we Wrocławiu (1882 r.). Odbił tam część studiów, a także pracował po doktoracie w latach 1907–08. Zmarł w Getyndze w 1970 r.



niego Zakładzie Fizyki istniały następujące działy badań: dielektryków, optyki instrumentalnej, akustyki, elektropróżniowy oraz promieniowania podczerwonego. Badano w nich m.in. szerokość linii widmowych oraz czas życia stanów wzbudzonych atomów rtęci (na wypożyczonym spektrografie), wyładowania w gazach i układy optyczne, a także zastosowano metodę pomiaru przenikalności elektrycznej do poszukiwanie przemian fazowych w pospolitych związkach chemicznych w temperaturze pokojowej. Wolfke prowadził także prace teoretyczne dotyczące neutrin oraz zajmował się (1934–35) badaniem promieniowania kosmicznego, śledząc tory cząstek w komorze Wilsona.



Rys. 5. Rodzina Wolfków na werandzie mieszkania na terenie Politechniki w Warszawie (1935 r.). Od lewej: Agnieszka Wolfke, córka Lucyna, syn Stefan, Mieczysław Wolfke i syn Karol (ze zbiorów prywatnych prof. Karola Wolfkego).

Z kilkoma innymi fizykami prowadził przygotowania do pierwszego polskiego lotu balonem do stratosfery [2,3], a od 1937 r. przewodniczył powołanej w tym celu Radzie Naukowej. Z tej okazji także odwiedził Polskę znany szwajcarski badacz stratosfery i głębin morskich, prof. August Piccard. Niestety, pierwsza próba startu balonu z Doliny Chochołowskiej, która odbyła się przed samą wojną (1938 r.), zakończyła się niepowodzeniem – wypełniony wodorem balon zapalił się w czasie startu. Ponowną próbę zaplanowano na wrzesień 1939 r. w okolicach Stryja [3].

Duże znaczenie miały także badania fizyko-techniczne prowadzone dla wojska. Na początku lat 30. przy wiceministrze spraw wojskowych został utworzony komitet doradczo-naukowy złożony z wybitnych naukowców, którego Wolfke był członkiem. Śledząc literaturę specjalistyczną, Wolfke zwrócił uwagę na szybki rozwój techniki raketowej w Niemczech. Wydelegowany do zbadania sprawy na miejscu, po wizycie w niemieckich laboratoriach badawczych i w urzędzie patentowym ostrzegł w raporcie (1933 r.) władze wojskowe o próbach broni raketowej z paliwem płynnym. W pracowni kierowanej przez Wolfkego prowadzono

(od 1933 r.) prace nad raketami dla wojska, badania nad fotografią w podczerwieni, fotokomórkami czuymi na różne zakresy widma oraz urządzeniem do widzenia w nocy (w podczerwieni). W 1938 r. opracowano projekt rakiety przeciwlotniczej samokierującej się na promieniowanie podczerwone z silników samolotu. Pracowano nad telefonią i sygnalizacją świetlną za pomocą światła spolaryzowanego, wpływem drgań akustycznych na materiały wybuchowe oraz bronią elektryczną. Wolfke był także konsultantem Instytutu Badań Technicznych Lotnictwa. Sumy asygnowane przez wojsko na badania naukowe były niewielkie i przeznaczone głównie na stosunkowo skromne wyposażenie pracowni, w których własnym przemysłem budowano prototypy urządzeń.

Wolfke przewidywał możliwość produkcji broni atomowej i już w 1936 r., w artykule „Eksplozja atomów”, na łamach *Polski Zbrojnej* ostrzegał opinię publiczną o niebezpieczeństwie jej użycia. Powtórzył te ostrzeżenia tuż po wojnie, jeszcze przed zrzucającem przez Amerykanów bomb atomowych na Hiroszimę i Nagasaki (por. także [29]).



Rys. 6. Mieczysław Wolfke (ósmi od lewej) na Zamku u Prezydenta Ignacego Mościckiego z okazji spotkania Rady Naukowej I Polskiego Lotu Stratosferycznego (1938 r.) (ze zbiorów prywatnych prof. Karola Wolfkego).

## 5. Działalność publiczna

Osobnej wzmianki wymaga działalność publiczna Mieczysława Wolfkego. Prawdopodobnie wkrótce po powrocie do kraju ze Szwajcarii został przyjęty w poczet członków wolnomularskiej Wielkiej Loży Narodowej (WLN) Polski, powołanej do życia 11 września 1920 r. Przypuszczalnie był Wolfke także członkiem Rady Najwyższej WLN grupującej masonów wyższych stopni. W 1929 r. został wielkim sekretarzem, a w latach 1932–34 był wielkim mistrzem WLN [30]. Do zakresu jego obowiązków należały też stosunki międzynarodowe. Wiadomo, że przebywając w Lejdzie (1927 r.) prowadził z lożą holenderską rozmowy o nawiązaniu stosunków [31].

Spotkania łoży odbywały się niekiedy w pomieszczeniach Zakładu Fizyki PW, którym kierował. Na każdym posiedzeniu poza częścią rytualną odbywały się odczyty i pogadanki z historii, zagadnień politycznych, filozofii i fizyki (na jednym z nich Wolfke przedstawił odczyt o nowoczesnej fizyce) [31].

Z racji swej programowej elitarności (w latach 30. Wielka Loża Narodowa objęła 11 łoż z około 300 wolnomularzami) i hermetyczności, przywiązywania wielkiej wagi do poszanowania myśli ludzi wyznających różne systemy filozoficzne, wolnomularstwo budziło niechęć pravicowo-nacjonalistycznych i klerykalnie nastawionych części społeczeństwa. Wolnomularstwu przypisywano walkę z Kościołem, religią i państwem oraz zarzucano chęć objęcia kontroli nad narodem polskim przez ponadnarodową strukturę. W istocie wolnomularstwo odrzucało jedynie klerykalizm oraz wszelki dogmatyzm, walczyło z niechęcią do nowości, a związki z łożami zagranicznymi były dość luźne. Nie żądało od swych członków żadnego określonego wyznania wiary, grupując w swoich szeregach zarówno deistów, jak i ateistów, i dopuszczając bardzo szeroki wachlarz poglądów.

Rekrutacja do wolnomularstwa polskiego stawiała wysokie wymagania kandydatom i ograniczała się do dość wąskich grup społecznych osób o dużym znaczeniu w życiu gospodarczym i zawodowym, profesury szkół wyższych, środowiska wolnych zawodów oraz wyższych kręgów administracji państwowej i wojska. W tradycyjnym orędziu wielkiego mistrza w 1932 r. Mieczysław Wolfke mówił: „Możemy już dzisiaj z całą stanowczością twierdzić, że polskie wolnomularstwo nie jest i nie będzie nigdy ani mafią polityczną, ani odskocznią dla karierowiczów, ani klubem towarzyskim dla snobów” [31]. Skład osobowy przesądzał ukierunkowanie działalności WLN na oddziaływanie na życie społeczeństwa, na stosunki polityczne i ich demokratyzację oraz dążenia do świeckiego charakteru państwa, i sytuował ją na centrolewicy polskiego życia publicznego. Wolfke uważany był za człowieka obozu prorządowego i należał do tych, którzy poparli przewrót majowy, chociaż polityka jako taka go nie interesowała [2].

Wolfke jako tzw. ujawniony mason był obiektem gwałtownych ataków ze strony ośrodków skrajnie pravicowych. W latach 1933–38 był narażony na ataki pewnych odłamów prasy, a nawet napady bojówek ONR na wykładach (obrzucenie zgniłymi jajami w 1936 r.). Po Warszawie krążył też kłamliwy paszkwil na Wolfkego wydrukowany w gazetce *Mercuriusz*. W antymasońskiej kampanii prasowej domagano się usunięcia z katedr PW m.in. Wolfkego. Rektor PW, prof. Józef Zawadzki, wysunął przeciw niemu

110 zarzutów. Na ich podstawie Senat PW wdrożył w 1938 r. postępowanie dyscyplinarne przeciw Wolfkemu, jako „przedstawicielowi nauki, kierownikowi zakładu, obywatelowi Państwa Polskiego, urzędnikowi państwowemu i człowiekowi” [31].

Coraz wyraźniejszy kurs obozu prorządowego na zbliżenie z siłami pravicowymi i klerykalnymi doprowadził do dalszego wzrostu nastrojów antymasońskich z ich kulminacją w drugiej połowie lat 30. W Sejmie posłowie prawicy apelowali o postawienie znanych wolnomularzy w stan oskarżenia (za udział w tajnym związku). Rozgrywki wewnętrzne w kołach rządowych oraz ich zabiegi o względy hierarchii katolickiej sprawiły, że w marcu 1938 r. podjęto wstępną decyzję o rozwiązaniu wolnomularstwa. Uprowadzając dekret Prezydenta Rzeczypospolitej z 22 listopada 1938 r., rozwiązujący wszelkie zrzeszenia wolnomularskie, WLN Polski powzięła 26 października 1938 r. decyzję o samorozwiązaniu (rozwiązanie zakonu nie zahamowało kampanii antymasońskiej; podejrzewając dalszą, konspiracyjną działalność, w nocy z 2 na 3 grudnia 1938 r. przeprowadzono rewizje w mieszkaniach znanych członków łoż).

Akcje skierowane przeciwko Wolfkemu, człowiekowi prawego charakteru i wzorowemu obywatelowi, spotkały się z potępieniem zdecydowanej większości środowiska akademickiego. Wszystkie te przykrości i szykany nie zdołały ani zniechęcić, ani złamać niezależności Mieczysława Wolfkego, który pozostał wierny swym zasadom moralnym.

## 6. Działalność w czasie okupacji

W czasie oblężenia Warszawy w 1939 r. Wolfkowie z młodszymi dziećmi schronili się w Pałacu Staszica. Starszy syn Karol był obrońcą twierdzy Modlin. Wybuch wojny uniemożliwił kontynuowanie badań w ukończonym tuż przed jej rozpoczęciem laboratorium niskich temperatur. Większa część najcenniejszego wyposażenia laboratorium, m.in. skraplarka ciekłego powietrza o wydajności 5 l/h, zamontowana w 1937 r., oraz skraplarka ciekłego helu typu Meissnera, została wywieziona na początku wojny przez Niemców. W przeddzień, 11 listopada 1939 r., Mieczysław Wolfke z synem Karolem zostali aresztowani i więzieni na Pawiaku<sup>4</sup>. Po wypuszczeniu nauczał fizyki i zarabiał drobnymi pracami dla przemysłu (elektrownia, tramwaje), najpierw w stworzonym przez siebie „Zakładzie Badawczym Fizyki Technicznej” dla potrzeb przemysłu krajowego, uznanym przez okupanta za legalny. Od 1942 r. wykładał w języku polskim w Wyższej Szkole Technicznej, otwartej przez władze

<sup>4</sup> Chorego na serce Mieczysława Wolfkego udało się wydostać z więzienia dzięki staraniom córki Lucyny (1918–44) i jej męża Stefana Rassalskiego (znanego fotoreportera w Powstaniu Warszawskim). Syn Karol (ur. 1915) został zwolniony 3 tygodnie później dzięki pośrednictwu dyrektora szwajcarskiej tkalni jedwabiu „Neff”, którego żona przyjaźniła się z żoną Wolfkego. Później trafił do Oflagu VIIA w Murnau (Górna Bawaria). Młodszy syn Stefan (1926–85), który walczył w Powstaniu Warszawskim, trafił do obozu jenieckiego w Markt Pongau (Górna Austria). Po wojnie obydwaj wrócili do Polski w grudniu 1945 r.

niemieckie w gmachu Politechniki Warszawskiej, jednocześnie biorąc czynny udział w pracach konspiracyjnej Politechniki (jednym z uczestników tych tajnych kompletów był Jan Rzewuski (1916–94), który później (od 1952 r.) pracował na UW i został (1960 r.) pierwszym dyrektorem Instytutu Fizyki Teoretycznej UW) [32]. Odcięty od wielkich ośrodków naukowych, utrzymywał kontakty listowne z zagranicznymi fizykami. Pomimo tak trudnych warunków, w okresie wojennym opublikował w naukowym periodyku szwedzkim pracę teoretyczną z elektrodynamiki [33].

Powstanie Warszawskie zaskoczyło Wolfkego na Mokotowie. Stamtąd przedostał się do Podkowy Leśnej, Grodziska Mazowieckiego, Częstochowy i Krakowa. Żona Wolfkego przeżyła spalenie mieszkania w gmachu Zakładu Fizyki, gdzie się schroniła w czasie Powstania. Cały dobytek, w tym archiwum domowe, spłonęło. W ruinach zostało tylko kilka nadpalonych zdjęć i listów. Po kapitulacji Warszawy z zięciem i wnukiem została wywieziona z ludnością cywilną do Pruszkowa, a następnie Bochni i Krakowa.

## 7. Okres powojenny

Po wojnie Wolfke zabrał się z wielką energią do pracy. Początkowo w 1945 r. wykładał fizykę na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, następnie został powołany na katedrę fizyki na organizowanej Politechnice Śląskiej w Gliwicach. Stamtąd trafił do Gdańska, gdzie organizował Politechnikę, by ostatecznie powrócić na Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej, gdzie ponownie zaczął organizować swój Zakład. W drugiej połowie 1946 r. udał się na dłuższy pobyt zagraniczny, początkowo do Szwecji, gdzie przez 2 miesiące bezskutecznie oczekiwał na wizę amerykańską, a potem do Szwajcarii. W semestrze zimowym 1946/47 wykładał gościnnie fizykę niskich temperatur na ETH w Zurychu [6]. O jego wielkiej aktywności i zapale do pracy świadczy fakt, że w czasie pobytu w Szwajcarii opublikował swe dwie ostatnie prace teoretyczne dotyczące promieniowania zrównoważonego [33]. Ponownie zajmowała go statystyka fotonów, a w szczególności możliwość obserwacji „fotonów wielokrotnych”. Idee te zawarł w pracy, którą jeszcze z Polski wysłał do Einsteina do Princeton. W odpowiedzi Einstein pisze [34]: „Cieszę się z wiadomości otrzymanych od Pana po tak długim okresie. Przypominam sobie także, że już wtedy przedstawiał Pan i dyskutował pomysł wielokrotnych kwantów promieniowania. Z punktu widzenia teorii wzoru promieniowania i jej implikacji termodynamicznych pomysł ten jest rozsądny, a uzyskanie rozstrzygającej odpowiedzi na to pytanie – ważne”.

W odpowiedzi Wolfke udziela Einsteinowi wyjaśnień dotyczących procesu powstawania kwantów wielokrotnych [35] i kończy swój list słowami:

„Teraz usiłuję wszystkie te pomysły połączyć w jedną logiczną całość. Byłbym Panu niezmiernie wdzięczny za Pańskie dalsze uwagi”.

Mieczysław Wolfke zmarł na atak serca w Zurychu 4 maja 1947 r. W tym samym roku metoda dwu-

stopniowego odwzorowania obrazu w holografii została na nowo sformułowana przez Gabora i opublikowana w *Nature* w rok po śmierci Wolfkego.

Pełny spis prac naukowych Mieczysława Wolfkego liczy około 120 pozycji [3]. Są wśród nich prace wybitne, które wyznaczały nowe kierunki badań w fizyce. Odkrycia dokonane przez niego w dziedzinie optyki i fizyki niskich temperatur pozwalają zaliczyć go do grona najwybitniejszych polskich fizyków. Niektóre z odkryć (w optyce) przyniosły mu uznanie dopiero w wiele lat po jego śmierci, ponieważ wyprzedzały one ówczesne możliwości ich szerokiego zastosowania (brak dostatecznie silnych źródeł światła spójnego – laserów).

Mieczysław Wolfke cieszył się wielkim autorytetem naukowym. Zapraszano go do komitetów naukowych konferencji, reprezentował Polskę w różnych stowarzyszeniach i organizacjach naukowych. Był członkiem korespondentem Polskiej Akademii Umiejętności (od 1932 r.), a od 1923 r. członkiem rzeczywistym Akademii Nauk Technicznych, członkiem Niemieckiego, Szwajcarskiego i Francuskiego Towarzystwa Fizycznego, prezesem Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizycznego w latach 1930–34, a wcześniej przewodniczącym Oddziału Warszawskiego PTF, członkiem rzeczywistym Towarzystwa Naukowego Warszawskiego. Mieczysław Wolfke był wychowawcą wielu polskich fizyków. Brał nie tylko aktywny udział w życiu środowiska naukowego, ale działał także na rzecz popularyzacji wiedzy. Jeszcze przed I wojną światową, w czasie pobytu we Wrocławiu, wolny czas wykorzystywał na wyjazdy do rodzinnej Częstochowy, gdzie na wygłaszanych odczytach popularyzował zdobytą za granicami wiedzę. Był autorem podręcznika akademickiego *Zasady teorii ciepła* [36].

Artykuł ten przedstawia zaledwie niektóre wyćinki tej bardzo bogatej i twórczej osobowości. O jego cechach osobowych i poglądach pisze więcej syn Karol [2,37], toteż wspomnę tylko, że Mieczysław Wolfke był człowiekiem światowym. Lubił muzykę poważną (grał na pianinie), wykwintną kuchnię i szlachetne trunki.

Autor wyraża podziękowanie prof. Karolowi Wolfkemu za interesujące rozmowy oraz udostępnienie prywatnych materiałów dotyczących życia i działalności jego ojca, dr. Reimundowi Torgemu z Uniwersytetu w Stuttgarcie za pomoc w dotarciu do niektórych materiałów archiwalnych, a prof. Maciejowi Suffczyńskiemu za cenne sugestie dotyczące tego artykułu.

## Literatura

- [1] M. Suffczyński, „Stulecie urodzin Mieczysława Wolfkego”, *Postępy Fizyki* **34**, 333 (1983).
- [2] K. Wolfke, „Wspomnienia o Ojcu, Mieczysławie Wolfke”, *Postępy Fizyki* **31**, 551 (1980).
- [3] M. Suffczyński, „Mieczysław Wolfke (w 25 rocznicę śmierci)”, *Postępy Fizyki* **23**, 599 (1972).
- [4] W. Łaniecki, „Mieczysław Wolfke 1883–1947”, *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki* **21**, 545 (1976).



- [5] R. Torge, „Budowa i rozwój Instytutu Fizyki Uniwersytetu Wrocławskiego za czasów Ottona Lummera”, *Postępy Fizyki* **51**, 31 (2000).
- [6] R. Torge, „Otto Lummer, Fritz Reiche i Mieczysław Wolfke: szkice biograficzne”, *Postępy Fizyki* **53**, 201 (2002). Wersja oryginalna („Otto Lummer, Fritz Reiche, Mieczysław Wolfke und »Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop von Ernst Abbe«: Biographische Skizzen”, *Jenaer Jahrbuch zur Technik- und Industriegeschichte* **2**, 24 (2000)) zawiera wiele odsyłaczy dotyczących M. Wolfkego.
- [7] A. Kiejna, „Stulecie wzoru i stałej Plancka”, *Postępy Fizyki* **51**, 294 (2000).
- [8] O. Lummer, F. Reiche, *Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop von Ernst Abbe* (Vieweg & Sohn, Braunschweig 1910).
- [9] A.H. Piekara, *Nowe oblicze optyki* (PWN, Warszawa 1976).
- [10] M. Wolfke, „Über die Abbildung eines Gitters bei künstlicher Begrenzung”, *Ann. Phys.* **34**, 277 (1911).
- [11] M. Wolfke, „Über die Abbildung eines Gitters bei asymmetrischen Ablendung”, *Ann. Phys.* **37**, 96 (1912).
- [12] M. Wolfke, „Über eine neue Metaldampfampe mit weißem Licht”, *Elektrochem. Zs.* **33**, 917 (1912).
- [13] M. Wolfke, „Über die Abbildung eines durchlässigen Gitters”, *Ann. Phys.* **37**, 797 (1912).
- [14] M. Wolfke, „Zur Abbildung eines durchlässigen Gitters”, *Ann. Phys.* **38**, 385 (1912).
- [15] M. Wolfke, „Allgemeine Abbildungstheorie selbstleuchtender und nicht selbstleuchtender Objekte”, *Ann. Phys.* **39**, 569 (1912).
- [16] M. Wolfke, „Über die Abbildung eines Gitters außerhalb der Einstellebene”, *Ann. Phys.* **40**, 194 (1913).
- [17] J. Mehra, H. Rechenberg, *The Historical Development of Quantum Theory*, t. 5, cz. 1 (Springer-Verlag, New York 1987).
- [18] M. Wolfke, „Welche Strahlungsformel folgt aus der Annahme der Lichtatome?”, *Phys. Zeitschr.* **15**, 308 (1914).
- [19] M. Wolfke, „Einsteinsche Lichtquanten und räumliche Struktur der Strahlung”, *Phys. Zeitschr.* **22**, 375 (1921).
- [20] M. Wolfke, „Über die Möglichkeit der optischen Abbildung von Molekulargittern”, *Phys. Zeitschr.* **21**, 495 (1920).
- [21] Sz. Szczeniowski, „Polski fizyk prekurem holografii”, *Problemy* **23**, 115 (1967).
- [22] S.F. Szuszurin, „Przyczynek do historii holografii”, *Postępy Fizyki* **23**, 229 (1972) (przekład z *Uspiechów Fizycznych Nauk* **105**, 145 (1971)).
- [23] D. Gabor, „Holography 1948–1971”, w: *Nobel Lectures, Physics 1971–1980*, red. S. Lundqvist (World Scientific, Singapore 1992), s. 11; przekład polski: *Postępy Fizyki* **23**, 599 (1972).
- [24] R. Ingarden, „Mieczysław Wolfke, Wojciech Rubinowicz i początki optyki kwantowej”, *Studia i Mat. z Dziejów Nauki Polskiej* **C23**, 13 (1979); także: *Fizyka i fizycy* (Wyd. UMK, Toruń 1994), s. 147.
- [25] M. Wolfke, *Phys. Zeits.* **24**, 249 (1923).
- [26] G. Breit, M.A. Tuve, O. Dahl, *Phys. Rev.* **35**, 51 (1930).
- [27] W.H. Keesom, „Sur les états d’agrégation de l’hélium”, *Acta Phys. Polon.* **1**, 1 (1932).
- [28] M. Born, *Physics in my generation* (Springer-Verlag New York Inc., New York 1969), s. 68.
- [29] M. Wolfke, *Bomba atomowa* (Nasza Księgarnia, Warszawa 1945).
- [30] L. Hass, *Masoneria polska w XX wieku. Losy, loże, ludzie* (Wyd. Kopia, Warszawa 1996).
- [31] L. Chajm, *Polskie wolnomularstwo 1920–1938* (Czytelnik, Warszawa 1984).
- [32] B. Frackiewicz, „Was Nazi Know-how Enough for an A-Bomb?”, *Phys. Today*, grudzień 1994, s. 84.
- [33] W.M. Ścisłowski, „Ś.p. Mieczysław Wolfke (1883–1947)”, *Rocznik Tow. Nauk. Warszawskiego* **40**, 159 (1947).
- [34] List A. Einsteina do M. Wolfkego z 12 lipca 1946 r. (dzięki uprzejmości prof. Karola Wolfkego).
- [35] List M. Wolfkego do A. Einsteina z 17 sierpnia 1946 r. (dzięki uprzejmości prof. Karola Wolfkego).
- [36] M. Wolfke, *Zasady teorii ciepła* (Książnica Atlas, Lwów–Warszawa 1924).
- [37] E. Mańkiewicz-Cudny, „Ojciec holografii”, *Przegląd Techniczny*, nr 8 (1984), s. 26.

# Jeszcze o prostej dostatecznie grubej: w odpowiedzi M.W. Gutowskiemu\*

Andrzej Zięba

Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, Kraków

---

In reply to M.W. Gutowski's article on interval theory

---

## 1. Wstęp

Tematem artykułu Marka W. Gutowskiego „Prosta dostatecznie gruba” [1] jest przedstawienie nowej dziedziny matematyki – rachunku interwałowego – i jej zastosowanie jako teorii błędu pomiaru. W rachunku interwałowym Autor widzi same zalety, natomiast „strona przeciwna”, czyli statystyczna teoria błędu, jest wyłącznie krytykowana.

Jako autor niedawnego artykułu o rachunku niepewności pomiaru [2] czuję się zobowiązany do odpowiedzi. Zaletą wywodów Gutowskiego jest ściśle przedstawienie stwierdzeń matematycznych, co do których da się ustalić, czy są prawdziwe, oraz wyrazistych opinii, które można merytorycznie przedyskutować. Analiza dopasowania prostej w teorii interwałowej stwarza okazję do zobrazowania zarówno różnic, jak i nieoczekiwanych zbieżności w dwu podstawowych sposobach opisu błędu pomiaru. Niektórych z nich – w szczególności dotyczących kształtu korytarza niepewności i obrazu korelacji między parametrami dopasowanej prostej – nie spotkałem w znanej mi literaturze.

## 2. O zastosowaniu rachunku interwałowego do opisu błędu pomiaru

Rachunek interwałowy jest nowym przykładem ilustrującym filozoficzny problem relacji między matematyką i rzeczywistością empiryczną. Gutowski omawia zastosowania rachunku interwałowego do dwóch dziedzin, w których jest on odpowiednio opisem ścisłym oraz przybliżonym.

Teoria interwałowa umożliwia ścisły opis problemów wynikających z konfliktu między dyskretną strukturą komputera i ciągłością zbioru liczb rzeczywistych. Ścisłość jest możliwa, gdyż działanie maszyny liczącej jest w pełni deterministyczne. Efektem zastosowania rachunku interwałowego są programy, w których błąd zaokrąglenia pozostaje pod kontrolą. Autor

nazywa obliczenia wykonywane za ich pomocą „gwarantowanymi”, choć gwarancja obejmuje tylko jeden aspekt problemu niezawodności. Niestety, można być pewnym, że katastrofy spowodowane błędami programistów i awariami sprzętu komputerowego nadal będą się zdarzać.

W przypadku błędu w pomiarach fizyki klasycznej żadna teoria nie jest ani kompletna, ani ścisła, dlatego w ogóle ma sens spór, czy lepszy jest opis oparty na pojęciu błędu maksymalnego, czy standardowego [2]. Zastosowanie rachunku interwałowego do analizy błędu nie jest niczym nowym – teoria błędu maksymalnego wykorzystuje de facto elementy tego rachunku (tab. 1). Dla wygody Czytelników będę się posługiwał dla teorii statystycznej nazewnictwem i symboliką Międzynarodowej Normy, natomiast dla rachunku interwałowego – pojęciami z teorii błędu maksymalnego.

## 3. Tożsamość „metody graficznej” i interwałowego algorytmu dopasowania prostej do zbioru prostokątów niepewności

Termin „metoda graficzna dopasowania prostej” ma dwa znaczenia. Podstawowe dla praktyki znaczenie (którego tu nie omawiam) to poprowadzenie na oko jednej prostej, subiektywnie najlepiej dopasowanej do punktów doświadczalnych. W teorii błędu maksymalnego oznacza on jednoznaczny procedurę poprowadzenia dwu prostych, o nachyleniu największym ( $a^+$ ) i najmniejszym ( $a^-$ ), przez zadany zbiór odcinków lub prostokątów niepewności. Następnie przez punkt ich przecięcia prowadzimy „optymalną” prostą o nachyleniu równym  $(a^+ + a^-)/2$  [3].

Omawiając metodą graficzną stwierdziłem [2], że „można napisać algorytm, pozwalający obliczyć parametry prostych o maksymalnym i minimalnym nachyleniu bez potrzeby wykonywania rysunku”. Od czasów Kartezjusza wiadomo bowiem, że każda procedura geometryczna ma swój odpowiednik analityczny (twier-

---

\*Pełna wersja artykułu, zawierająca dodatek, w którym Autor polemizuje z opiniami M.W. Gutowskiego o metodach statystycznych, umieszczona jest na stronie internetowej PF pod adresem [www.fuw.edu.pl/~postepy/dodatki](http://www.fuw.edu.pl/~postepy/dodatki).

dzenie odwrotne nie jest słuszne, w szczególności nie ma graficznej wersji metody najmniejszych kwadratów). Nie przypuszczałem, że opis takiego programu pojawi się za rok na łamach *Postępów Fizyki*. Itera-

cyjny algorytm Gutowskiego stanowi właśnie numeryczną realizację „metody graficznej”, będącej przedmiotem nauczania w szkołach i prezentowanej w wielokrotnie wznawianych podręcznikach [3].

Tabela 1. Odpowiadające sobie nazewnictwo i symbolika rachunku interwałowego (wg [1]) i rachunku niepewności maksymalnej.

Rachunek interwałowy	Rachunek niepewności maksymalnej
interwał $x$	przedział $x \pm \Delta x$ (w którym znajduje się wartość rzeczywista)
środek interwału $m(x)$	wynik pomiaru $x$
promień interwału $r(x)$	niepewność maksymalna $\Delta x$
kostka interwałowa (dwuwymiarowa) $(x, y)$	prostokąt niepewności $x \pm \Delta x, y \pm \Delta y$
zbiór rozwiązań zjednoczonych dla zagadnienia dopasowania prostej do układu $n$ kostek interwałowych $(x_i, y_i)$	zbiór parametrów prostych przechodzących przez $n$ prostokątów niepewności $x_i \pm \Delta x_i, y_i \pm \Delta y_i$
powłoka interwałowa $(a, b)$	zbiór parametrów prostych zawarty w przedziałach $a \pm \Delta a, b \pm \Delta b$

Pokażmy to dla przykładowych danych z tabeli 3 pracy [1]. W celu realizacji „metody graficznej” warto skorzystać z komputera do wykonania precyzyjnego wykresu, a następnie przy użyciu linijki odszukać proste o największym i najmniejszym nachyleniu. Proste te przechodzą przez naroża prostokątów niepewności o współrzędnych (5,8; 8,9) i (10,2; 13,4) oraz (5,5; 8,55) i (8,6; 11,8). Obliczając parametry  $a$  i  $b$  prostych, znajdziemy, że są zawarte w przedziałach:  $1,02273 < a < 1,04839$ ;  $2,78387 < b < 2,96818$ .

Rezultat obliczony przy użyciu procedury iteracyjnej opisanej w pracy [1] ( $1,02271 < a < 1,04840$ ;  $2,78378 < b < 2,96827$ ) różni się nieznacznie od przedstawionego wyżej wyniku dokładnego. Zgodnie z zasadą algorytmów interwałowych, przedział obliczony numerycznie zawiera w sobie wynik dokładny.

Tożsamość „metody graficznej” i algorytmu rachunkowego nie wyklucza wielkiego znaczenia tego ostatniego dla rachunku niepewności maksymalnej. Metoda graficzna może być praktycznie użyta tylko wtedy, gdy liczba punktów jest mała, a ich niepewności – względnie duże. W pozostałych przypadkach taki czy inny numeryczny algorytm stanowi jedyny sposób implementacji tej metody dopasowania prostej.

#### 4. Dopasowanie prostej: podobieństwa rachunku interwałowego i metody najmniejszych kwadratów

##### 4.1. Punkt centralny dopasowanej prostej

W obydwu teoriach na dopasowanej prostej znajduje się jeden wyróżniony punkt, który można nazwać punktem centralnym. W teorii interwałowej jest nim

punkt przecięcia prostych o największym i najmniejszym nachyleniu.

Analogicznym punktem dla metody najmniejszych kwadratów jest środek ciężkości zbioru punktów doświadczalnych, obliczany jak środek masy układu punktów materialnych o masach jednakowych lub równych przypisanych tym punktom „wagom”.

##### 4.2. Kształt korytarza niepewności

Punktem wyjścia artykułu [1] jest anegdota o „prostej dostatecznie grubej”. Jej jednoznacznie określonym odpowiednikiem w teorii interwałowej jest korytarz niepewności – część płaszczyzny, w której mieści się zbiór prostych przechodzących przez wszystkie prostokąty niepewności. Analiza „metody graficznej” wskazuje, że korytarz ten jest ograniczony od góry i od dołu liniami łamanymi, z których każda składa się z dwu półprostych (będących fragmentami prostych o największym i najmniejszym nachyleniu) i co najmniej jednego odcinka. Punkty załamania znajdują się w wierzchołkach prostokątów niepewności. Rysunek 1 przedstawia konstrukcję korytarza niepewności dla przykładowych danych z dokumentów nowej matury [4] (analogiczny wykres dla danych [1] jest mało czytelny w skali kolumny druku w PF).

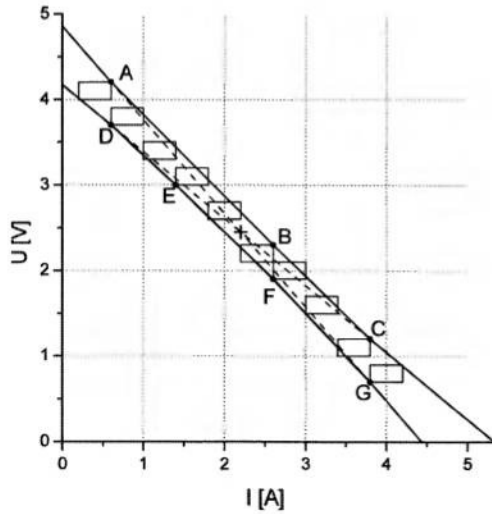
W teorii statystycznej kształt korytarza niepewności określa funkcja  $y \pm ku(y)$  z odchyleniem standardowym  $u(y)$  danym wzorem

$$u(y) = \sqrt{[xu(a)]^2 + 2xu(a)u(b)r(a,b) + [u(b)]^2}, \quad (1)$$

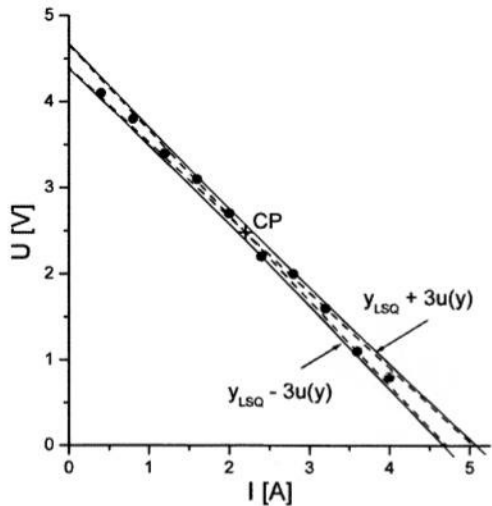
gdzie  $r(a,b)$  oznacza współczynnik korelacji. Rysunek 2 obrazuje korytarz niepewności dla punktów doświadczalnych z rys. 1 dla  $k = 3$ . Badanie funkcji



$y \pm ku(y)$  wskazuje, że granicami korytarza niepewności są gałęzie hiperboli. Nachylenia jej asymptot, przecinających się w środku ciężkości punktów doświadczalnych, są równe  $a \pm ku(a)$ .



Rys. 1. Korytarz niepewności (linia łamana) w teorii interwałowej. Wykres dla przykładowych danych z książki [4]. Linie przerywane są częściami prostych o największym i najmniejszym nachyleniu.



Rys. 2. Korytarz niepewności (hiperbola) dla metody najmniejszych kwadratów; linie przerywane przedstawiają jej asymptoty, a CP – punkt centralny. Obliczenia wykonano dla zbioru punktów o współrzędnych z rys. 1, którym przypisano (jak w przykładzie z pracy [1]) niepewności standardowe wzdłuż osi pionowej i poziomej równe 1/3 niepewności maksymalnych.

Zatem w obydwu matematycznych modelach niepewności kształt korytarza niepewności jest podobny. Szerokość korytarza jest najmniejsza w pobliżu środka zbioru punktów. Poza chmurą punktów szerokość korytarza jest liniowo (teoria interwałowa) lub asymp-

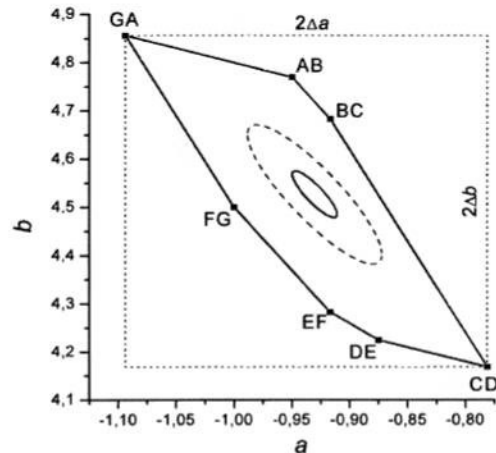
totycznie liniowo (teoria statystyczna) proporcjonalna do odległości od punktu centralnego.

Praktyczne znaczenie korytarza niepewności zależy od celu dopasowania. Najczęściej interesują nas wartości (i niepewności) jednego lub obydwu parametrów prostej. Obliczanie korytarza niepewności jest wtedy sztuką dla sztuki.

Inaczej jest, gdy celem dopasowania prostej jest wzorcowanie przyrządu pomiarowego. Na przykład, spektrometryczny detektor promieniowania rentgenowskiego i  $\gamma$  wzorcuje się przy użyciu źródeł izotopowych o znanej energii fotonów [5]. Parametry prostej  $a$  i  $b$  są potrzebne, by przeliczyć numer kanału na energię fotonu. Niepewności  $u(a)$ ,  $u(b)$  i wartość  $r(a, b)$  wzięte z osobna nie są interesujące. Natomiast ich kombinacja (1), wyznaczająca szerokość korytarza niepewności, jest istotna, gdyż określa niepewność operacji wzorcowania.

### 4.3. Obraz korelacji między parametrami dopasowanej prostej

Cenną nowością obliczeń Gutowskiego jest używany numerycznie obszar rozwiązań na płaszczyźnie parametrów  $ab$ , pokazany na rys. 2 pracy [1]. Nie dowiadujemy się, jaka to jest figura geometryczna. Nie trudno udowodnić, że jest to wielokąt o wierzchołkach, których współrzędne są parametrami prostych ograniczających korytarz niepewności (rys. 3).



Rys. 3. Obraz rozwiązań na płaszczyźnie  $ab$  parametrów prostej. W teorii interwałowej wielokąt reprezentuje obszar rozwiązań zespolonych, zaś opisany na nim prostokąt – powłokę interwałową. W teorii statystycznej pokazano elipsy niepewności dla wartości  $\sigma$  (linia ciągła) i  $3\sigma$  (linia przerywana). Obliczenia wykonano dla danych jak w przypadku rysunków 1 i 2.

Wynika to stąd, że zbiór prostych mających punkty wspólne ze zbiorem prostokątów niepewności można podzielić na podzbiory prostych: przecinających wszystkie prostokąty, przechodzących przez jeden wierzchołek i przechodzących przez dwa wierzchołki. Ich obrazem na płaszczyźnie  $ab$  są odpowiednio punkty

w wnętrzu, na krawędziach wielokąta i jego wierzchołki (por. oznaczenia wierzchołków na rys. 1 i 3). Liczba wierzchołków (co najmniej cztery) jest równa liczbie boków korytarza niepewności.

Wielokąt ten można wpisać w prostokąt  $a^- < a < a^+$  oraz  $b^- < b < b^+$ . W terminologii rachunku interwałowego obszar wielokąta reprezentuje zbiór rozwiązań zjednoczonych, a opisanego na nim prostokąta – jego powłokę interwałową.

W teorii statystycznej odpowiednikiem tego wielokąta jest elipsa [5,6]. Jeśli niepewności punktów są znane i podlegają rozkładowi Gaussa, to prawdopodobieństwo, że rzeczywiste parametry prostej znajdują się wewnątrz elipsy, wynosi 67% i 99% dla przykładowych elips na rys. 3.

Reasumując: w teorii interwałowej zbior prostych, które można przeprowadzić przez prostokąty niepewności, ogranicza para linii łamanych, którą można nazwać wielokątem otwartym, zaś w przestrzeni parametrów  $a$  i  $b$  ten zbiór rozwiązań zawarty jest w wielokącie zamkniętym. W teorii statystycznej odpowiednikami są: otwarta krzywa drugiego stopnia – hiperbola – i zamknięta krzywa drugiego stopnia – elipsa.

Kształt obszaru rozwiązań obrazuje wzajemną korelację parametrów prostej. Korelacja oznacza, że wprowadzając wartości  $a$  i  $b$  wzięte z osobna zawierają się w przedziałach  $a^- < a < a^+$  oraz  $b^- < b < b^+$ , ale nie każda kombinacja  $a, b$  jest możliwa (w teorii interwałowej) lub równie prawdopodobna (w teorii statystycznej). Dla mniejszej wartości  $a$  otrzymuje się większe  $b$  i na odwrót.

Zwróćmy uwagę, że nachylenie elipsy i wielokąta jest praktycznie takie samo! Jest tak nawet dla modelowego przykładu z pracy [1], gdy wartości parametrów uzyskanych obydwiema metodami są różne. Oznacza to, że istnienie korelacji między wartościami parametrów dopasowania jest obiektywną rzeczywistością, opisywaną w różny sposób przez konkurencyjne teorie niepewności pomiaru. Korelacja ta, niesformalizowana matematycznie, wystąpi też przy kreśleniu prostej subiektywnie dopasowanej do punktów doświadczalnych.

Istnienie i znak omawianych korelacji łatwo wytłumaczyć jakościowo. Jeżeli prosta poprowadzona zostanie (dowolną metodą) bardziej płasko (większe  $a$ ), to przetnie oś  $y$  niżej (mniejsze  $b$ ) – współczynnik korelacji jest ujemny.

## 5. Różnice między rachunkiem statystycznym i interwałowym

### 5.1. Złożoność algorytmu

W czasach przed wynalezieniem komputera bezbłędna realizacja wzorów metody najmniejszych kwadratów wymagała poważnego wysiłku i metoda graficzna była praktyczną alternatywą obliczeń. Dziś algorytm dopasowania prostej jest przedmiotem niezliczonych programów, zaś obliczenia dające wgląd we

wszystkie rezultaty pośrednie można bez trudu wykonać, korzystając z arkusza kalkulacyjnego.

Opisany przez Gutowskiego algorytm wyznaczania  $a^+$ ,  $a^-$ ,  $b^+$  i  $b^-$  jest dość skomplikowany. Brak informacji, czy da się go łatwo uogólnić na przypadek dopasowania innych funkcji. Jego zaletą jest to, że czas obliczeń zależy liniowo od liczby punktów doświadczalnych, ale tak samo jest dla metody najmniejszych kwadratów.

### 5.2. Wrażliwość na jakość informacji o niepewności danych wejściowych

Gutowski niejednokrotnie mówi o ścisłości metod interwałowych. Jest ona możliwa pod warunkiem, że znamy wartości niepewności maksymalnych. Cokolwiek sztuczny przykład liczbowy [1] pokazuje wrażliwość metody interwałowej na jakość informacji o niepewności pomiaru. Jeżeli niepewności maksymalne są tylko o 10% mniejsze – rozwiązań w ogóle nie ma. Jaki eksperymentator pozwala sobie na stwierdzenie, że niepewności, zwłaszcza systematyczne, zna z taką dokładnością?

Analogiczne własności metody najmniejszych kwadratów są zdecydowanie bardziej przyjazne dla eksperymentatora. W jej najczęściej używanym wariancie możemy w ogóle nie znać wartości niepewności pomiarowych – wystarczy założyć, że są takie same.

### 5.3. Związek procedury dopasowania i testu zgodności danych z funkcją teoretyczną

Gutowski podkreśla, że w teorii interwałowej algorytm poszukiwania rozwiązań jest jednocześnie testem zgodności danych z założeniem, że opisuje je zależność liniowa. W teorii statystycznej te dwie sprawy nie są ze sobą związane: wzory metody najmniejszych kwadratów zawsze dają pewną prostą, a dopiero potem należy ocenić, czy prosta „pasuje” do danych doświadczalnych. Można w tym celu wykorzystać testy statystyczne, ale najczęściej stosuje się subiektywną metodę oglądu wykresu (przed lub po wykonaniu dopasowania), przy czym bez trudu dostrzega się punkty obciążone błędem grubym, miejsca, w których łańcuch punktów odchyła się w sposób systematyczny od zależności liniowej, i inne anomalie.

Istotą metody naukowej jest dążenie do analizy, czyli rozdzielania złożonego zagadnienia na mniej lub bardziej niezależne części. Dlatego rozdzielanie procedury dopasowania i testu zgodności postrzegam jako zaletę. Jeszcze ważniejsze jest to, że ocenę zgodności możemy w teorii statystycznej przeprowadzić również wtedy, gdy znajomość niepewności punktów doświadczalnych jest niepełna, np. gdy znamy tylko ich wartości względne.

### 5.4. Teoria a rzeczywistość

Porównanie własności matematycznych wskazuje na wiele zalet metody statystycznej. Stopień matematycznej „wygody” nie jest jednak w fizyce argumentem za wyborem teorii. Już nierelatywistyczna mechanika

kwantowa nie może się obejść bez trudnych równań różniczkowych, zaś matematyczny formalizm teorii oddziaływań (elektrodynamika kwantowa, teoria oddziaływań elektrosłabych itp.) jest przyswajalny tylko dla garstki teoretyków. Nikt jednak nie kwestionuje prawdziwości tych teorii, gdyż wyniki obliczeń opisują ściśle eksperyment.

Dla fizyka ważnym argumentem za stosowaniem metody statystycznej jest fakt, że gdy źródłem niepewności pomiaru są fizyczne fluktuacje, teoria statystyczna jest ścisłym opisem rzeczywistości. Nieprzypadkowo prawie wszystkie przykłady z najnowszego polskiego podręcznika statystyki [5] pochodzą z fizyki jądrowej i fizyki cząstek elementarnych. Wybór między metodą interwałową i statystyczną może być przedmiotem dyskusji i rozstrzygnięć prawnych w pozostałych (dominujących liczbowo) sytuacjach, w których każda z metod pozostaje niedokładnym i niepełnym opisem zjawiska błędu pomiaru.

Metoda interwałowa może znaleźć „nizowe” obszary zastosowań, jeżeli jej zwolennicy wykażą na podstawie rzeczywistych danych doświadczalnych, że są sytuacje, w których opisuje ona zjawisko błędu pomiaru lepiej od metody statystycznej. Przykładów takich artykuł [1] nie podaje.

Jedyną liczbą pochodzącą z eksperymentu w kilkunastostrońcowym artykule jest wartość stałej grawitacji:  $G = 6,673\,90 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  z niepewnością 0,0014%. Dla tego „najnowszego pomiaru z maja 2000 r.” nie podano autorów ani odnośnika.

Czytelnik może nie znać kontekstu ostatnich pomiarów stałej grawitacji, a to pouczająca historia, znakomicie ilustrująca trudności z realistycznym szacowaniem niepewności. W roku 1986 komitet CODATA ustalił na podstawie pomiarów wykonanych do tego czasu, że wartość  $G$  wynosi  $6,673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  z niepewnością względną 0,013%. Atoli w roku 1996 Michaelis, Harris i Ausastin ogłosili wynik pozostający w zdecydowanej niezgodności z wartością przyjętą w 1986 r. Komitet CODATA, zobowiązany do ogłoszenia nowego zestawu stałych przyrody obowiązujących od roku 2000, musiał się do tego rezultatu ustosunkować. Zdecydowano pozostawić niezmienną wartość z 1986 r., ale z niepewnością standardową powiększoną dwanaście razy, do 0,15% [7].

Ogłoszenie wyniku z 1996 r. zdopingowało eksperymentatorów i „pomiar z maja 2000 r.” jest jednym z wielu wykonanych w ostatnich latach. Sugerują one, że w rezultacie Michaelisa i in. nie kryje się niestety „nowa fizyka”, lecz raczej nierozpoznany błąd systematyczny.

## 6. Wnioski dla dydaktyki: czy warto uczyć się i zapominać?

We wstępie do swego artykułu Gutowski cytuje słowa prof. Andrzeja K. Wróblewskiego z wykładu wstępnego w 1968 r., w którym „profesor kazał nam czym prędzej zapomnieć wszystko, czego dotychczas

nauczyliśmy się w szkole średniej pod hasłem »fizyka«, obiecując w zamian nauczyć nas jej całkowicie od nowa”.

Sądzę, że dawne programy, a zwłaszcza praktyka nauczania fizyki w szkole, lepiej przygotowywały do jej studiowania niż obecnie. Niemniej problem zapominania pozostaje boleśnie aktualny, jeśli chodzi o rachunek niepewności. Jego nauczanie w szkole średniej jest oparte o koncepcję niepewności maksymalnej, czyli wykorzystuje elementy rachunku interwałowego. Wykres z prostokątami niepewności, przez które maturzysta ma przeprowadzić proste o największym i najmniejszym nachyleniu, znalazł się w materiałach nowej matury [4].

Natomiast w uczelniach wyższych od dawna naucza się podejścia statystycznego, zarówno na ćwiczeniach laboratoryjnych, jak i na osobnym wykładzie nt. opracowywania danych. Wybór opisu statystycznego w Polsce sankcjonuje wprowadzenie Międzynarodowej Normy Oceny Niepewności Pomiaru.

Sytuacja ta jest frustrująca i dla nauczanych (uczniów i studentów), i dla nauczających (nauczycieli szkół i pracowników uczelni). Rozwiązania idealnego nie ma; za najlepsze uważam rezygnację w szkole średniej z nauki rachunku niepewności. Metody statystycznej nie można uczyć ze względu na brak podstaw matematycznych. Ponadto, co trzeba uczciwie powiedzieć, rachunek niepewności jest uciążliwą umiejętnością, potrzebną głównie profesjonalistom. Zdrowy rozsądek podpowiada, że każdy pomiar ma skończoną dokładność i rachunek niepewności tylko formalizuje to rozumienie (w przeciwieństwie do praw fizyki, które często przeczą zdrowemu rozsądkowi, co jest jedną z przyczyn zarówno pozytywnych, jak i negatywnych emocji, jakie budzi ta właśnie dziedzina nauki). Osoby odpowiedzialne za utrzymywanie obecnego trybu nauki niepewności pomiaru w szkołach licealnych powinny zdawać sobie sprawę, że brak decyzji w tej sprawie jest również decyzją.

## Literatura

- [1] M.W. Gutowski, *Postępy Fizyki* **53**, 181 (2002); rozszerzona wersja: [www.fuw.edu.pl/~postepy/dodatki](http://www.fuw.edu.pl/~postepy/dodatki).
- [2] A. Zięba, *Postępy Fizyki* **52**, 238 (2001).
- [3] H. Szydlowski, *Pracownia fizyczna* (PWN, Warszawa 1999).
- [4] *Informator syllabus. Matura z fizyki z astronomią 2002*, Materiały Centralnej Komisji Egzaminacyjnej (PTH „Technika”, Gliwice 2000).
- [5] R. Nowak, *Statystyka dla fizyków* (PWN, Warszawa 2002).
- [6] S. Brandt, *Analiza danych* (PWN, Warszawa 1998).
- [7] P.J. Mohr, B.N. Taylor, *Rev. Mod. Phys.* **72**, 351 (2000).

Odpowiedź Marka W. Gutowskiego na następnej stronie



## Odpowiedź Marka W. Gutowskiego

Muszę powiedzieć, że bardzo się cieszę, że: 1) poruszony przeze mnie temat został zauważony, 2) tematyka i spolszczone przeze mnie nazewnictwo zostały „kupione na pniu”. Jest to powód mojej szczerzej satysfakcji.

Zgadzam się, że mój tekst jest tendencyjny i jednostronny (albo przynajmniej sprawia takie wrażenie). Napisałem go pod wpływem zafascynowania metodami interwałowymi oraz pomysłu, który nie tylko wydał mi się bardzo dobry, ale także okazał się możliwy do realizacji. Będąc zwolennikiem poglądu, że dobre pomysły należy w pierwszej kolejności zaprezentować we własnym kraju, napisałem artykuł dla *PF*. Marzy mi się powrót do sytuacji, którą niegdyś krótko skwitował prof. Kuratowski mówiąc, że: „Polska eksportuje węgiel i twierdzenia matematyczne”. Może mógłby to być impuls dla krajowych autorów do wniesienia wielce oczekiwanego i wartościowego wkładu do analizy interwałowej, choćby w tę jej część, która jest statystyką matematyczną. Zazębienie się obu dziedzin byłoby oczywiste, gdybym zamiast „gwarantowane wyniki obliczeń” pisał wszędzie „wyniki z prawdopodobieństwem równym dokładnie 1”.

W moim artykule chodziło o coś o wiele ważniejszego, niż sama tylko analiza niepewności, coś dotyczącego – nie bójmy się wielkich słów – filozoficznych podstaw uprawiania nauk doświadczalnych oraz obiektywnych i racjonalnych sposobów wnioskowania. Zgodzimy się chyba bez dyskusji, że jest zasadnicza różnica między tym, co (naj)bardziej prawdopodobne, a tym, co być musi lub co jest całkowicie wykluczone. Analiza interwałowa należy do tzw. mocnych (ang. robust) metod statystycznych, tj. dających wyniki niezależne od konkretnego rozkładu prawdopodobieństwa, poprawne nawet w najgorszym przypadku. Ceną jest – w analizie niepewności – kompletna strata informacji o korelacjach poszukiwanych parametrów. Informacja ta jednak nie dotyczy badanego zjawiska, lecz raczej charakteryzuje nasz sposób jego opisu (czy, mówiąc bardzo skrótowo, parametry użyte do tego opisu są mniej czy bardziej ortogonalne). Cenną zaletą interwałowej analizy niepewności jest jej „bayesowski charakter” –

widać jak na dłoni, które pomiary powiększają naszą wiedzę, a które nie wnoszą nic nowego.

Odniosę się teraz, z braku miejsca, jedynie do niektórych uwag krytycznych [zawartych w dodatku do artykułu A. Zięby – red.], pozostawiając inne ocenie Czytelników, co jednak nie oznacza, że się z każdą z nich zgadzam.

Sprawdzenie, że niepewności są „małe” (punkt d). Porównanie „rzeczywistego przyrostu funkcji (...) i przybliżającej tej przyrost różniczki” rozwiąże problem, jeśli przedstawione zostanie konkretne kryterium liczbowe odróżniające wielkości „małe” od pozostałych, zwłaszcza w przypadku, gdy  $y$  jest równe zeru.

O wagach (punkt f). Trwam przy swoim, gdyż stwierdzenie, że są one „obiektywnie obliczane”, na przykład są „odwrotnie proporcjonalne do kwadratów  $u(y_i)$ ” nie wyczerpuje problemu. Znane i stosowane są inne procedury nadawania wag, równie dobrze uzasadnione statystycznie – a to oznacza świadomy wybór, czyli jednak dowolność.

Poprawki numeryczne (punkt j). Powstały one na skutek nieprawdopodobnego „wypadku przy pracy” (znanego Redakcji) i konieczności gruntownej przeróbki końcowych partii artykułu nieomal w trakcie druku artykułu. Pełna odpowiedzialność spada tu na autora.

Analiza niepewności z pewnością bardzo wiele skorzysta z nowego narzędzia pod nazwą „analiza interwałowa”. Problematyka jest, ogólnie mówiąc, niełatwa, czego objawem jest m.in. treść punktu 5.2 artykułu Andrzeja Zięby. Konkretnie, jedynie słuszne i gotowe do natychmiastowego użytku recepty jeszcze nie istnieją. Jestem głęboko przekonany, że ich powstanie to jedynie kwestia czasu. Początek już został zrobiony; wierzę, że ciąg dalszy nastąpi. Artykuł mojego Adwersarza, z interesującym, lecz wymagającym przestudiowania pojęciem „punktu centralnego”, który w istotny sposób zmienia kształt korytarza niepewności, pozwala żywić nadzieję na oryginalny, polski wkład w tę piękną i ważną dziedzinę.

Marek W. Gutowski  
Instytut Fizyki PAN  
Warszawa



## Oddział Warszawski

(dokończenie ze strony 94)

cji naukowej, a w zawodach finałowych obowiązuje język angielski. XV Międzynarodowy TMF odbył się w Odessie w dniach 23–30 maja 2002 r. z udziałem drużyn z osiemnastu krajów. Drużyna z XIV LO im. Stanisława Staszica w Warszawie zdobyła pierwsze miejsce, a drużyna Polska–Katowice miejsce trzecie. XV MTMF był sfinansowany przez Ministerstwo Edukacji Narodowej i Sportu, Fundację J&S Pro Bono Poloniae, Fundację Bankową im. L. Kronenberga oraz w niewielkim stopniu przez OW PTF. Organizacją TMF zajmuje się od wielu lat dr Andrzej Nadolny – obecnie sekretarz generalny Turnieju. Niewątpliwą zasługą dr Andrzeja Nadolnego było i jest zdobywanie funduszy na organizację Turnieju. Informacje o nim można znaleźć na stronie internetowej: [ptf.fuw.edu.pl/tmf.html](http://ptf.fuw.edu.pl/tmf.html).

W czasie swych posiedzeń Zarząd Oddziału wielokrotnie dyskutował kwestię jakości szkolnych podręczników fizyki i innych przedmiotów ścisłych. W celu umożliwienia wymiany informacji o tych książkach utworzono internetowy katalog podręczników „Kopernik” (organizator: dr hab. Stanisław Głazek, prof. UW). Został on udostępniony publicznie przez OW PTF, co powinno ułatwić eliminację z rynku podręczników słabych pod względem merytorycznym i dydaktycznym. Katalog zawiera obecnie kilkaset pozycji z fizyki, astronomii, chemii, matematyki i umożliwia umieszczanie nowych pozycji i recenzji. Recenzje są punktowane w skali 1–6. Informacje o stronie internetowej zostały zamieszczone w *Postęпах Fizyki, Fizyce w Szkole* oraz przesłane do Zarządu Głównego PTF. Oddział Warszawski PTF podjął decyzję dotyczącą udzielania rekomendacji, przy współpracy z wydawnictwami, dla dobrych podręczników fizyki.

Z inicjatywy ZG PTF powstała komputerowa baza danych jego członków. Nowy adres internetowy PTF: <http://ptf.fuw.edu.pl>. Adres bazy danych – z dodaniem litery s: <https://ptf.fuw.edu.pl>.

Dzięki inicjatywie prof. J. Baranowskiego Zarząd Oddziału pozyskał fundusze na realizację wielu przedsięwzięć i zadań statutowych. W roku 2002 Zarząd uzyskał nowego sponsora: Naukową i Akademicką Sieć Komputerową.

Aleksandra Miłosz



## Oddział Zielonogórski

19 lutego 2003 roku odbyło się posiedzenie naukowe Oddziału Zielonogórskiego PTF. Obecnie liczy on 66 członków. Na posiedzeniu tym dr hab. Włodzimierz Kluźniak, prof. UZ, wygłosił wykład (z okazji rocznicy urodzin Mikołaja Kopernika) pod tytułem „Wszechświat Kopernika a Wszechświat współczesny”.

Po referacie odbyło się Walne Zebranie Członków Oddziału, na którym dokonano wyboru przewodniczącego, członków Zarządu oraz Komisji Rewizyjnej. W wyniku przeprowadzonego głosowania przewodniczącym został Andrzej Więckowski.

Zarząd Oddziału ukonstytuował się w następującym składzie: przewodniczący – Andrzej Więckowski; wiceprzewodniczący – Roman Gielerak; sekretarz – Lidia Kozdrowska; skarbnik – Napoleon Maron; członkowie Zarządu – Czesław Bezdel, Ewa Królczyk, Anatol Nowicki, Paweł B. Szczaniecki.

Skład Komisji Rewizyjnej jest następujący: przewodniczący – Marian Olszowy; członkowie – Jadwiga Fojt-Jasińska, Wanda Wojtowicz.

Oto niektóre z ważniejszych zadań Oddziału: 1) staramy się pozyskać informacje, czy upamiętniono w jakiś sposób pracę Ernesta Isinga w Krośnie Odrzańskim; 2) zbieramy informacje na temat niemieckiego fizyka, filozofa i psychologa Gustava Fechnera oraz jego związku z Żarami; 3) Oddział pragnie wprowadzić w życie akcję odczytową, mającą na celu popularyzowanie fizyki wśród młodzieży szkolnej; 4) będziemy kontynuować zapraszanie wykładowców na seminaria naukowe odbywające się w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Członkowie Oddziału są albo pracownikami naukowymi Uniwersytetu Zielonogórskiego, albo nauczycielami w lubuskich szkołach ponadpodstawowych. Cieszymy się z faktu, że skupiamy już licznych nauczycieli, którzy mogą rozwinąć działalność w ramach koła nauczycielskiego przy naszym oddziale.

W roku 2002 liczba prenumerat *Postępow Fizyki* wzrosła do 23.

Dzięki wspólnej pracy i wysiłkowi prof. Szczanieckiego, mgra Grzegorza Spichała i mgra Adama Drzewieckiego mamy już własną stronę internetową, którą można wywołać przez adres PTF-u lub UZ. Uwaga: nastąpiła zmiana adresu siedziby Oddziału. Nowy adres: Oddział Zielonogórski PTF, ul. Szafrana 4a, 65-516 Zielona Góra.

Justyna Jankiewicz



## Konwersatorium w Katowicach

Po wstrząsającej tragedii promu kosmicznego Columbia oczywistą rzeczą było zadanie pytania, czy człowiek powinien – już nie po raz pierwszy – ponosić tak wielkie ofiary na drodze do wiedzy o... no właśnie, o czym? Nie ulega wątpliwości, że chodzi o cały Wszechświat, ale czy zdajemy sobie sprawę, na jakim etapie wiedzy o nim dziś jesteśmy? Ze względu na liczbę „wtajemniczonych” polskich astronomów i kosmologów, chyba niezbyt dużą (ok. 200) w porównaniu z liczbą fizyków z innych uprawianych w naszym kraju dziedzin, naturalna wydaje się potrzeba zajrzenia do ich laboratoriów. Dlatego Oddział PTF w Katowicach postanowił zorganizować (8 kwietnia 2003 r.) konwersatorium poświęcone

współczesnym problemom badań Kosmosu. Zaproszenie do podzielenia się swoją ogromną wiedzą zechciał przyjąć prof. Andrzej Woszczyk z Centrum Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, kierownik Katedry Astronomii i Astrofizyki, prezes Polskiego Towarzystwa Astronomicznego oraz redaktor naczelny *Uranii – Postępów Astronomii*.

Już na samym początku prof. Woszczyk zauważył, że w świetle ogromnego bogactwa informacji i dostępu do technicznych środków obserwacji niezwykle zrozumiale brzmi dziś stwierdzenie amerykańskiego astronoma Simona Newcomba z 1889 r., że „prawdopodobnie jesteśmy u granic poznania świata” (sic!). Podczas gdy w XIX w. poradziliśmy sobie z wyciąganiem wniosków z pomiaru kierunków promieniowania docierającego z czeluści Wszechświata, a w XX w. zrozumieliśmy naturę promieniowania i poznaliśmy bliżej naszą Galaktykę oraz jej sąsiadki, to początek XXI w. już przyniósł niezwykle ambitne plany zrozumienia geometrii zawartości Kosmosu oraz chęć dalekiego w nim podróżowania. Nieobce są też nadzieje odkrycia form życia pozaziemskiego, podobnych do spotykanych na Ziemi. Ponieważ od niedawna mamy do dyspozycji aparaturę rejestrującą całe widmo promieniowania elektromagnetycznego, od promieniowania  $\gamma$  (o energii rzędu MeV) począwszy, a na falach radiowych (ok.  $10^{-7}$  eV) kończąc, możemy systematycznie weryfikować hipotezę Wielkiego Wybuchu. Wciąż istnieje przecież obszar widma odpowiadający nieznananej astronomii związanej z ciemną materią (stanowiącą ponad 70% materii Uniwersum), której natura – mimo niedawnego odkrycia masy neutrin – wciąż pozostaje zagadką.

Profesor Woszczyk w wykładzie „Współczesne problemy badań Kosmosu” we frapujący sposób przedstawił Wszechświat jako laboratorium, w którym prowadzimy dziś badania (poszukiwania) m.in. nad falami grawitacyjnymi, których obiecującym źródłem może być układ podwójnego pulsara (Nagroda Nobla za jego odkrycie w 1993 r. dla R.A. Hulse'a i J.H. Taylora, Jr.), czy magnetarami, obiektami wytwarzającymi pola magnetyczne o natężeniu  $10^{11}$  Gs i o temperaturze rzędu miliardów K. Budujemy interferometr kosmiczny SIM, by odkrywać planety podobne do Ziemi, lecz krążące wokół odległych gwiazd. Wszechświat jest jedynym w swoim rodzaju laboratorium penetrowania i odgadywania zjawisk, jakie zaszły w skali czasowej od  $10^{-44}$  s (kiedy obowiązywały już znane nam dziś prawa fizyki) do  $13 \cdot 10^9$  lat, które upłynęły od „chwili zero” Wielkiego Wybuchu. I jest to wreszcie laboratorium, w którym nie ma już wątpliwości co do tego, że Wszechświat jest strukturą nie tyle wielko-

skalową, co przede wszystkim niejednorodną. Wciąż jest ono wzbogacane instrumentami badawczymi w postaci teleskopów naziemnych (VLT w Ameryce Południowej) i tych pracujących w przestrzeni odległej często ponad 1.5 mln km od Ziemi; najbardziej znane to teleskopy Hubble'a, Compton Gamma Observatory, Chandra i SOHO. W kwietniu br. planowano umiejscowienie na orbicie kolejnego satelity SIRTf pracującego w zakresie podczerwieni. W tym miejscu nie można nie zauważyć obecności polskich astrofizyków i astronomów w prowadzonych na świecie badaniach Kosmosu (np. satelita INTEGRAL badający obecnie wysokoenergetyczne promieniowanie  $\gamma$  jest wyposażony m.in. w aparaturę wyprodukowaną i wykorzystywaną przez Polaków) i naszym udziale w budowie nowych instrumentów, jak 10-metrowy teleskop SALT w RPA.

Poruszanie tych zagadnień musiało wyrzucić wrażenie na osobach obecnych na konwersatorium, w tym także na licznej grupie studentów. W sytuacji niepokojącej obojętności i braku wysiłku zainteresowania środowiska akademickiego i szkolnego wydarzeniami nienależącymi do obowiązkowych, obecność na konwersatorium 50 osób może napawać (ostrożnym) optymizmem. Potwierdzeniem może być także fakt, iż dyskusja po wystąpieniu prof. Woszczyka trwała niemal tyle samo, co jego niezwykle interesująca, ponadgodzinna prezentacja. A warto było jej posłuchać, by – jak zauważył prof. Wiktor Zipper – przypomnieć sobie, że bez trudnych i żmudnych ziemskich badań, m.in. z zakresu fizyki jądrowej, nie potrafilibyśmy interpretować bogactwa sygnałów docierających z tamtych lat życia Wszechświata. Warto było dowiedzieć się o tzw. aktywnej i adaptacyjnej optyce, niezwykle wyrafinowanych technikach odzyskiwania czystych kosmicznych obrazów i widm elektromagnetycznych, docierających na Ziemię w postaci zniekształconej po przejściu przez otaczającą ją atmosferę. A ponieważ nauki bez odpowiednich pieniędzy uprawiać się nie da (nie chodzi tutaj o apanaże w szkolnictwie wyższym czy wysokość stypendiów doktoranckich), i ten wątek został poruszony. Dotknięto go jednak w kontekście następującego problemu: czy zapis elektromagnetycznego języka Wszechświata powinien odbywać się tu na Ziemi, bo taniej i z pewnością bezpieczniej, czy też bardziej bezpośrednio w Kosmosie, ale znacznie drożej i niewątpliwie ryzykowniej? Chyba trudno spodziewać się, by tragedia Columbi wstrzymała trwającą, a może dopiero co rozpoczętą, eksplorację Kosmosu. Może ona ją co najwyżej nieco opóźnić.

Krystian Roleder



## Zastosowania procesów stochastycznych

W dniach 21–23 maja 2002 r. odbyło się w Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy międzynarodowe sympozjum z fizyki statystycznej „Stochastic Processes Applied to Complex Systems: Computational Endeavors vs Conceptual Frontiers”. Było ono poświęcone zastosowaniu procesów stochastycznych w zagadnieniach fizykochemicznych, biofizycznych i pokrewnych, w których główną rolę odgrywają takie cechy, jak złożoność, nieliniowość czy też losowy charakter analizowanego procesu. Rozwiązania zagadnień ujętych w tematyce Sympozjum mają praktyczne zastosowanie w nanotechnologii, mikroelektronice, inżynierii materiałowej i biotechnologii molekularnej. W Sympozjum uczestniczyło grono badaczy z Niemiec, Szwajcarii, Włoch, Hiszpanii, Belgii, Stanów Zjednoczonych i Polski, uprawiających wymienione dziedziny nauki i techniki.

Jednym z głównych tematów było zastosowanie procesów stochastycznych do opisu konkretnych mechanizmów z zakresu biologii molekularnej. Martin Bier (East Carolina University, Greenville, USA) przedstawił model opisujący poruszanie się motoru molekularnego – kinezy – wzdłuż mikrotubuli. To fascynujące zjawisko, które od kilkunastu lat przyciąga uwagę nie tylko biologów, ale i fizyków, nadal nie ma zadowalającego wyjaśnienia teoretycznego. Jednym z podstawowych dylematów jest kwestia, czy ruch kinezy jest rektyfikowanym ruchem dyfuzyjnym (ang. Brownian ratchet), czy też jest ruchem deterministycznym, w którym dyfuzja odgrywa drugorzędną rolę. Bier przedstawił model zgodny z wynikami doświadczalnymi, w którym obydwie koncepcje współistnieją ze sobą. Kolejnym zagadnieniem, w którym fizyka i biologia się zająbiają, jest problem zwijania się białek. Wystąpienie Marka Cieplaka (Instytut Fizyki PAN) dotyczyło ograniczeń, jakie termodynamika nakłada na wielkość białek, oraz skalowania procesu zwijania w zależności od długości łańcucha peptydowego. Efekt krzywizny w procesach wzrostu w dwóch wymiarach, mający zastosowanie m.in. w opisie biomembran, przedstawił Adam Gadomski (ATR, Bydgoszcz).

Pozostałe wykłady zapoznawały słuchaczy z podstawowymi zagadnieniami z teorii procesów stochastycznych. Peter Talkner (Paul Scherrer Institut, Villigen) w wykładzie pt. „Proste rozwiązanie pozornie skomplikowanego problemu” przedstawił analityczne rozwiązanie problemu czasu przebiegu niestacjonarnego procesu Markowa. Pojęcie uogólnionej fazy w układach stochastycznych, szczególnie przydatne do opisu zjawisk synchronizacji i koherencji, zostało omówione przez Jana Freunda (Uniwersytet Humboldta, Berlin). Dużą popularnością cieszył się problem oddziałujących cząstek Browna. Różnych aspektów tego zagadnienia dotyczyły aż trzy wykłady: Christiana Van den Broecka (Limburgs Universitair Centrum, Diepenbeek, Belgia), Ryoichiego Kawai (University of Alabama) i Marcina Kostura (University of

Maine). Omówiono takie interesujące zjawiska mogące zachodzić w układach złożonych, jak negatywna mobilność, histereza, stany oscylacyjne czy synchronizacja.

Kolejnym tematem poruszonym w trakcie Sympozjum były układy pobudliwe, które są matematycznym modelem m.in. fal chemicznych. Francesco Sagués (Universidad de Barcelona) pokazał różnorodność zachowań podczas propagacji takiej fali przez ośrodek, w którym zachodzi czuła na światło reakcja Biełousowa-Żabotyńskiego. Zostały przedstawione zarówno wyniki doświadczeń, jak i symulacje oparte na odpowiednich modelach numerycznych. Lutz Schimansky-Geier (Uniwersytet Humboldta, Berlin) przedstawił wpływ szumu na układy pobudliwe w zastosowaniach do modelu akcji neuronowej oraz propagacji fal  $Ca^{2+}$ , generowanych przez kanały jonowe w komórkach biologicznych.

Sympozjum obfitowało także w wykłady obejmujące analizę numeryczną uprzednio opisanych zagadnień. Riccardo Mannella (Uniwersytet w Pizie) zwrócił uwagę na subtelne problemy, które pojawiają się podczas numerycznego całkowania równań stochastycznych. Witold Dźwiniel (Katedra Informatyki AGH, Kraków) poruszył zagadnienie dopasowania do siebie symulacji przeprowadzanych w różnych skalach rozdzielczości: mikroskopowej (dynamika molekularna i metody Monte Carlo) oraz makroskopowej (dynamika cieczy). Wykład został zilustrowany konkretną realizacją wielopoziomowego modelu symulacji cieczy złożonej, stworzoną w Minnesota Supercomputing Institute. Krzysztof W. Wojciechowski (Instytut Fizyki Molekularnej PAN, Poznań) przedstawił podejście numeryczne metodą Monte-Carlo w zastosowaniu do materiałów o anomalnej sprężystości. Jerzy Górecki (Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa) omówił metodę wyznaczania korelacji przestrzennej reagentów podczas nierównowagowej reakcji chemicznej, potwierdzoną przez symulacje dynamiki molekularnej. Marco Dressler (Instytut Polimerów i Centrum Reologii ETH, Zurych) zaprezentował termodynamicznie spójne równania ewolucji dynamiki molekularnej układów nierównowagowych z możliwością ich realizacji numerycznych.

Tematyka gazów ziarnistych (np. pyłu międzygalaktycznego) została poruszona przez Thorstena Poeschela (Uniwersytet Humboldta, Berlin). Przedstawił on zgodną z symulacjami komputerowymi kinetyczną teorię gazu ziarnistego, która nie tylko przewiduje tworzenie się takich struktur, jak klastery, ale podaje również dynamikę tych procesów.

Na konferencji przedstawiono także kilkanaście plakatów, których tematyka obejmowała szeroki zakres zagadnień: od zastosowań procesów stochastycznych w biologii molekularnej do złożonych systemów dynamicznych. Wybrane wykłady oraz jeden wyróżniony plakat zostały opublikowane w listopadowym numerze z 2002 r. czasopiisma *International Journal of Modern Physics C*. Ponadto do *Postępów Fizyki* zostanie złożony przeglądowy artykuł Martina Biera, dotyczący motorów molekularnych.

Należy także nadmienić, że Sympozjum, nieoficjalnie nazwane przez organizatorów „JL-S '50”, miało również na celu, oprócz czysto naukowych zadań, uczczenie 50. rocznicy urodzin prof. dr. hab. Jerzego Łuczki z Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach – znanego specjalisty w zakresie procesów losowych. Prof. Łuczka przedstawił krótki wykład – wprowadzenie do tematyki JL-S '50. Wypada w tym miejscu zauważyć, że tematyka Sympozjum obejmowała dwa intensywnie rozwijane przez Profesora i jego współpracowników zakresy tematyczne: 1) zjawiska losowe i procesy stochastyczne; 2) procesy wzrostu i przemiany fazowe ([luczka.phys.us.edu.pl/luczka/](http://luczka.phys.us.edu.pl/luczka/)). Prezentem urodzinowym dla prof. Łuczki były dwa wykłady-niespodzianki, przygotowane przez Ewę Gudowską-Nowak z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego (o zagadnieniu fluktuującej bariery) oraz Janusza Hołysta z Politechniki Warszawskiej (zastosowanie rezonansu stochastycznego w spektroskopii fraktalnej).

Organizatorzy pragną wyrazić serdeczne podziękowania sponsorom, bez których zorganizowanie Sympozjum nie byłoby możliwe: Fundacji na Rzecz Rozwoju Akademii Techniczno-Rolniczej, Prorektorowi ds. Nauki ATR Bydgoszcz, Instytutowi Matematyki i Fizyki ATR oraz World Scientific and Imperial College Press. Głównym organizatorem był Adam Gadomski (ATR, Bydgoszcz), a współorganizatorem – autor niniejszej notatki.

*Marcin Kostur*

Department of Physics and Astronomy  
University of Maine  
USA

## EURODIM 2002

Dziewiąta „Europhysical Conference on Defects in Insulating Materials” EURODIM 2002 była międzynarodową konferencją naukową zorganizowaną przez Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN przy współudziale Instytutu Fizyki Politechniki Wrocławskiej; odbyła się w gmachu głównym Politechniki w dniach od 30 czerwca do 5 lipca 2002 r. Jej otwarcie zaszczycili swą obecnością: Stanisław Huskowski, prezydent Wrocławia, dr Peter Ohr, konsul generalny Niemiec, prof. Andrzej Mulak, rektor PWr, i prof. Andrzej Jeżowski, dyrektor INTiBS PAN ds. naukowych. Przedsięwzięcie było wspólnym dziełem wrocławskiego środowiska naukowego, fizyków, chemików i badaczy zajmujących się technologią materiałową, dla których istotne jest poznanie mechanizmów i procesów decydujących o zależnych od struktury właściwościach dielektryków, jak również poszukiwanie nowych materiałów o właściwościach pożądanym w różnych dziedzinach współczesnej techniki. Przewodniczącą Komitetu Organizacyjnego Konferencji była autorka tego sprawozdania.

Program cyklu konferencji, z których pierwsza odbyła się w 1956 r. w Argonne (USA), był początkowo poświęcony centrom barwnym w kryształach halogenków metali alkalicznych. W czasie konferencji w Gatlinburgu

(USA) w 1977 r. tematyka ta została rozszerzona na wszelkie defekty w materiałach z szeroką przerwą energetyczną. Natomiast w roku 1973 w Marsylii odbyła się pierwsza europejska edycja tych spotkań, które aktualnie odbywają się co 2 lata na przemian z edycją światową (International Conference on Defects in Insulating Materials, ICDIM). Konferencje poprzedzające tegoroczne spotkanie odbyły się w Keele (Anglia, EURODIM 1998) i w Johannesburgu (RPA, ICDIM 2000).

Głównym celem tegorocznej konferencji było przedstawienie najnowszych osiągnięć w badaniach podstawowych i zastosowaniach we wszystkich liczących się ośrodkach naukowych zajmujących się tą tematyką na świecie, wymiana doświadczeń, nawiązanie nowych kontaktów i zaproszenie możliwie dużej liczby młodych badaczy. W czasie spotkań panelowych dyskutowane były również możliwości współpracy naukowej i szkoleniowej w ramach istniejących porozumień międzynarodowych i unijnych programów badawczych.

Program naukowy konferencji obejmował następujące zagadnienia dotyczące nowych materiałów i technologii oraz nowoczesnych technik pomiarowych: 1) teorię defektów i modelowanie; 2) defekty punktowe w izolatorach, defekty radiacyjne, centra barwne, spektroskopię; 3) defekty związane z domieszkami ziem rzadkich; 4) dyslokacje, granice międzyfazowe, powierzchnię, katalizę; 5) scyntylatory, materiały fotorefrakcyjne, nieliniowe zjawiska optyczne; 6) materiały laserowe, holografię; 7) materiały ceramiczne i supertwarde; 8) kryształy jonowe i układy nanowymiarowe; 9) SiO<sub>2</sub>, szkła, zole-żele, układy nieuporządkowane; 10) bardzo szybkie procesy, ekscytyny i dynamikę stanów wzbudzonych; 11) reaktywność, procesy transportu, przemiany fazowe; 12) nowe zjawiska, zastosowania.

Uczestnicy konferencji (212 osób), pochodzący z 39 krajów i 5 kontynentów, reprezentowali jednostki akademickie i badawcze laboratoria przemysłowe. W gronie tym było ok. 50 studentów i doktorantów. Polska była reprezentowana przez 42 naukowców, z czego 9 to młodzi lub bardzo młodzi badacze. Zaproszenie 34 wykładawców z najlepszych ośrodków naukowych Europy, obu Ameryk, Azji i Afryki oraz liczne uczestnictwo bardzo młodych badaczy zarówno z Polski, jak i z innych krajów Europy Wschodniej i Środkowej, było możliwe w znacznej mierze dzięki pozyskaniu dodatkowych funduszy. Wsparcia finansowego udzieliły organizatorom konferencji przede wszystkim polskie instytucje naukowe: Komitet Badań Naukowych i Polska Akademia Nauk, Polskie Towarzystwo Fizyczne, Komitet Chemii, Komitet Fizyki i Komitet Krystalografii. Sponsorami przedsięwzięcia były również macierzyste instytucje organizatorów, lokalne władze miasta, Fundacja Bankowa im. Leopolda Kronenberga, Europejskie Towarzystwo Fizyczne, wydawca Taylor & Francis Ltd. oraz US Army Research Laboratory. Jestem przekonana, że wszelkie wspieranie rozwoju nauki zasługuje na pochwałę i wdzięczność całego środowiska naukowego w Polsce.

Wszystkie prace przedstawione na konferencji były recenzowane przez członków Komitetu Programowego oraz Doradczego i są lub będą opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (*Radiation Effects and Defects in Solids*, wyd. Taylor & Francis, Anglia); pierwszy tom publikacji ukazał się pod koniec roku 2002. Wydano również streszczenia wszystkich zaakceptowanych komunikatów; uczestnicy konferencji otrzymali je w momencie rejestracji.

Konferencja, która po raz pierwszy odbyła się w kraju leżącym w Europie Środkowej lub Wschodniej, stanowiła promocję nauki polskiej, Polski i regionu dolnośląskiego wraz z jego stolicą Wrocławiem. Okazją do nawiązania kontaktów były nie tylko wykłady, sesje plakatowe i warsztaty na tematy zaproponowane przez wybitnych gości. Służyły temu również nieformalne spotkania towarzyskie, o jakie zadbali organizatorzy. W czasie

trwania konferencji odbyły się: wycieczka w Góry Stołowe, piknik, spotkanie z prof. Andrzejem Łosiem, wiceprezydentem miasta, i dr. Maciejem Łagiewskim, dyrektorem Muzeum Miejskiego, w Sali Wielkiej Ratusza oraz uroczysty obiad w zabytkowych wnętrzach Muzeum Architektury.

Podczas wielu rozmów bezpośrednich oraz w listach elektronicznych uczestnicy Konferencji wyrażali uznanie dla wysokiego poziomu i doskonałej organizacji tego przedsięwzięcia naukowego, jak również dla urody kraju i wielkiej życzliwości Polaków, z którymi mieli możliwość się zetknąć podczas programu spotkań nieformalnych.

Maria Suszyńska

Instytut Niskich Temperatur  
i Badań Strukturalnych PAN  
Wrocław

## RECENZJE

### Wprowadzenie do teorii chaosu

J.R. Dorfman: *Wprowadzenie do teorii chaosu w nierównowagowej mechanice statystycznej*, przekład z jęz. angielskiego A. Majhofer, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001, s. 236.

Matematycy mają hipotezę Riemanna i hipotezę Goldbacha jako wyzwania dla najbardziej ambitnych, a fizycy – hipotezę ergodyczną (ciekawe, że nie nosi ona nazwy „hipotezy Boltzmanna”, od nazwiska jej twórcy Ludwika Boltzmanna), której udowodnienie może przynieść sławę i nieśmiertelność. Problem ten liczy ponad sto lat (jest prawie rówieśnikiem hipotezy Riemanna) i doczekał się wielu opracowań książkowych oraz nieprzeliczonej liczby artykułów, prac doktorskich czy habilitacyjnych. Jest wiele sformułowań hipotezy ergodycznej. W skrócie mówi ona, że średnia zmiennej dynamicznej względem zespołu statystycznego jest równa średniej po czasie. Leży ona u podstaw mechaniki statystycznej i związana jest z kilkoma pokrewnymi zagadnieniami. Jednym z nich jest wyjaśnienie, jak to jest możliwe, że odwracalne w czasie mikroskopowe równania ruchu prowadzą w dużej skali do nieodwracalnego zachowania się układów dużej liczby cząstek i skąd się bierze w takim razie II zasada termodynamiki mówiąca o wzroście entropii. Boltzmannowi udało się udowodnić malenie z czasem pewnej wielkości  $H$ , przy czym skorzystał on z wyprowadzonego przez siebie równania kinetycznego, obecnie nazywanego równaniem Boltzmanna.

Recenzowana książka jest poświęcona właśnie tym zagadnieniom. Nie będę tutaj przytaczać tytułów wszystkich 19 rozdziałów, wymienię tylko następujące zagadnienia: równanie Boltzmanna, hipoteza ergodyczna, mieszanie, wzory Greena–Kubo, przekształcenie piekarza, wykładniki Lapunowa, równanie Frobeniusa–Perrona, dyfu-

zja i zjawiska transportu, entropia Kołmogorowa–Sinaja, podkowa Smale'a, fraktale, orbity okresowe, gazy sieciowe (Lorentza). Jak widać z tego wyliczenia, poruszono w książce dużo tematów, co przy małej objętości (w zasadzie 220 stron) oznacza skrótowy charakter prezentacji materiału, z wieloma dowodami tylko naszkicowanymi. Często w tekście można spotkać zdanie typu „Czytelnika odsyłamy do cytowanych prac w celu poznania szczegółów”.

Czytając książkę Dorfmana zastanawiałem się, dla kogo jest napisana. Na okładce można przeczytać: „Książka przeznaczona jest dla studentów, doktorantów i pracowników naukowych wydziałów fizyki i kierunków pokrewnych...”. Otóż wydaje mi się, że nie można jej polecić studentom, bo się niewiele z niej nauczą – to nie jest podręcznik, lecz raczej zbiór esejów czy pogawędek na temat zadany przez tytuł rozdziału. Aby odnieść korzyść z tej książki, trzeba już coś wiedzieć; tutaj dobrym wprowadzeniem mogą być 2 tomy *Fizyki statystycznej* Kubo, Tody i Saity wydane 10 lat temu po polsku przez PWN. *Wprowadzenie do teorii chaosu* Dorfmana to w zasadzie przewodnik po obszernej literaturze przedmiotu; każdy rozdział kończy się paragrafem zatytułowanym „Literatura uzupełniająca”, a bibliografia zajmuje aż 9 stron, czyli 5% całej książki. Ponadto cały 19. rozdział zatytułowany „Co dalej?” jest kolejnym omówieniem książek i artykułów. Tak więc książka jest dobrym wprowadzeniem do problematyki związanej z hipotezą ergodyczną i równaniem Boltzmanna. Kierując się wskazówkami w niej zawartymi, można rozpocząć samodzielne studia podstaw fizyki statystycznej. Na końcach rozdziałów zamieszczono też po 2–3 zadania. Przy ok. 200 stronach objętości rozbicie materiału na 19 rozdziałów powoduje, że są one krótkie. Jako ekstremalny przykład może służyć liczący kilka zdań paragraf 15.3.



Zdziwiło mnie, a zarazem zdenerwowało umiłowanie przez Dorfmana litery  $\Gamma$ . Raz  $\Gamma$  oznacza przestrzeń fazową (np. s. 65 albo s. 107), innym razem punkt w przestrzeni fazowej (w wielu miejscach, np. s. 115), a w paragrafie 2.1 występują wielkości  $\Gamma_f, \Gamma_-, \Gamma_+, \Gamma_w$  na oznaczenie różnych wkładów do zmiany funkcji rozkładu podczas wyprowadzania równania Boltzmanna. Student, szczególnie początkujący, łatwo się w tym może pogubić.

Uważam, że książka jest bardzo dobrze przetłumaczona na język polski. Jedynie „box counting dimension” Andrzej Majhofer tłumaczy systematycznie jako „wymiar zliczania komórek”, podczas gdy lepiej byłoby użyć określenia „wymiar pudełkowy”. Takiego właśnie zwrotu użyto np. w dwutomowej książce H.-O. Peitgena, H. Jürgensa i D. Saupego, *Granice chaosu. Fraktale* (przekład K. Pietruskiej-Pałuby i K. Winkowskiej-Nowak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, 1996). W dobie komputerowych słowników ortograficznych dziwi obecność kilku błędów literowych, np. na s. 176<sup>10</sup> wydrukowano „dotatniej” zamiast dodatniej, a na s. 194<sup>10</sup> zgubiono jedno z i można przeczytać „jeszcze”. Natomiast na s. 52<sup>11</sup> zamiast (2.3) powinno być (3.2), a na s. 210<sub>1</sub> zamiast (18.8) wydrukowano (18.18).

W obecnych czasach malejących nakładów finansowych na naukę i zamrożonych płac oraz rosnących cen książek wydaje mi się, że recenzja powinna doradzić, czy książkę warto kupić. Według mnie biblioteka każdego instytutu fizyki powinna mieć ze 2–3 egzemplarze tej książki, natomiast włączenie jej do księgozbioru prywatnego wiąże się z wydatkiem 33 złotych, myślę więc, że osoby o skromnych dochodach mogą poczekać z jej kupnem na kolejną przecenę organizowaną co jakiś czas przez PWN.

Marek Wolf

Instytut Fizyki Teoretycznej UWr  
Wrocław

## Niedokończona rewolucja Einsteina

Paul Davies: *Czas. Niedokończona rewolucja Einsteina*, przekład z jęz. angielskiego Leszek Kallas; Prószyński i S-ka, Warszawa 2002, s. 336.

Trzem najważniejszym dla współczesnej kosmologii monografiom: *Gravitation and Cosmology* Weinberga, *The large scale structure of space-time* Hawkinga i Ellisa oraz *Quantum Fields in Curved Space* Birrelli i Daviesa towarzyszą trzy książki popularne napisane przez tych samych autorów. Dwa pierwsze to bestsellery *Pierwsze trzy minuty* Weinberga i *Krótką historią czasu* Hawkinga, trzecia – to omawiana tutaj książka Daviesa. Wszystkie trzy dotyczą czasu i każda z nich ma coś zwodniczego w tytule: trzy minuty, o których mówi Weinberg, zapewne nie są pierwsze, historia czasu nie jest krótka, a rewolucja Einsteina jest w istocie dokończona. Dokończona, bo zaowocowała dwiema kompletnymi teoriami: szczególną i ogólną teorią względności (pierwsza z nich na dodatek domyka teorię elektromagnetyzmu). Czytelnik, który

chciałby się upewnić, że „Einstein się mylił”, będzie zadowolony. Davies – wybitny relatywista – daje obszerny wykład teorii względności (głównie rozdz. 3–6), odarty co prawda z matematyki, ale precyzyjny w swojej warstwie heurystycznej i obfitujący w odsyłacze do literatury źródłowej. To fakt, że pojęcie czasu wciąż umyka jednemu z najważniejszych opisów, ale pułapki, jakie na nas zastawia, tkwią raczej w innych teoriach: termodynamice, mechanice kwantowej, cząstkach elementarnych, co z właściwym sobie poletem przedstawia Autor w dalszych rozdziałach (rozdz. 7–13). Można za nie winić tyleż Einsteina, co Boltzmanna czy Diraca.

Czy książka stanie się bestsellerem – raczej wątpliwe. Popularne dzieła Weinberga i Hawkinga stanowią wisiwą *Genesis* wyrażoną językiem zbliżonym do współczesnej nauki. To pociąga. Davies nie pisze, jak powstał Wszechświat. Davies zajmuje się czasem jako takim – pokazuje jego złożoność: fizykalną, filozoficzną, kulturową – a to wymaga przygotowanego czytelnika.

Choć Australijczyk z wyboru, wyrasta Davies z angielskiej tradycji uprawiania nauki. Pisze z głębokim respektem dla dokonań uczonych w przeszłości – demonstruje wspaniałą erudycję. Książka jest pełna odniesień do klasyków: fizyków i filozofów (Newtona, Laplace’a, Eddingtona, Wheelera, Prigogine’a, Milla, Whiteheada...), poetów i pisarzy (Goethego, Blake’a, Carrolla). Każdy rozdział zaczyna się mniej lub bardziej trafnym cytatem. Z prawdziwą przyjemnością śledziłem wszystkie odniesienia historyczne (i anegdotyczne) i z pewnością niektóre włączę do własnego wykładu kosmologii (książka zawiera indeks! to ewenement w literaturze popularnej i wyjątkowa gratka dla ludzi poszukujących materiałów źródłowych).

Polecę też tę książkę moim studentom, ale z jednym zastrzeżeniem. Status teorii, o których pisze Davies w toku swoich rozważań, nie jest równy. Nie sposób umieścić szczególnej teorii względności obok scenariuszy inflacyjnych, nie budując tym samym pomostu między nauką i fantazją. Podobnie rzecz się ma z przyczynowością, która ma podstawowe znaczenie dla teorii fizycznych, i podróżą w czasie – problematyką medialnie nośną, ale naukowo miłą. Rozumienie kruchości tych hipotez i krytyczne komentarze Autora nie są tu usprawiedliwieniem. Pisząc o rzeczach ważnych, lepiej nie pisać o wszystkim.

I jeszcze duża „szpila” pod adresem polityki wydawniczej: Czytelnik „na Zachodzie” – cokolwiek ten termin jeszcze dla nas znaczy – sam wybiera pomiędzy *Gravitation and Cosmology* i *The first three minutes*. Nasze księgarnie pełne są kosmologii popularnej, ale za żadną cenę nie sposób kupić podstawowych dzieł z tej dziedziny (w tym wymienionych na wstępie, wydanych w jakimkolwiek języku). To trochę jak w kinie, w którym zamiast wyświetlania filmów odczytuje się ich recenzje.

Andrzej Woszczyzna

Obserwatorium Astronomiczne UJ  
Kraków

## ■ Józef Eugeniusz Sienkiewicz

Urodził się w 1954 r. w Pasłęku. Studia fizyki na Uniwersytecie Gdańskim ukończył w 1978 r. Doktorat uzyskał na UG w 1984 r. (promotor prof. Eugeniusz Czuchaj) na podstawie rozprawy dotyczącej zastosowania pseudopotencjałów do obliczeń oddziaływań międzyatomowych. Habilitował się w 1993 r. w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

Od 1983 r. pracował w Instytucie Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki UG. Od 1996 r. profesor nadzwyczajny Politechniki Gdańskiej i kierownik utworzonej z jego inicjatywy Katedry Fizyki Teoretycznej i Metod Matematycznych. Tytuł naukowy profesora otrzymał 4 grudnia 2002 r.



Po doktoracie odbył trzyipółletni staż na Uniwersytecie Windsorskim (Kanada) u prof. W.E. Baylisa, prowadząc badania wchodzące w zakres relatywistycznej teorii rozpraszania elektronów i pozytonów na atomach. Rozwinął nowy formalizm uwzględniający efekty relatywistyczne, polaryzacyjne i wymienne oraz opracował nowy algorytm całkowania równania Diraca. W latach 1993-97, w sumie ponad rok, pracował w Instytucie Matematyki Uniwersytetu Oksfordzkiego jako stypendysta Europejskiej Fundacji Nauki (ESF). Wspólnie z I.P. Grantem sformułował nową metodę obliczeniową rozpraszania elektronów na atomach. Tam również nawiązał współpracę z S. Fritzschem, w wyniku której powstał pakiet programów służących do obliczania struktur atomowych i prawdopodobieństw przejść, co jest potrzebne m.in. w diagnostyce plazmy laboratoryjnej badanej pod kątem poszukiwania źródeł spójnego promieniowania rentgenowskiego mającego ważne zastosowania w biofizyce i medycynie, szczególnie do wytwarzania holograficznych obrazów komórek biologicznych.

Jest autorem łącznie 53 publikacji naukowych w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu.

## ■ Witold Bardyszewski

Urodził się w 1953 r. w Warszawie. Studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego ukończył w 1976 r. (dyplom z wyróżnieniem) i odtąd pracuje w Zakładzie Teorii Ciała Stałego IFT UW. Praca doktorska (promotor prof. Jan Blinowski) dotyczyła wzbudzeń kolektywnych i quasi-cząstkowych w półprzewodnikach z zerową przerwą energetyczną.



W latach 1984-86 przebywał na Uniwersytecie w Lund, gdzie zajmował się teoretycznym opisem procesów niesprężystych towarzyszących absorpcji i fotoemisji rentgenowskiej w metalach. Równolegle kontynuował badania wpływu realnej struktury pasmowej półprzewodnika na efekty wielociałowe, absorpcji światła przez swobodne nośniki w układach o egzotycznych strukturach pasmowych oraz rekombinacji bezpromienistej nośników nadmiarowych w obszarze aktywnym.

Od 1988 r. zajmuje się numerycznym modelowaniem pola elektromagnetycznego w światłowodach i optycznych urządzeniach półprzewodnikowych. Podjął także współpracę naukową z przemysłowym laboratorium Bell Northern Research w Ottawie (obecnie Advanced Technology Lab NORTEL) w dziedzinie modelowania sprzężenia laserów półprzewodnikowych ze światłowodami i np. modulatorami światła. Opracował teoretyczny model modulatora wykorzystującego tzw. kwantowo ograniczony efekt Starka w studniach kwantowych. W ostatnich latach zajmuje się efektami wielociałowymi w nanostrukturach półprzewodnikowych, takich jak studnie kwantowe.

Stopień doktora habilitowanego uzyskał w 1992 r., a w 1994 r. został mianowany na stanowisko profesora nadzwyczajnego Uniwersytetu Warszawskiego. W latach 1993-96 pełnił funkcję zastępcy dyrektora IFT ds. dydaktycznych. Od 1999 r. opiekuje się studiami licencjackimi na Wydziale Fizyki UW. Wypromował dwóch doktorów. Tytuł naukowy otrzymał w dniu 4 grudnia 2002 r.

## ■ Tytuły profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymali w dniu 28 marca 2003 r.: Rajmund Bacewicz (PW), Bohdan Tadeusz Grządkowski (UW) i Tadeusz Edward Staciewicz (UW).

*www.prezydent.pl*

## ■ Pięćdziesiąt lat hiperjader

W 1952 r. Marian Danysz (1909–83) dostrzegł w emulsji fotograficznej, którą otrzymał od C.F. Powella z Bristolu, naświetlonej promieniowaniem kosmicznym podczas lotu balonowego, dwie „gwiazdy” połączone grubym torem. Analizując ten przypadek, wspólnie z Jerzym Pniewskim (1913–89) wysunęli sugestię, że jest to ślad nowego rodzaju fragmentu jądrowego – jądra zawierającego oprócz neutronów i protonów także hiperon  $\Lambda$ . Takie fragmenty jądrowe nazywamy hiperjaderami. Odkrycie to, chyba największe polskie odkrycie w fizyce powojennej, zaowocowało powstaniem nowego działu fizyki – fizyki hiperjader. Również w Warszawie, w 1962 r., odkryto hiperjądro podwójne, tzn. fragment jądrowy zawierający dwa związane hiperony  $\Lambda$ . Tu odsyłamy Czytelników do artykułu Janusza Zakrzewskiego w tegorocznym zeszycie 2 PF.

W związku z tą rocznicą na Uniwersytecie Warszawskim została otwarta, staraniem prof. Janusza Zakrzewskiego, wystawa przypominająca te odkrycia oraz działalność naukową i osobowości Danysza oraz Pniewskiego. Pokazano wiele fotografii i kopii bardzo interesujących listów, „drzewo genealogiczne” wychowanków tych dwóch uczonych, a także film (z 1973 r.) ze spotkania młodej wówczas ich grupy. W dniu 5 maja odbyło się uroczyste otwarcie wystawy połączone z sesją naukową, na której referaty wygłosili D.H. Davis (University College London) i J. Sacton (Université Libre de Bruxelles).

B. W.

## ■ 50 lat poznańskiej szkoły Arkadiusza Piekary

Pierwszy tegoroczny numer kwartalnika *Nauka* przynosi sprawozdanie prof. Jana Stankowskiego z sesji, która odbyła się w październiku 2002 r. w Poznaniu dla upamiętnienia 50. rocznicy rozpoczęcia przez Arkadiusza Piekary działalności w tym ośrodku. Sprawozdanie przypomina krótko życiorys Piekary, zainicjowane przez niego kierunki badań i osiągnięcia. Wspomniani są także zmarli już jego poznańscy uczniowie (m.in. Henryk Dymaczewski, Stanisław Kielich, Jan Klimowski).

*Nauka*, nr 1 (2003)

B. W.

## ■ Zapowiedzi prezesa PAN

Profesor Andrzej Legocki, nowo wybrany prezes Polskiej Akademii Nauk, zapowiada przeprowadzenie przez

zewnątrznych ekspertów oceny wszystkich 80 instytutów PAN-owskich. Spodziewa się też, że w wyniku tej oceny trzeba będzie zamknąć ok. 10 instytucji. Polska jest zbyt biedna, by finansować kiepskie ośrodki.

Nowy prezes obiecuje także zająć się takimi problemami, jak słaba wydajność naukowa, wysoka średnia wieku pracowników naukowych i brak dobrych kontaktów z ośrodkami uniwersyteckimi. Aby polepszyć pozycję młodych naukowców, proponuje wprowadzenie studium doktoranckiego w tych instytutach, które go jeszcze nie prowadzą, i obiecuje, że młodzi pracownicy będą pod jego osobistą opieką.

Prof. Legocki jest dyrektorem Instytutu Chemii Bioorganicznej PAN w Poznaniu, ma 63 lata i jest najmłodszym z dotychczasowych prezesów.

*Nature* 422, nr 6933 (2003)

B. W.

## ■ Urodziny Dopplera

Christian Doppler urodził się w Grazu w 1803 r. Zmarł w Wenecji w 1853 r. Był od 1847 r. profesorem matematyki, fizyki i mechaniki w akademii górniczej w Chemnitz, a od 1850 r. profesorem i dyrektorem Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Wiedniu.

Doppler pierwszy zwrócił uwagę na zmianę obserwowanej częstości fali przychodzącej ze źródła poruszającego się względem obserwatora. W pracy z roku 1843 „Ueber das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels” (O barwnym świetle gwiazd podwójnych i niektórych innych gwiazd nieba) podał i uzasadnił teoretycznie obserwowane w akustyce i optyce zjawisko zmiany częstości przy ruchu względnym obserwatora i źródła fal. Zmiana jest zwana zjawiskiem Dopplera. Tę zmianę częstości przy ruchu względnym obserwatora lub źródła fal stwierdzał także w swych pomiarach prędkości światła Armand Hippolyte Fizeau (1810–96). W przypadku światła przy prędkościach  $v$  źródła porównywalnych z prędkością światła  $c$  wyrażenie na zmianę częstości  $\nu$  wynika z transformacji Lorentza:

$$\nu' = \nu(c - v \cos \alpha) / c(1 - v^2/c^2)^{1/2},$$

gdzie  $\alpha$  jest kątem między kierunkiem prędkości  $v$  ruchu źródła a kierunkiem promienia światła. Relatywistyczne zjawisko Dopplera mierzył H.E. Ives, *J. Opt. Soc. Amer.* 28, 215 (1938). Ze względu na rozrzut spowodowany rozkładem termicznym prędkości atomów i cząsteczek, efekt Dopplera prowadzi do poszerzenia (rzędu 0,03–0,2 Å) linii widmowych w obszarze widma widzialnego. Obserwowane przesunięcie Dopplera linii widmowych pochodzących od atomów dostarcza wiadomości o składzie atmosfery gwiazd. W publikacjach „Ueber ein Mittel, periodische Bewegungen von ungemeiner Schnelligkeit noch wahrnehmbar zu machen” (1845), „Ueber die Möglichkeit, die absoluten Durchmesser der Fixsterne auf rein optischem Wege zu bestimmen” (1847), „Ueber den Einfluss der Bewegung der Fortpflanzungsmittels auf



die Erscheinung der Aether-, Luft- und Wasserwellen" (1848) Doppler podał możliwości wykorzystania pomiarów przesunięcia częstości do wyznaczenia prędkości oraz zmiany prędkości obiektów emitujących fale. Te możliwości są realizowane m.in. w radarowym wyznaczaniu prędkości obiektów zbliżających się do obserwatora; w astrofizyce są wykorzystywane do wyznaczania prędkości ruchu względnego gwiazd podwójnych, a pomiary przesunięcia ku czerwieni linii widmowych atomów umożliwiają ocenę prędkości oddalania się galaktyk.

Maciej Suffczyński

## ■ Pierwszy laureat Nagrody Abela

Norwegia ustanowiła prestiżową nagrodę dla matematyków – Nagrodę im. Nielsa Henrika Abela, wybitnego matematyka norweskiego (pisał o tym w Kronice 1/2002).

Pierwszym laureatem tej Nagrody został francuski matematyk Jean-Pierre Serre. Ma 77 lat, jest profesorem Collège de France. Uhonorowany został jego wkład do topologii, geometrii algebraicznej i teorii liczb. W tym roku wysokość Nagrody wynosi 826 tys. USD.

Science 300, nr 5617 (2003)

B. W.

## ■ Irlandia inwestuje w przyszłość swojej nauki

W 1938 r. rząd Irlandii z inicjatywy ówczesnego premiera Eamona de Valery zaprosił Erwina Schrödingera do nowo utworzonego Instytutu Studiów Zaawansowanych w Dublinie. Schrödinger (już za prezydentury de Valery) osiadł w 1940 r. w Dublinie i pracował tam do 1956 r., kiedy powrócił do Wiednia. W latach 40. kierownikiem laboratorium promieniowania kosmicznego Instytutu był znany fizyk węgierski Lajos Jánossy.

Nawiązując do tych tradycji, rząd irlandzki ustanowił w 2000 r. Fundację Naukową Irlandii (Science Foundation Ireland, SFI). Chodzi o przyciąganie do uczelni irlandzkich światowej klasy naukowców i inżynierów (głównie techniki informatycznej i łącznościowej oraz biotechnologii). Na lata 2000–2006 przyznano SFI fundusz 646 mln euro z zaleceniem, aby pieniądze te inwestować w indywidualnych uczonych o dużym dorobku badawczym, co do których istnieje największe prawdopodobieństwo, że będą generować nową wiedzę, wiodące technologie i podejmować najbardziej konkurencyjne przedsięwzięcia. W zasadzie stypendia są pięcioletnie, szczególnie dla tych uczonych, którzy będą współpracować z przemysłem. Przewidziane są też stypendia krótsze (do 1 roku) im. E.T.S. Waltona (fizyk irlandzki, Nagroda Nobla 1951) dla przyciągnięcia do Irlandii – choćby na niezbyt długie okresy – najwybitniejszych naukowców.

Decyzja rządu irlandzkiego opiera się na przekonaniu, że przyszła konkurencyjność ekonomii Irlandii będzie zależeć od posiadanego kapitału intelektualnego, mogącego stymulować innowacje, doskonałość i przedsiębiorczość. SFI współpracuje też ze szkołami różnych stopni, rozumiejąc, że twórczy i odnoszący sukcesy nauczyciele

grają zasadniczą rolę w osiągnięciu celów tego przedsięwzięcia.

CERN Courier 43, nr 3 (2003)

B. W.

## ■ Największa kamera cyfrowa

Przy teleskopie kanadyjsko-francusko-hawajskim w obserwatorium na szczycie Mauna Kea na Hawajach zamontowano olbrzymią kamerę cyfrową o 340 milionach pikseli. Jej koszt wyniósł 100 mln dolarów i, jak twierdzą jej konstruktorzy, jest ona 100 razy silniejsza od najlepszych dostępnych w handlu kamer.

Szerokie pole widzenia teleskopu umożliwi fotografowanie tą kamerą obrazów panoramicznych nieba. Astronomowie planują użyć kamery do szukania odległych wybuchów umierających gwiazd i do obserwacji tzw. pasa Kuipera – pierścienia obiektów podobnych do asteroid, znajdujących się poza orbitą Neptuna.

Nature 422, nr 6933 (2003)

B. W.

## ■ Śpiewające diuny

O śpiewających piaskach pisali już Chińczycy w VIII stuleciu, także wielu później wędrujących po pustyniach piaszkowych ludzi różnych narodowości to zjawisko wspomina. Wydmy czasem emitują niskie dźwięki, które podróżnicy przyrównują do czegoś pośredniego między hałasem samolotu, dźwiękami organów i tybetańskiego rogu. Zjawisko to zaobserwowano w wielu miejscach, m.in. na pustyni Gobi, Saharze, Kalahari, w Dolinie Śmierci.

Na wiosnę 2001 r. ekipa z laboratorium Fizyki Statystycznej Ecole Normale Supérieure była na pustyni Tafaya w południowozachodnim Maroku, by badać tworzenie się piaszkowych wydym o kształcie rogali. Przypadkowa lawina piaszkowa wywołała ten właśnie efekt dźwiękowy, który Francuzi nagrali na magnetofon. Po powrocie do Francji udało im się odtworzyć dźwięk, wstrząsając 72 kg marokańskiego piasku w pojemniku o kształcie obwarzanka o średnicy 2 m.

Kierownik zespołu Stéphane Doudady twierdzi, że jest to zjawisko tzw. dylatacji Reynoldsa, występujące w płynach nienewtonowskich. Drgania są wywołane kompresją i dylatacją powietrza, gdy ziarna piasku odsuwają się od siebie i z powrotem zbliżają. Odtworzenie tego dziwnego dźwięku wymagało wywołania lawiny warstwy piasku grubości 10 cm. Nie jest jednak jasne, co może powodować, że wszystkie ziarna w warstwie zaczynają jednocześnie się ruszać.

Science 300, nr 5616 (2003)

B. W.

## ■ Akronimy telekomunikacji optycznej

Numer styczeń–luty 2003 czasopisma francuskiej Akademii Nauk *Comptes Rendus – Physique* przynosi bardzo obszerną listę akronimów angielskich terminów z zakresu łączności optycznej. Może to być bardzo pożyteczne przy czytaniu prac z tej dziedziny.

C. R. 4, nr 1 (2003)

## ■ Janusz Zieliński (1951–2002)

W marcu tego roku minęła pierwsza rocznica śmierci prof. dr hab. Janusza Zielińskiego. Zmarł w Zabrze 26 marca 2002 r. Był profesorem zwyczajnym Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, wybitnym fizykiem, zaangażowanym nauczycielem akademickim, aktywnym organizatorem. Na jego nagrobku wyryto słowa Alberta Schweitzera: „Nie zawsze siewca może uczestniczyć w plonach”.



Janusz Zieliński

Urodził się 8 czerwca 1951 r. w Zabrzu. Studia fizyczne ukończył w 1974 r. w Katowicach. Przez ostatnie dwa lata studiował fizykę teoretyczną pod opieką prof. Andrzeja Pawlikowskiego. Był pierwszym studentem w Instytucie Fizyki w Katowicach kształcącym się według indywidualnego toku studiów. Swoją błyskotliwą karierę naukową rozpoczął jako asystent w Zakładzie Teorii Metali, zajmując się własnościami metali przejściowych. Jego opiekunem naukowym był wówczas doc. dr hab. Bohdan Kozarzewski, pod którego kierunkiem przygotował rozprawę doktorską poświęconą teorii rozcieńczonych stopów palladu i platyny. Wyjaśnił wtedy, uwzględniając korelacje elektronowe, mechanizm odpowiedzialny za temperaturową zależność podatności magnetycznej w tych układach. Pracę doktorską obronił w 1977 r. na Uniwersytecie Śląskim. Po ukończeniu doktoratu jego zainteresowania naukowe zaczęły zmierzać w stronę problemów związanych z bardzo aktualną wówczas tematyką pośredniej wartościowości. Swoją dalszą drogę naukową związał z Zakładem Fizyki Teoretycznej, gdzie od 1981 r. pracował na stanowisku adiunkta, od 1987 r. docenta, a od 1991 r. – profesora. W pierwszej połowie lat 80. prowadził badania teoretyczne dotyczące periodycznego modelu Andersona oraz modelu Falicova–Kimballa. Uzyskał wiele bardzo istotnych wyników, które stanowiły podstawę rozprawy habilitacyjnej. Habilitował się w 1985 r. na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Po zakończeniu habilitacji podjął niezmiernie owocną współpracę naukową z prof. Peterem Entelem z Uni-

wersytetu w Duisburgu (RFN), którą kontynuował do końca swojego życia. Począwszy od 1985 r. był wielokrotnie zapraszany do Duisburga, gdzie pracował naukowo przez kilka lat, w tym przez ponad 2 lata jako stypendysta Fundacji Humboldta oraz Fundacji DAAD. W późniejszym okresie włączył w tę współpracę młodych fizyków pracujących w stworzonej przez niego grupie badawczej w Katowicach. Przedmiotem współpracy była początkowo teoria układów ciężkich fermionów, a po 1986 r. – teoria wysokotemperaturowego nadprzewodnictwa. Wspólnie z prof. Entelem opublikował kilkadziesiąt prac w renomowanych czasopiśmie międzynarodowych. Wyniki dotyczące struktury pasmowej oraz efektywnych oddziaływań w płaszczyznach tlenowo-miedziowych stały się częścią współczesnych podręczników poświęconych zjawisku nadprzewodnictwa (np. C. Pool, H. Farach, R. Creswick, *Superconductivity*, Academic Press 1995).

W wieku 41 lat otrzymał tytuł naukowy profesora, a 4 lata później, tj. w 1996 r., został mianowany na stanowisko profesora zwyczajnego. Był to niezwykle pracowity okres w jego życiu, kiedy oprócz intensywnej pracy naukowej wiele czasu poświęcał sprawowanym funkcjom, m.in. kierownika Zakładu Fizyki Teoretycznej (1990–92) oraz dyrektora Instytutu Fizyki w Katowicach (1990–93). Profesor Janusz Zieliński aktywnie uczestniczył w przygotowaniu Międzynarodowych Szkół Fizyki Teoretycznej, które od ponad 20 lat są organizowane przez IF UŚI w Katowicach. Dwukrotnie był głównym organizatorem tej konferencji.

Recenzował prace dla wielu czasopism, w tym tak renomowanych jak *Physical Review*. Sam był autorem ponad 80 artykułów opublikowanych w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu. Prowadził owocne badania w dziedzinach, które kolejno były w centrum zainteresowania fizyki ciała stałego. Pracował w warunkach najsilniejszej konkurencji międzynarodowej i aktywnie uczestniczył w rozwoju tych dziedzin fizyki. Najważniejsze osiągnięcia naukowe prof. Janusza Zielińskiego dotyczą tematyki, którą można określić jako teorię silnie skorelowanych układów elektronowych. Jednym z ważniejszych wyników, które uzyskał w pierwszej połowie lat 80., jest wyjaśnienie mechanizmu nieciągłej zmiany wartościowości, obserwowanej w niektórych związkach ziem rzadkich przy zmianie ciśnienia. W przeciwieństwie do wielu znanych z literatury prób wyjaśnienia tego zjawiska przy zastosowaniu czysto elektronowego modelu, pokazał istotne znaczenie drgań sieci krystalicznej. Trudny problem jednoczesnego uwzględnienia silnych korelacji elektronowych oraz drgań sieci krystalicznej stanowił główny nurt jego pracy naukowej także w latach 90. w odniesieniu do nadprzewodników wysokotemperaturowych.

Za wybitne osiągnięcia naukowe otrzymał wiele nagród i wyróżnień, w tym Nagrodę Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (1987). Wielokrotnie otrzymywał nagrody rektora Uniwersytetu Śląskiego. Był członkiem Societas Humboldtiana Polonorum. W 1992 r. otrzymał wyróżnienie Fundacji Humboldta w postaci stacji roboczej IBM RS/6000. Był to wówczas najszybszy komputer w In-

stytucie Fizyki w Katowicach, który umożliwił przeprowadzenie wielu obliczeń z zakresu teorii ciała stałego.

Był znakomitym nauczycielem akademickim. Przewodził wykłady z prawie wszystkich działów fizyki teoretycznej, objętych programem studiów uniwersyteckich. Był promotorem 7 prac doktorskich (w tym mojej) i kilkunastu magisterskich. Był także opiekunem studentów kształcących się według programu indywidualnego, dla których zawsze znajdował czas, starannie kierując ich edukacją. Miałem szczęście być jednym z nich.

Jego ogromna wiedza, doświadczenie czy też pełnione funkcje nigdy nie stanowiły jakiegokolwiek bariery w kontaktach z młodymi fizykami. Dla wielu z nas był zarówno Mistrzem, jak i przyjacielem, przez co tworzył wokół siebie niepowtarzalną atmosferę pracy naukowej. Był pełen zapału i nowatorskich myśli, szeroko otwarty na pomysły swoich współpracowników. Wraz ze śmiercią profesora Janusza Zielińskiego straciliśmy wybitnego fizyka, nauczyciela i wspaniałego Przyjaciela.

Marcin Mierzejewski

## ■ Jean Brossel (1918–2003)

4 lutego 2003 r. zmarł Jean Brossel, jeden z twórców nowoczesnej fizyki atomowej i optyki kwantowej we Francji, wieloletni szef laboratorium spektroskopii paryskiej Ecole Normale Supérieure, noszącego obecnie – od nazwisk jego założycieli – nazwę Laboratorium Kastlera i Brossela.

Brossel rozpoczął studia w Ecole Normale w 1938 r. W czasie wojny musiał je przerwać na 2 lata i ostatecznie ukończył je w roku 1945. Za radą Alfreda Kastlera wyjechał po studiach za granicę, najpierw do Manchesteru, gdzie w zespole Samuela Tolansky'ego zapoznał się z metodami interferometrycznymi w zastosowaniu do badania powierzchni oraz do najdokładniejszych w owym czasie pomiarów spektroskopowych dla atomów, w szczególności badań struktury nadsztywnej widm atomów.

Po powrocie z Anglii, znów za radą Kastlera, Brossel wyjechał do USA, gdzie pracował w laboratorium Francis Bittera w MIT. Przedmiotem jego badań, na podstawie których uzyskał doktorat, było zastosowanie metody rezonansu magnetycznego do wyznaczania struktury poziomów wzbudzonych atomów. W ich wyniku powstała metoda podwójnego rezonansu, pierwsza z metod spektroskopii bezdopplerowskiej, umożliwiającej pomiary optyczne bez ograniczenia ich rozdzielczości przez dopplerowską szerokość linii optycznych. Jej pomysł polegał na tym, że atomy oddziaływały jednocześnie z promieniowaniem optycznym i radiowym, a rezonanse magnetyczne w stanie wzbudzonym atomów wykrywane były przez pomiar polaryzacji fluorescencji.

W tym samym czasie Alfred Kastler rozwinął w Paryżu metodę pompowania optycznego, umożliwiającą w podobny sposób – przez wykorzystanie oddziaływania

zbioru atomów ze światłem spolaryzowanym – wytworzenie różnicy obsadzeń podpoziomów stanu podstawowego. Dzięki temu uzyskał możliwość nie tylko badań rezonansu magnetycznego w stanie podstawowym atomów, lecz także jego niezwykle czułej detekcji za pośrednictwem zmian natężenia spolaryzowanego promieniowania optycznego.

Wzajemnie uzupełniające się metody podwójnego rezonansu (dla stanów wzbudzonych) i pompowania optycznego (dla stanów podstawowych) stały się podstawą nowoczesnej, bezdopplerowskiej spektroskopii atomowej. Laboratorium spektroskopowe w Ecole Normale stało się na wiele lat czołowym światowym ośrodkiem w tej dziedzinie. Kastler i Brossel potrafili przyciągnąć do niego wielu niezwykle zdolnych młodych badaczy oraz po mistrzowsku pokierować ich pracą. Ukoronowaniem tego okresu było przyznanie Alfredowi Kastlerowi Nagrody Nobla w 1966 r. za badania rezonansowe atomów metodami optycznymi. Sam Kastler bardzo żałował, że nie dostał tej nagrody wraz z Brosselem.

Brossel zawsze zachęcał swych młodych współpracowników do poszukiwania nowych kierunków badań. Dzięki temu w Ecole Normale rozwinęto m.in. badania laserów, magnetometrów optycznych, naruszenia zachowania parzystości w przejściach optycznych, elektrodynamiki we wnętrzu rezonansowej i bezdopplerowskiej spektroskopii dwufotonowej, wreszcie chłodzenia i pułapkowania atomów oraz fizyki ultrazimnych atomów. Wychowanek i współpracownik Brossela, Claude Cohen-Tannoudji, otrzymał w 1997 r. Nagrodę Nobla za badania zimnych atomów.

Po śmierci Kastlera Brossel stał się niekwestionowanym autorytetem w zakresie fizyki atomowej i optyki, dzięki czemu wywarł wielki wpływ na kierunki rozwoju tej dziedziny we Francji. Był doskonałym wykładowcą, potrafiącym zafascynować najlepszych studentów badaniami prowadzonymi w swoim laboratorium. Znane były też jego zdolności manualne – był niedoścignętym specjalistą w zakresie szklarstwa laboratoryjnego. Sam przygotowywał lampki i komórki szklane, najpierw dla siebie, potem dla innych doświadczalni w laboratorium, nawet gdy był u szczytu kariery administracyjnej.

Niezwykle gościnne laboratorium na rue Lhomond (oraz place Jussieu) było odwiedzane przez lata przez wielu optyków i fizyków atomowych z Polski. To po stażu w Paryżu Tadeusz Skaliński rozwinął w Warszawie w latach 60. badania pompowania optycznego i podwójnego rezonansu, podjęte następnie również w Krakowie. Przez wiele lat młodzi polscy badacze, zwłaszcza z Warszawy i Krakowa, zdobywali wiedzę i doświadczenie w ENS, dzięki wielkiej życzliwości i wsparciu Alfreda Kastlera oraz Jeana Brossela. Każdy z nas wie najlepiej, ile im zawdzięcza.

*Nature* 422, nr 6929 (2003)

M. Ł.



## WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2003 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. Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę: cena prenumeraty krajowej + rzeczywiste koszty wysyłki. Wpłaty przyjmuje „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy na konto: PEKAO SA IV O/Warszawa nr 12401053-40060347-2700-401112-001 lub w kasie Oddziału (Warszawa, ul. Jana Kazimierza 31/33). Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego zeszytu.

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 10201097-335245-270-1-111 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową pod wskazany adres.

### III. ODDZIAŁY PTF

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

## INFORMACJE DLA AUTORÓW

Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków. Prace należy nadsyłać pod adresem redakcji. O przyjęciu pracy do druku decyduje komitet redakcyjny. Maszynopisów prac 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](mailto: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.

## NOWE KSIĄŻKI

- Krzysztof A. Meissner, *Klasyczna teoria pola*, PWN, Warszawa 2002, s. 161, cena 25 zł.
- Andrzej Januszajtis, *Dzieciństwo i młodość Daniela Gabriela Fahrenheita*, Bernardinum, Pelplin 2002, s. 80, cena 16 zł.
- Andrzej Koper, *Fulereny, wybrane modele skorelowanych elektronów*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań 2002, s. 204, cena 17 zł.
- *Pracownia Fizyczna Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, cz. I*, (skrypt, red. Andrzej Zięba) wyd. III zmienione, Wyd. Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2002, cena 27 zł.
- Lucjan Biliński, *Z Mazowsza do sławy paryskiego Panteonu*, Wyd. Biblioteki Publicznej m.st. Warszawy, Warszawa 2003, s. 268, cena 30 zł.
- Grzegorz Bartosz, *Druga twarz tlenu – wolne rodniki w przyrodzie*, wyd. II zmienione, PWN, Warszawa 2003, s. 447.

## POSTĘPY FIZYKI W INTERNECIE

Zapraszamy do odwiedzania naszej strony internetowej [www.fuw.edu.pl/~postepy](http://www.fuw.edu.pl/~postepy), na której można znaleźć:

- szczegółowe spisy treści wszystkich zeszytów wydanych od roku 1993, z możliwością ich przeszukiwania,
- materiały dodatkowe, uzupełniające treść niektórych artykułów,
- materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku w 1999 r. (spis treści obu zeszytów dodatkowych *Postępów Fizyki* z 1999 i 2000 r.),
- materiały XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich w Toruniu w 2001 r. (PEŁNE TEKSTY WSZYSTKICH ARTYKUŁÓW tomu dodatkowego *Postępów Fizyki*, 53D (2002), w formacie pdf).

### **NOWOŚĆ** – PEŁNE TEKSTY WYBRANYCH ARTYKUŁÓW

z zeszytu 1/2003: Wolfgang Ketterle – Gdy atomy zachowują się jak fale: kondensacja Bosego–Einsteina i laser atomowy

z zeszytu 2/2003: Janusz Zakrzewski – Na 50-lecie odkrycia hiperjader

## WKRÓTCE W *POSTĘPACH*

- Janusz A. Zakrzewski o cząstkach Modelu Standardowego
- Refleksje Marii Baster-Grząślewicz o tym, co każdy człowiek o fizyce wiedzieć powinien
- Wykłady noblowskie Raymonda Davisa, Masatoshiiego Koshiy i Riccarda Giacconiego



**Dziekan Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
ogłasza konkurs na stanowisko profesora nadzwyczajnego  
w Instytucie Fizyki Teoretycznej w dziedzinie teorii materii skondensowanej.**

Od osoby, która obejmie to stanowisko, oczekuje się w szczególności, że będzie prowadziła:

- badania naukowe na wysokim poziomie w dziedzinie nowoczesnej teorii kwantowej materii skondensowanej,
- prace magisterskie i doktorskie w zakresie teorii materii skondensowanej,
- wykłady i seminaria specjalistyczne z dziedziny teorii materii skondensowanej,
- kursowe zajęcia dydaktyczne z fizyki teoretycznej.

Po przyjęciu do pracy istnieje możliwość ewentualnego zatrudnienia współpracownika na stanowisku adiunkta.

Do konkursu mogą przystąpić osoby, które spełniają warunki określone w ustawie o szkolnictwie wyższym z dnia 12 września 1990 roku (Dz.U. nr 65, poz.385).

**Kandydaci powinni wykazać się:**

- dorobkiem naukowym w zakresie teorii materii skondensowanej,
- umiejętnością inicjowania i rozwijania tematyki badawczej,
- umiejętnością pracy w zespołach naukowych i kierowania pracą tych zespołów,
- doświadczeniem w prowadzeniu zajęć dydaktycznych.

**Kandydat powinien złożyć następujące dokumenty:**

1. zgłoszenie do konkursu,
2. kwestionariusz osobowy,
3. odpis dyplomu doktora habilitowanego nauk fizycznych,
4. życiorys,
5. autoreferat (informacje o dotychczasowej pracy naukowej, pracy dydaktycznej, kształceniu kadry i działalności organizacyjnej oraz plany i zamierzenia w dalszej działalności naukowej i dydaktycznej),
6. wykaz publikacji z podaniem liczby cytowań tych prac w latach 1997–2003,
7. ewentualne inne dokumenty i opinie, które kandydat uzna za istotne.

**Zgłoszenia do konkursu należy składać w Dziekanacie Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, Polska, do dnia 3 października 2003 r.**

**Konkurs rozstrzyga Komisja Rady Wydziału Fizyki UW.**

**Termin rozstrzygnięcia konkursu: do dnia 31 grudnia 2003 r.**

**Kandydaci mogą być poproszeni przez Komisję o złożenie dodatkowych informacji lub wyjaśnień, zaproszeni na rozmowę lub wygłoszenie referatu na którymś z seminariów w Instytucie.**

**Uniwersytet Warszawski nie zapewnia mieszkania.**

*Dziekan Wydziału Fizyki  
Uniwersytetu Warszawskiego*

Warszawa, dnia 11 czerwca 2003 r.



**COHERENT®**



**LAMBDA PHYSIK®**



**DANTEC  
DYNAMICS**

lasery TO my

**QUANTRONIX**

An Excel Technology Company

**Continuum®**

An Excel Technology Company

Eurotek International Sp. z o. o.

Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Tel.: (22) 843 79 40 Fax: (22) 843 61 43