

tom 57

zeszyt 3 rok 2006

nr indeksu 369721

cena 12 zł (0% VAT)

# POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



**XXXVIII ZJAZD  
FIZYKÓW POLSKICH**

## XXXVIII ZJAZD FIZYKÓW POLSKICH W OBIEKTYWIE



Przed uroczystym otwarciem Zjazdu  
(fot. Zbigniew Wieja)



Przewodniczący Komitetu Organiza-  
cyjnego Jerzy Garbarczyk otwiera  
Zjazd (fot. Andrzej Orłowski)



Przed wykładem na sesji plenarnej  
12 września 2005 r.; od prawej: Klaus  
von Klitzing, Maciej Kolwas, Tomasz  
Dietl (fot. Krzysztof Kolwas)

RADA REDAKCYJNA

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

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

KOMITET REDAKCYJNY

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

Adres Redakcji:

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

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Maciej Piętka (Białystok), Aleksandra Wronkowska (Bydgoszcz), Marian Głowacki (Częstochowa), Ryszard Drozdowski (Gdańsk), Roman Bukowski (Gliwice), Jerzy Warczewski (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Małgorzata Nowina Konopka (Kraków), Elżbieta Jartych (Lublin), Michał Szanecki (Łódź), Ewa Pawelec (Opole), Maria Połomska (Poznań), Małgorzata Pociask (Rzeszów), Małgorzata Kuzio (Stupsk), Janusz Typek (Szczecin), Wini-cjusz Drozdowski (Toruń), Aleksandra Miłoś (Warszawa), Bernard Janczewicz (Wrocław), Joanna Borgensztajn (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Reinhard Kulesa (prezes), Krystyna Ławniczak-Jabłońska (sekretarz generalny), Roman Puźniak (skarbnik), Jacek M. Baranowski, Przemysław Dereń, Mirosław Trociuk i Jerzy Warczewski (członkowie wykonawczy), Bolesław Augustyniak, Maria Dobkowska, Stanisław Dubiel, Henryk Figiel, Jacek Przemysław Goc, Zofia Gołąb-Meyer, Bernard Janczewicz i Ewa Kurek (członkowie)

Adres Zarządu:

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, tel./fax: 022-6212668, e-mail: ptf@fuw.edu.pl, Internet: ptf.fuw.edu.pl

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

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

REDAKTORZY NACZELNI INNYCH CZASOPISM

WYDAWANYCH POD EGIDĄ PTF

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

Czasopismo ukazuje się od 1949 r.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Zeszyt dofinansowany przez Komitet Badań Naukowych

Wydano pod patronatem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Skład komputerowy w redakcji

Opracowanie okładki: Studio Graficzne etNova Piotr Zenda i Wspólnicy sp.j., tel.: 022-8735520, e-mail: etnova@etnova.pl

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

ISSN 0032-5430

SPIS TREŚCI

PTF .....	98, 117
J. Garbarczyk – XXXVIII Zjazd Fizyków Polskich .....	100
R. Tanaś – Kwantowe splątanie dwóch atomów .....	104
M. Heller – Einstein, Wszechświat i my .....	108
E. Zipper – Niezwykłe własności nanorurek węglowych .....	114
Z. Burda – Fizyka i zarządzanie ryzykiem finansowym .....	118
T. Domański – Nadprzewodniki: nowe fakty i teorie .....	123
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI .....	129
WSPOMNIENIA: Eugeniusz Czuchaj (1943–2005) .....	130
ROZMOWY: Polscy studenci i doktoranci mile widziani w Dubnej – rozmowa z Aleksiejem Sisakianem .....	132
JUBILEUSZE: Honorowe wyróżnienie dla nestora lubelskiej fizyki jądrowej .....	135
NOWI PROFESOROWIE .....	137
RECENZJE .....	138
KRONIKA .....	139

*Drodzy Czytelnicy!*

*Ci z Państwa, którzy tak jak ja wzięli udział w XXXVIII Zjeździe Fizyków Polskich we wrześniu 2005 r. w Warszawie, doskonale zorganizowanym przez kolegów z Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej, zapewne pamiętają jeszcze wiele ciekawych wykładów wygłoszonych na sesjach plenarnych i sekcyjnych. W tym „pozjazdowym” zeszycie Postępów publikujemy artykuły oparte na pięciu spośród tych wykładów: prezentację osiągnięć prof. Ryszarda Tanasia, laureata Nagrody PTF im. Wojciecha Rubinowicza, w dziedzinie badań kwantowego splątania dwóch atomów; historyczne i współczesne refleksje ks. prof. Michała Hellera, znanego relatywisty, kosmologa i filozofa, o równaniach Einsteina; opis zadziwiających właściwości nanorurek węglowych autorstwa prof. Elżbiety Zipper; przystępne przedstawienie roli fizyków w pracach nad teorią ryzyka finansowego pióra dr. hab. Zdzisława Burdy; wreszcie przegląd aktualnie badanych typów nadprzewodników przygotowany przez specjalistę w tej tematyce, dr. hab. Tadeusza Domańskiego.*

*Wyrażając wdzięczność autorom za trud włożony w przygotowanie do druku wszystkich tych interesujących artykułów, życzę Czytelnikom milej lektury!*

*Jerzy Gronkowski*

*Na okładce:*

Gmach Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej – miejsce większości sesji XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich we wrześniu 2005 r. – na tle centrum Warszawy (fot. Jan Grabski)

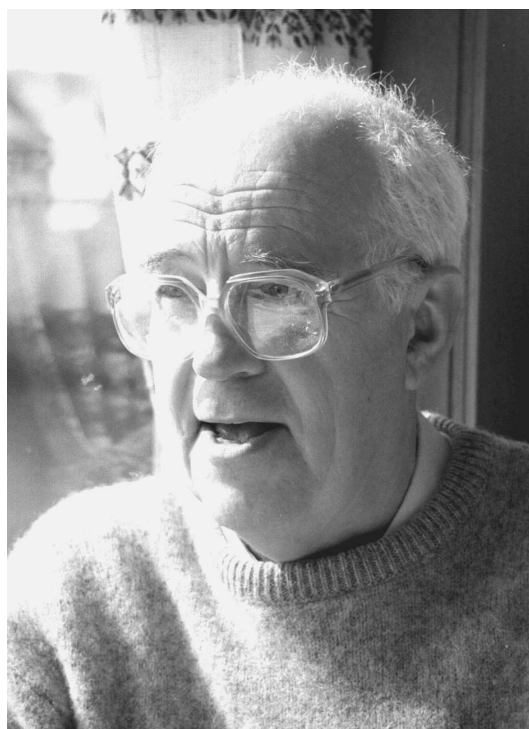


## Medal Smoluchowskiego 2005

Medal Smoluchowskiego (najwyższe odznaczenie Polskiego Towarzystwa Fizycznego) otrzymał w 2005 r. prof. Jan Żylicz. Laureat urodził się w 1932 r. Studiował fizykę na Uniwersytecie Warszawskim w latach 1950–55. Pod koniec studiów był zatrudniony jako pomocniczy pracownik nauki w Instytucie Fizyki PAN (1953–54) i jako asystent w Katedrze Fizyki Doświadczalnej UW (1954–55). W roku 1955 rozpoczął pracę w Zakładzie Fizyki Jądra Atomowego Instytutu Badań Jądrowych w Warszawie (później w Świerku). Był kierownikiem Zakładu w latach 1966–68. Jako pracownik IBJ odbył staże naukowe na Uniwersytecie Moskiewskim i w Leningradzkim Instytucie Fizyko-Technicznym (1956–57), w Instytucie Nielsa Bohra w Kopenhadze i Instytucie Duńskiej Komisji Energii Atomowej w Risø (1963–65) oraz w CERN-ie (1970–71). Doktoryzował się w 1961 r., habilitował – w roku 1967. W 1972 r. przeniósł się do Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW, gdzie stworzył od podstaw Zakład Spektroskopii Jądrowej. Zakładem tym kierował przez wiele lat i pracuje w nim do dziś. Dojeżdżając do Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej, pełnił funkcję przewodniczącego Komitetu Fizyki Jądrowej (1971–72) i Komitetu Fizyki Ciężkich Jonów (1973–76). Dwukrotnie przez rok pracował naukowo w ośrodku badań ciężkojonowych GSI w Darmstadtzie (1978–79 i 1986–87). Tytuł profesora nadzwyczajnego otrzymał w 1974 r., a profesora zwyczajnego osiem lat później. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Europejskiego Towarzystwa Fizycznego oraz członkiem rzeczywistym Towarzystwa Naukowego Warszawskiego.

Główną dziedziną działalności naukowej Jana Żylicza jest spektroskopia promieniowania jądrowego i badanie struktury jąder atomowych jej metodami, ze szczególnym zainteresowaniem nuklidami położonymi daleko od ścieżki trwałości  $\beta$ . Początkowo jego działalność koncentrowała się na tworzeniu bazy aparaturowej, m.in. magnetycznych spektrometrów promieniowania  $\beta$ . Następnie – wykorzystując izotopy promieniotwórcze wytwarzane w Dubnej – rozwinął badania przemiany  $\beta$  i struktury jąder zdeformowanych. Badania te kontynuował w Danii. Uzyskał kilka ważnych wyników, m.in. dotyczących efektu Coriolisa w obracającym się jądrze zdeformowanym, które cytowane są w najważniejszej dla fizyków jądrowych monografii Bohra i Mottelsona. Później inicjował duże projekty badawcze, m.in. w laboratoriach GSI w Darmstadtzie i ISOLDE w CERN-ie. Wśród nich należy wyróżnić wieloletnie, systematyczne badania nuklidów o dużym niedoborze neutronów w sąsiedztwie podwójnie magicznego izotopu  $^{100}\text{Sn}$ . Innym ważnym kierunkiem, który zapoczątkował, było poszukiwanie i badanie deformacji oktapolowej w jądrach atomowych. Zdecydowanie wyróżnia go jednak różnorodność podejmowanej tematyki. Wiele pomysłów, które wysuwał i które inspirował, wykraczało poza główny nurt współczesnej fizyki jądrowej. Niektóre z nich są bardzo oryginalne. Należy do

nich np. propozycja badania oscylacji zmieszania spinów w stanach wodoropodobnego jonu  $^{229}\text{Th}^{89+}$ . Jest to nowatorska koncepcja, która opiera się na pomysłowym wykorzystaniu sprzężenia między jądrowymi i atomowymi stopniami swobody. Z jego sugestii rozwinął się program badania radiacyjnego wychwytu elektronu. Stosunkowo proste eksperymenty, możliwe do wykonania w skromnie wyposażonej warszawskiej pracowni, ujawniły zaskakujące niepowodzenie standardowej teorii podstawowego elektromagnetycznego procesu jądrowego.



Jan Żylicz (fot. Marek Pfützner)

Profesor Żylicz wychował wielu uczniów. Wypromował 12 doktorów, spośród których 7 już się habilitowało, 3 ma tytuł profesora, a dwóch pracuje na stanowisku profesora. Można śmiało powiedzieć, że stworzył warszawską szkołę spektroskopii jądrowej, której członkowie są znani i cenieni we wszystkich najważniejszych laboratoriach jądrowych na świecie. Jest niezwykle życzliwy dla młodych adeptów, dla których zawsze znajduje czas i których chętnie wspiera. Jest też bardzo lubiany przez studentów, którzy cenią go za pasję, klarowność wykładów i nacisk na ukazywanie sedna problemu. Wyrazem uznania dla jego talentu dydaktycznego było zaproszenie go do wygłoszenia dwóch semestralnych wykładów na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, subsydiowane przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej (program NESTOR). Cieszy się autorytetem także poza środowiskiem fizyków jądrowych. W latach 1981–84 był wicedyrektorem Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW, a w latach 1994–2002 jego dyrektorem. W roku 1999 został odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia

Polski. Jan Żylicz zdobył też uznanie wśród międzynarodowej społeczności fizyków, o czym świadczy przyznanie mu przez Europejskie Towarzystwo Fizyczne tytułu *EPS fellow* w 2005 r.

Profesor Żylicz zrobił bardzo wiele dla polskiej fizyki jądrowej, dla wzmocnienia i utrwalenia jej pozycji na arenie międzynarodowej. Jego przyjaciele i współpracownicy z wielką satysfakcją i radością przyjęli odznaczenie go przez Polskie Towarzystwo Fizyczne Medalem Smoluchowskiego.

*Andrzej Plochocki, Marek Pfützner*



## Oddział Wrocławski

15 listopada 2005 r. odbyło się Walne Zebranie Oddziału Wrocławskiego PTF. Ustępujący Zarząd, któremu przewodniczył Adam Kiejna, przedstawił sprawozdanie z trzyletniej działalności.

Oddział liczy 181 członków. W ostatnich trzech latach jego stan liczebny powiększył się o 10 nowych członków. Spotkania naukowe Oddziału powiązane były z działalnością seminaryjną wrocławskich instytucji naukowych, przeważnie z Seminarium Instytutów Fizyki Uniwersytetu Wrocławskiego, z którego pochodziła też większość członków Zarządu. W okresie od grudnia 2002 r. do listopada 2005 r. wygłoszono 7 referatów, w tym cztery przez prelegentów spoza Wrocławia: prof. Klaus Wandelt (Uniwersytet w Bonn) „Spontaneous formation of periodic nanostructures at metal surfaces”, prof. Peter Fulde (Instytut Maksa Plancka w Dreźnie) „Spin transport through interfaces”, prof. Marian Grynberg (Uniwersytet Warszawski) „Atom wodoropodobny w strukturach dwuwymiarowych” oraz prof. Marek Zrałek (Uniwersytet Śląski) „Poszukiwanie nowej fizyki w oscylacjach neutrin”.

W minionej kadencji główna działalność Oddziału skupiła się na organizacji odczytów naukowych i popularyzacji fizyki, w szczególności wśród młodzieży szkolnej. Oddział włączył się czynnie w obchody Światowego Roku Fizyki 2005. Przewodniczący Adam Kiejna wygłosił w październiku 2004 r. wykład immatrykulacyjny dla studentów Wydziału Fizyki i Astronomii UW, poświęcony tematyce ŚRF. Ponadto spotkał się z dolnośląskim kuratorem oświaty, informując o celach i programie obchodów ŚRF w Polsce i występując z inicjatywą podjęcia wspólnych działań popularyzatorskich. Jako kulminacyjny punkt obchodów ŚRF we Wrocławiu Zarząd Oddziału wraz z Instytutami Fizyki UW, Instytutem Fizyki Politechniki Wrocławskiej oraz Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, przy finansowym wsparciu rektorów obu wymienionych uczelni, zorganizował 18 czerwca 2005 r. na wrocławskim Rynku całodzienny Wielki Festyn Fizyczny. Impreza, która miała na celu popularyzację fizyki wśród szerokiej publiczności poprzez pokaz efektownych i ciekawych doświadczeń fizycznych wraz z ich przystępnymi ob-

jaśnieniami, spotkała się z ogromnym zainteresowaniem mieszkańców Wrocławia i turystów (patrz II s. okładki w poprzednim zeszycie *PF* – red.).

Przewodniczący Oddziału wystąpił do Rady Miejskiej Wrocławia z wnioskiem o nazwanie jednej z ulic w naszym mieście nazwiskiem Mieczysława Wolfkego, wybitnego fizyka polskiego, który studiował we Wrocławiu w latach 1907–10. Wniosek ten, pozytywnie zaopiniowany przez Towarzystwo Miłośników Wrocławia, nie został jeszcze zrealizowany. Dopilnowanie, aby inicjatywa PTF uzyskała pomyślne zakończenie, będzie troską nowych władz Oddziału.

Oddział Wrocławski PTF wspierał akcję popularyzacji fizyki wśród uczniów szkół średnich Dolnego Śląska, prowadzoną przez Instytuty Fizyki UW w ramach comiesięcznych wykładów z pokazami. W minionej kadencji odbyło się ok. 30 takich wykładów, które cieszyły się dużym zainteresowaniem uczniów i nauczycieli. Ponadto Oddział współorganizował z Zakładem Nauczania Fizyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW comiesięczne seminaria środowiskowe „Problemy dydaktyki fizyki” dla nauczycieli fizyki z Dolnego Śląska. Na tych spotkaniach omawiano tematy związane z reformą nauczania fizyki w szkole, jak również przedstawiano wykłady o najnowszych osiągnięciach w fizyce.

Członkowie Zarządu uczestniczyli w pracach PTF na szczeblu krajowym. Niżej podpisany jest przewodniczącym Komisji Nazewnictwa Fizycznego i od kilku kadencji członkiem Zarządu Głównego PTF. Adam Kiejna jest członkiem Rady Redakcyjnej *Postępów Fizyki*. Zarząd Oddziału występował z wnioskami o nagrody PTF dla wyróżniających się naukowców, studentów i nauczycieli. W mijającej kadencji nagrody otrzymało 2 absolwentów fizyki za prace magisterskie i 2 nauczycieli z terenu naszego Oddziału.

Działający we Wrocławiu Okręgowy Komitet Olimpiady Fizycznej organizuje zawody dla młodzieży województwa dolnośląskiego. Na podstawie nadsyłanych do Komitetu rozwiązań zadań z I stopnia wyłaniane są grupy uczniów, którzy biorą udział w zawodach okręgowych II stopnia (etap teoretyczny i doświadczalny). W roku szkolnym 2003/04 było to 55 uczniów z 15 szkół. Spośród nich pięciu zostało finalistami, a trzech laureatami zawodów ogólnopolskich. W roku szk. 2004/05 w zawodach II stopnia uczestniczyło 49 uczniów z 11 szkół. Siedmiu z nich zostało finalistami, a jeden laureatem zawodów ogólnopolskich. Od lat największą liczbą olimpijczyków mogą pochwalić się III i XIV LO we Wrocławiu.

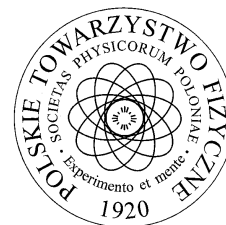
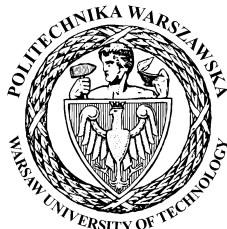
Walne zebranie udzieliło absolutorium ustępującemu Zarządowi i wybrało nowy Zarząd Oddziału w składzie: przewodniczący – Zbigniew Kletowski (INTiBS), wiceprzewodniczący – Bernard Jancewicz (IFT UW), sekretarz – Tomasz Krzysztoń (INTiBS), skarbnik – Maciej Kazimierski (INTiBS), członkowie – Ewa Dębowska (IFD UW) i Stanisława Szarska (IF PWr).

*Bernard Jancewicz*

# XXXVIII ZJAZD FIZYKÓW POLSKICH

w Światowym Roku Fizyki

Warszawa, 11–16 września 2005 r.



XXXVIII Zjazd Fizyków Polskich, zorganizowany przez Oddział Warszawski Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz Politechnikę Warszawską przy współudziale Uniwersytetu Warszawskiego oraz Instytutu Fizyki PAN, odbył się w Warszawie w dniach 11–16 września 2005 r. Obrady toczyły się głównie na terenie Politechniki Warszawskiej. Sesje plenarne odbywały się w Gmachu Fizyki PW przy ul. Koszykowej, gdzie znajdowało się całe zaplecze Zjazdu. Dwie sesje specjalistyczne (poświęcone optyce i geofizyce) zorganizowano na Wydziale Fizyki UW, który mieści się w pobliżu, przy ul. Hożej. Za wyborem Politechniki Warszawskiej jako głównego współorganizatora Zjazdu przemawiało to, że uczelnia ta dysponuje zwartym kampusem akademickim, gdzie w bliskiej odległości od siebie znajdują się aule i sale wykładowe, dwa hotele studenckie oraz kantyna, z której korzystali uczestnicy Zjazdu. Nie bez znaczenia było też to, że obiekty te położone są w samym centrum Warszawy.

Warto w tym miejscu wspomnieć, że w przeszłości zjazdy fizyków organizowano w Warszawie sześciokrotnie. Pierwszy z nich był zarazem I Zjazdem PTF i odbył się w roku 1923. Następne zjazdy w stolicy odbywały się w latach: 1932 (VI), 1947 (X), 1948 (XI), 1949 (XII) oraz 1989 (XXX). Dla organizatorów XXXVIII Zjazdu szczególnie bliski jest Zjazd VI z 1932 r., ponieważ częściowo odbywał się na Politechnice Warszawskiej.

XXXVIII Zjazd zgromadził 484 zarejestrowanych uczestników, w tym 473 z kraju i 11 z zagranicy. Oceniamy, że łączna liczba słuchaczy wykładów zjazdowych była jednak znacznie większa.

Zjazd odbywał się w Światowym Roku Fizyki 2005. Jak wiadomo, w 1905 r. ukazało się pięć (włączając doktorat) słynnych prac Alberta Einsteina, które zmieniły oblicze fizyki. Tematyka Zjazdu nawiązywała oczywiście do epokowych odkryć Einsteina zarówno z roku 1905, jak i lat następnych. Uczestnicy Zjazdu mieli sposobność wysłuchania m.in. następujących referatów plenarnych lub specjalistycznych: „Einstein i fizyka 100 lat temu” (Andrzej K. Wróblewski), „Einstein, Wszechświat i my” (Michał Heller), „Sto lat teorii ruchów Browna” (Paweł F. Góra), „Czterowymiarowy Wszechświat w lorentzowskiej kwantowej grawitacji” (Jerzy Jurkiewicz), „100 lat fotonu” (Maria Krawczyk), „Kształt Wszechświata” (Stanisław Bajtlik).

To, że Zjazd odbywał się w Światowym Roku Fizyki, stanowiło dodatkowe wyzwanie dla organizatorów. Już dwa lata wcześniej, podczas zjazdu w Gdańsku, zrodziła się idea, aby zjazd w ŚRF uczcić w jakiś wyjątkowy i niepowtarzalny sposób. Franciszek Krok (PW) wpadł na pomysł, aby z tej okazji powstał duży utwór muzyczny. W tym celu zwrócono się o pomoc do Jerzego Warczewskiego (UŚ), wielkiego miłośnika muzyki, znanego ze swych kontaktów ze światem muzycznym. Dalej wydarzenia potoczyły się dosyć szybko. Jerzy Warczewski przekazał prośbę wybitnemu kompozytorowi Wojciechowi Kilarowi i, ku radości organizatorów Zjazdu, nie spotkał się z odmową. W rezultacie już na wiosnę 2004 r. doszło w Warszawie do spotkania Wojciecha Kilara z Maciejem Kolwasem – prezesem PTF, Franciszkiem Krokiem oraz Jerzym Warczewskim. Wkrótce po tym spotkaniu jako przewodniczący Komitetu Organizacyjnego otrzymałem od Wojciecha Kilara uprzejmy list, w którym Mistrz informuje, że komponuje utwór *Sinfonia de motu* oraz że traktuje go jako „swoisty prezent i hołd jednocześnie dla polskiej fizyki, polskich fizyków i fizyki w ogóle”. *Symfonia o ruchu* została ukończona w marcu 2005 roku. Na początku partytury kompozytor podaje motto muzyczne dzieła, w którym motywowi złożonemu z dźwięków G-E-C-H-A przypisuje, z inspiracji Jerzego Warczewskiego, związek ze stałymi uniwersalnymi fizyki ( $G$ ,  $e$ ,  $c$ ,  $h$ ) oraz z nazwiskiem Einsteina (E) i słowem atom (a). Na partyturze umieszczona jest dedykacja „Fizykom Polskim w Światowym Roku Fizyki 2005” oraz podziękowanie dla Jerzego Warczewskiego za inspirację. Więcej szczegółów na ten temat można znaleźć w poprzednim zeszycie *Postępów Fizyki* (2/2006, s. 89).

Historia związana z symfonią Wojciecha Kilara była dla Komitetu Organizacyjnego Zjazdu dużą przygodą, ale również wymagała wiele pracy i zabiegów związanych z pozyskaniem odpowiednich funduszy. W tym miejscu słowa podziękowania należą się p. marszałkowi Adamowi Struzikowi i Samorządowi Województwa Mazowieckiego, JM Rektorowi Politechniki Warszawskiej, prof. Włodzimierzowi Kurnikowi, oraz dyrektorowi Filharmonii Narodowej, prof. Antoniemu Witowi.

Charakterystycznym novum Zjazdu był udział w nim Akademickiej Telewizji Naukowej (ATVN), działającej przy Uniwersytecie Warszawskim. Dzięki ATVN cały Zjazd mógł

być odbierany na żywo za pośrednictwem Internetu. Ponadto sesje plenarne były transmitowane z auli Gmachu Fizyki do innego audytorium, a dyskusje po wykładach można było śledzić ze zwiększoną dramaturgią na dużych ekranach w obu pomieszczeniach. Przeprowadzano także wywiady z fizykami uczestniczącymi w Zjeździe. Należy dodać, że wykłady plenarne można w każdej chwili jeszcze raz obejrzeć i wysłuchać, korzystając ze strony internetowej [www.atvn.pl](http://www.atvn.pl). Każdego dnia, na początku sesji plenarnej, telewizja ATVN przedstawiała nagrany podczas próby generalnej fragment *Sinfonii de motu* wraz z przesłaniem Wojciecha Kilara adresowanym do uczestników Zjazdu oraz wywiadem z dyrygentem Antonim Wittem. Za pomoc w pozyskaniu współpracy Akademickiej Telewizji Naukowej słowa podziękowania należą się Pani Rektorowi Uniwersytetu Warszawskiego prof. Katarzynie Chałasińskiej-Macukow oraz dziekanowi Wydziału Fizyki UW prof. Janowi Bartelskiemu.

Omówię teraz w skrócie przebieg Zjazdu.

W niedzielę 11 września wieczorem uczestnicy Zjazdu spotkali się nieoficjalnie na kolacji powitalnej w kantine PW. Następnego dnia rano w czasie uroczystego otwarcia w Auli Gmachu Fizyki PW przewodniczący Komitetu Organizacyjnego (autor tego sprawozdania) powitał uczestników i gości Zjazdu, a wśród nich Prymasa Polski – kardynała Józefa Glempa, rektora Politechniki Warszawskiej, a także rektorów: Uniwersytetu Warszawskiego, Katarzynę Chałasińską-Macukow, Uniwersytetu Jagiellońskiego, Karola Musioła, oraz Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Wiesława Kamińskiego, którzy są fizykami. Rektor Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Andrzej Jamiołkowski, także fizyk, przysłał list z życzeniami dla uczestników Zjazdu.

Listy z życzeniami przesłali również: prezes Polskiej Akademii Nauk, Andrzej B. Legocki, prezes Państwowej Agencji Atomistyki, Jerzy Niewodniczański, oraz laureatka literackiej Nagrody Nobla, Wisława Szymborska.

Po powitaniu gości z kraju i zagranicy oraz po okolicznościowym wystąpieniu przewodniczącego Komitetu Organizacyjnego głos zabierali: JM Rektor PW, prof. Włodzimierz Kurnik, podsekretarz stanu w Ministerstwie Nauki i Informatyzacji, prof. Jerzy Langer (fizyk) oraz wicemarszałek województwa mazowieckiego, p. Waldemar Roszkiewicz, który odczytał list od marszałka Struzika.

Ważnym punktem programu uroczystości otwarcia było wręczenie nagród PTF przez prezesa Towarzystwa Macieja Kolwasa oraz prezesa-elekta Reinharda Kulesę. Laureatem Medalu Mariana Smoluchowskiego w 2005 roku został Jan Żylicz (UW), który na zakończenie ceremonii rozdania nagród wygłosił wykład „Jądro atomu w silnym polu magnetycznym – przykład  $^{229}_{90}\text{Th}^{89+}$ ”. Szczegółowa informacja na temat wszystkich nagród PTF ukazała się w jednym z wcześniejszych numerów *Postępów Fizyki* (zesz. 5/2005, s.194).

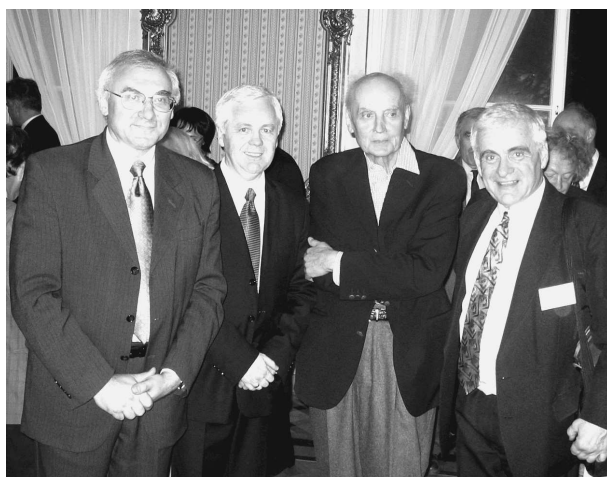
Po przerwie rozpoczęła się pierwsza sesja plenarna, której przewodniczył Tomasz Dietl (IF PAN). Uczestnicy Zjazdu mieli wielką przyjemność wysłuchania wykładu „25 Years of Quantum Hall Effect” laureata Nagrody Nobla

z 1985 r. – Klausa von Klitzinga (Max-Planck-Institut, Stuttgart). Wykład ten uzmysłowił nam, że w roku 2005 poza 100-leciem prac Einsteina obchodziliśmy także i inną rocznicę – związaną z doniosłym odkryciem kwantowego zjawiska Halla. W tym miejscu Komitet Organizacyjny chciałby podziękować Adrianowi Kozaneckiemu oraz Centrum Doskonałości ASPECT działającemu przy IF PAN za finansowe wsparcie wizyty prof. von Klitzinga w Warszawie.

Sesję plenarną zamknął fascynujący wykład Michała Hellera (Obserwatorium Watykańskie i Papieska Akademia Teologiczna) „Einstein, Wszechświat i my”, nawiązujący do obchodów roku einsteinowskiego.

Po południu rozpoczęły się równoległe sesje specjalistyczne, a w Sali Senatu PW odbyło się spotkanie przedstawicieli zagranicznych towarzystw fizycznych. Byli oni gośćmi Zjazdu, podobnie jak przedstawiciele Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (EPS).

Kulminacją pierwszego dnia Zjazdu był koncert w Filharmonii Narodowej, podczas którego miało miejsce prawykonanie *Sinfonii de motu*. Po koncercie w Sali Złotej Pałacu Kazimierzowskiego UW odbył się okolicznościowy koktajl z udziałem Wojciecha Kilara. Gospodarzem była JM Rektor Uniwersytetu Warszawskiego, Katarzyna Chałasińska-Macukow.



Podczas koktajlu; od lewej: Włodzimierz Kurnik, rektor PW, Franciszek Krok, prorektor PW, Wojciech Kilar, Jerzy Warczewski (fot. Maciej Kolwas)

Sesji plenarnej drugiego dnia Zjazdu, we wtorek 13 września, przewodniczył Józef Szudy (UMK). Tematyka wykładów dotyczyła bardzo aktualnych, „gorących” problemów współczesnej fizyki. Sesja rozpoczęła się wykładem „Kwantowe splątanie dwóch atomów” laureata Nagrody Naukowej PTF im. Wojciecha Rubinowicza w 2005 roku, Ryszarda Tanasia (UAM). Następnie wykłady wygłosili: Józef Spałek (UJ) – „Kwantowe przemiany fazowe i zjawiska krytyczne jako nowy typ zachowania materii”, Czesław Radzewicz (UW) – „Interferencja i splątanie fotonów oraz zastosowanie tych efektów do przesyłania informacji” oraz Krzysztof Fiałkowski (UJ) – „Nobel 2004 – asymptotyczna swoboda kwarków”.

Po zakończeniu sesji plenarnej w Auli Głównej PW nastąpiło odsłonięcie pomnika Marii Skłodowskiej-Curie, która w roku 1926 otrzymała tytuł doktora honoris causa tej uczelni. W obecności licznie zgromadzonych uczestników Zjazdu odsłonięcia pomnika dokonał rektor PW, prof. Włodzimierz Kurnik. Po obiedzie miały miejsce równoległe sesje specjalistyczne.

W środę 14 września sesji plenarnej przewodniczył Andrzej Twardowski (UW). Wykłady, które nawiązywały do ostatnich osiągnięć fizyki ciała stałego i do roku einsteinowskiego wygłosili: Elżbieta Zipper (UŚ) – „Niezwyczajne właściwości nanorurek węglowych”, Bogdan Bułka (IFM PAN) – „Przyszłość elektroniki – kropki kwantowe czy molekuly”, Paweł Góra (UJ) – „Sto lat teorii ruchów Browna” oraz Jacek Majewski (UW) – „Epoka krzemu – cywilizacyjne efekty wynalazku tranzystora”.

Po południu odbyło się Zebranie Delegatów Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Pozostali uczestnicy Zjazdu mogli w tym czasie zwiedzić laboratoria naukowe Instytutu Wysokich Ciśnień PAN, IF PAN lub Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów (cyklotron przy UW).

Wieczorem w Dużej Auli PW odbyła się uroczysta kolacja wydana z okazji XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich przez prezydenta Warszawy (a obecnie Prezydenta RP) Lecha Kaczyńskiego.

Czwartkowej sesji plenarnej przewodniczył Jacek Baranowski (UW). Gorąco przyjęty wykład „Einstein i fizyka 100 lat temu”, związany oczywiście z obchodami ŚRF 2005, wygłosił Andrzej Kajetan Wróblewski (UW). Następne wykłady związane były z fizyką cząstek elementarnych oraz z modną ostatnio spintroniką. Wygłosili je: Tomasz Dietl (IF PAN, laureat prestiżowej nagrody EPS – Agilent Technologies Europhysics Prize) – „Nanospintronika”, Agnieszka Zalewska (IFJ PAN) – „Neutrino – takie lekkie, a takie ważne” oraz Maciej Sawicki (IF PAN) – „Półprzewodniki ferromagnetyczne: nadzieje, własności, wyzwania”.

Po południu kontynuowane były sesje specjalistyczne, a Sekcja Młodych PTF zorganizowała prezentację wybranych prac zgłoszonych do Ogólnopolskiego Konkursu na Projekt Multimedialny.

Ostatni dzień Zjazdu, piątek 16 września, przebiegał według nieco innego scenariusza niż dni poprzednie. Nie było sesji plenarnej, a jedynie trzy sesje specjalistyczne: „Fizyka dla poetów, kucharzy i biznesmenów”, „Szkolne czasopisma fizyczne – 50 lat *Fizyki w Szkole*” oraz „Zmagania fizyczne”. Pierwsza była potwierdzeniem tego, co wszyscy fizycy od zawsze wiedzieli – że fizyka jest nie tylko urzekająco piękna, ale i użyteczna. Warto dodać, że to właśnie w związku z tą sesją Wisława Szymborska przesłała „Uczonemu Gronu wyrazy podziwu, szacunku i sympatii, oraz życzenia dobrego wina na zakończenie obrad”. Obie pozostałe sesje zdominowane były przez środowisko nauczycieli fizyki, w tym uczestników licznych konkursów zorganizowanych z okazji ŚRF.

Zjazd zakończył się w Audytorium Fizyki PW spotkaniem, na którym poinformowano, że następny Zjazd odbędzie się w 2007 r. w Szczecinie. Na zakończenie Stanisław

Bajtlik (CAMK) wygłosił ciepło przyjęty wykład o intrygującym tytule „Kształt Wszechświata”.

Zgodnie z tradycją, oprócz sesji plenarnych na Zjeździe odbywały się równoległe sesje specjalistyczne. Organizatorzy Zjazdu, układając jego program, starali się, aby zbyt wiele sesji nie odbywało się jednocześnie. Poniżej podana jest lista wykładów wygłoszonych podczas poszczególnych sesji.

Fizyka jądrowa i cząstek elementarnych (prowadzący Maciej Nowak, UJ): „Supersymetria – fizyka cząstek powyżej granicy elektrosłabej?” (Jan Kalinowski, UW), „Czterowymiarowy Wszechświat w lorentzowskiej kwantowej gravitacji” (Jerzy Jurkiewicz, UJ), „100 lat fotonu” (Maria Krawczyk, UW), „Pentakwarki” (Michał Przaszłowicz, UJ), „Materia jądrowa w warunkach ekstremalnych” (Jan Pluta, PW), „Hadrony w materii jądrowej: dokąd sięgają granice ich istnienia?” (Piotr Salabura, UJ), „Piękna fizyka mezonów pięknych w eksperymencie Belle (fabryka mezonów B)” (Henryk Pałka, IFJ PAN), „Wiązki radioaktywne – teoria i przyszłość fizyki jądrowej” (Zenon Janas, UW).

Fizyka atomowa, molekularna i optyka (prowadzący Tadeusz Stacewicz, UW): „Modelowanie zjawisk podfałowych” (Rafał Kotyński, UW), „Barwy nanostruktur metalowych a plazmony – kolektywne wzbudzenia elektronów swobodnych” (Krystyna Kolwas, IF PAN), „Światłowodowy fotoniczny” (Wacław Urbańczyk, PWr), „Lasery RTG” (Henryk Fiedorowicz, WAT), „Femtochemia” (Ryszard Naskręcki, UAM), „Pułapki magnetoptyczne” (Jerzy Zachorowski, UJ), „Spektroskopia molekuł dwuatomowych” (Paweł Kowalczyk, UW), „Optyczna koherentna tomografia” (Andrzej Kowalczyk, UMK).

Fizyka fazy skondensowanej (prowadzący Tadeusz Skośkiewicz, IF PAN): „Nadprzewodnictwo i magnetyzm – rywalizacja czy współistnienie?” (Krzysztof Rogacki, INTiBS PAN), „Magnetyczne metale – od antycznych odkryć do współczesnej teorii” (Krzysztof Byczuk, UW), „Magnetyczne ciepło właściwe” (Tomasz Plackowski, INTiBS PAN), „Tomografia rezonansu magnetycznego jako nieważyma metoda badania materii” (Jadwiga Tritt-Goc, IFM PAN), „Nadprzewodniki – nowe fakty i teorie” (Tadeusz Domański, UMCS), „Ogniwa słoneczne – dlaczego selenki, a nie krzem?” (Rajmund Bacewicz, PW).

Na specjalnym pokazie podczas tej sesji przedstawiono 3 filmy popularnonaukowe: „Zobaczyć Świat w ziarenku piasku” (Karol Wysokiński, UMCS), „Pastyłki pamięci” (Wiktor Niedzicki, TVP) oraz „Lasery” (Arkadiusz Orłowski, IF PAN).

Geofizyka, biofizyka i fizyka środowiska (prowadzący Szymon Malinowski i Borys Kierdaszuk, UW): „Symulacje numeryczne turbulencji w przepływach geofizycznych: metoda odwzorowań ciągłych” (Piotr K. Smolarkiewicz, National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA), „Emisja fotonów w układach molekularnych – od przesunięcia Stokesa do femtobiologii” (Borys Kierdaszuk, UW), „Trzęsienia ziemi, fale sejsmiczne i struktury wnętrza Ziemi” (Marek Grad, UW), „Wpływ procesów wymiany protonów z otoczeniem na strukturę, dynamikę i aktywność biomolekuł” (Jan Antosiewicz, UW), „Wielomodelowa dyna-



miczno-stochastyczna prognoza pogody” (Roman Żelazny, IFPiLM).

Nowe obszary fizyki (prowadzący Ireneusz Strzałkowski, PW): „Inwestorzy nieracjonalni? Socjologia na giełdzie” (Danuta Makowiec, UG), „Niegaussowskie procesy stochastyczne w świecie inwestycji kapitałowych” (Marzena Kozłowska, Ryszard Kutner, Filip Światała, UW), „Osobliwości korelacji finansowych” (Stanisław Drożdż, IFJ PAN, URz), „Fizyka układu krążenia człowieka” (Jacek Żebrowski, PW), „O przetwarzaniu informacji: klasycznej, kwantowej i uogólnionej” (Karol Życzkowski, UJ, CFT PAN).

Fizyka dla poetów, kucharzy i biznesmenów (prowadzący Wojciech Gawlik, UJ): „Fizyka dla poetów” (Wojciech Gawlik, UJ), „Fizyka dla kucharzy” (Piotr Pierański, PP), „Fizyka dla biznesmenów” (Zdzisław Burda, UJ).

Dla osób zaangażowanych w dydaktykę fizyki oraz dla środowiska nauczycielskiego przygotowano szereg prezentacji w ramach następujących sesji:

Nauczanie fizyki (prowadzący Wojciech Nawrociak, UAM): „Nauczanie fizyki w wybranych państwach Unii Europejskiej” (Grzegorz Karwasz, PAP w Słupsku), „Nowa matura – fizyka” (Miroslaw Trociuk, II LO Włodawa), „Europejskie eksploratoria i Dom Eksperymentów w Szczecinie” (Jerzy Stelmach, USz), „Eksploratorium KOPERNIK w Warszawie” (Robert Firmhofer, Urząd m.st. Warszawy, pełnomocnik ds. realizacji projektu Centrum Nauki KOPERNIK), „Psychospołeczne aspekty reformy nauczania fizyki” (Edward Pietras, Edward Rydygier, Oddział Warszawski PTF), występy laureatów Ogólnopolskiego Festiwalu „Nauki Przyrodnicze na Scenie 1” (Poznań, wrzesień 2004).

Szkolne czasopisma fizyczne – 50 lat *Fizyki w Szkole* (prowadzący Adam Smólski). Wystąpienia przedstawili: Zofia Gołąb-Meyer (UJ, redaktor naczelna czasopisma *Foton*), Wojciech Dindorf (Opole, redaktor czasopisma internetowego *Moja Fizyka*), Jerzy Ginter (UW), Juliusz Domański (Toruń), Nina Tomaszewska (Warszawa, Ośrodek Edukacji Informatycznej i Zastosowań Komputerów).

Zmagania fizyczne (prowadzący Miroslaw Trociuk, II LO Włodawa). Program sesji zawierał: wręczenie nagród laureatom ogólnopolskiego fizycznego konkursu fotograficznego „Fotografujemy zjawiska fizyczne”, organizowanego przez WSiP oraz PTF (mgr Maria Dobkowska); wręczenie nagród laureatom Wielkiego Ogólnopolskiego Konkursu dla Nauczycieli Fizyki na scenariusz lekcji dotyczący teorii względności, organizowanego przez WSiP oraz PTF; omówienie wyników LIV Olimpiady Fizycznej organizowanej przez PTF (Jan Mostowski, IF PAN); omówienie wyników XVI Turnieju Młodych Fizyków 2005, drużynowych zawodów uczniów szkół średnich organizowanych PTF oraz IF PAN (Dorota Klinger, IF PAN); omówienie Polsko-Ukraińskiego Konkursu Fizycznego „Lwiątko 2005”, organizowanego pod patronatem PTF, IPJ i czasopisma *Fizyka w Szkole* (Adam Smólski); omówienie wyników Międzynarodowego Konkursu Fizycznego „Poszukiwanie Talentów” (Anna Kaczorowska); omówienie wyników Ogólnopolskiego Festiwalu „Nauki Przyrodnicze na Scenie 1”, zorganizowanego przez UAM (Wojciech Nawrociak); omówienie konkursów organizowanych przez Grupę Twórczą Quark

Pracowni Fizyki Pałacu Młodzieży w Katowicach (Urszula Woźnikowska-Bezak, Beata Ryl, Bartłomiej Bezak); omówienie wyników V Ogólnopolskiego Konkursu na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki organizowanego przez Oddział Krakowski PTF, IF UJ oraz WFiS AGH (Andrzej Zięba); omówienie wyników Ogólnopolskiego Konkursu na Projekt Multimedialny z Fizyki organizowanego przez Sekcję Młodych PTF (Andrzej Ptok).

Podczas Zjazdu można było w ramach imprez towarzyszących zwiedzić liczne wystawy i stoiska. Zorganizowano następujące ekspozycje: Fotografujemy zjawiska fizyczne (pod patronatem WSiP), Niebieska optoelektronika (Instytut Wysokich Ciśnień PAN), Zabawki fizyczne (Grzegorz Karwasz, Pomorska Akademia Pedagogiczna w Słupsku), Fizyka współczesna (Grzegorz Karwasz), 50 lat *Fizyki w Szkole* (Adam Smólski) oraz Grafika komputerowa (Piotr Pierański, PP).

Wśród stoisk zjazdowych należy wymienić stoiska: *Postępów Fizyki*, Wydawnictw Szkolnych i Pedagogicznych, Phywe Systeme GmbH, Gambitu – Centrum Oprogramowania i Szkoleń, Wydawnictwa ZamKor, National Instruments, Oficyny Wydawniczej PW, Wydawnictwa Naukowego PWN, Wydawnictwa UW, wydawnictwa International Publishing Service oraz Poczty Polskiej (która wydała okolicznościowy datownik).

Niektórzy z wystawców (WSiP, Norma System, Phywe Systeme, Gambit, ZamKor oraz National Instruments) należeli do grona sponsorów Zjazdu. Głównym jednak sponsorem, bez pomocy którego Zjazd nie mógłby się odbyć, było Ministerstwo Nauki i Informatyzacji, któremu należy się szczególne podziękowanie. Należy także wspomnieć, że Zjazd miał patrona medialnego. Była nim telewizja TVP3, która podawała dłuższe migawki ze Zjazdu w swoich programach informacyjnych, a ponadto przeprowadziła kilka wywiadów z jego organizatorami i uczestnikami.

W imieniu Komitetu Organizacyjnego chciałbym bardzo gorąco podziękować Maciejowi Kolwasowi, ówczesnemu prezesowi PTF, oraz Reinhardowi Kulesie, przewodniczącemu Komitetu Programowego Zjazdu, a obecnie prezesowi PTF, za udzieloną pomoc i wsparcie. Serdecznie dziękuję również wszystkim uczestnikom Zjazdu za przybycie, za często słyszane słowa otuchy i sympatii, oraz wyrażam nadzieję, że XXXVIII Zjazd Fizyków Polskich w Światowym Roku Fizyki 2005 dostarczył jego uczestnikom dużo satysfakcji intelektualnej i przeżyć estetycznych związanych z *Symfonią o ruchu*.



Jerzy Garbarczyk  
Przewodniczący  
Komitetu Organizacyjnego  
Wydział Fizyki PW

# Kwantowe splątanie dwóch atomów\*

Ryszard Tanaś

*Instytut Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań*

---

## Quantum entanglement of two atoms

*Abstract:* Evolution of quantum entanglement in a system of two two-level atoms undergoing spontaneous emission to the vacuum modes is discussed.

---

### Wstęp

Jednym z najbardziej fascynujących i tajemniczych zjawisk w mechanice kwantowej jest zjawisko splątania kwantowego. W słynnej pracy z 1935 r. Einstein, Podolsky i Rosen [1] starali się wykazać, że mechanika kwantowa musi być niekompletna, skoro przewiduje istnienie korelacji kwantowych na dużych odległościach. Dzisiaj możemy powiedzieć, że nie mieli racji, a korelacje kwantowe, których istnienie kwestionowali, istnieją naprawdę i są potwierdzone licznymi eksperymentami. Na to, by mówić o splątaniu kwantowym, bo tak dzisiaj zwykle nazywamy istnienie tych tajemniczych korelacji kwantowych, trzeba układu kwantowego złożonego z dwóch podukładów. Znakomitym przykładem takiego układu są dwa atomy, które mogą znaleźć się w stanie splątany w wyniku sprzężenia poprzez próżnię fotonową. Sprzężenie takie prowadzi do kolektywnego zachowania się dwóch atomów, objawiającego się oddziaływaniem typu dipol–dipol między nimi oraz kolektywną emisją spontaniczną. Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie mechanizmu powstawania i ewolucji stanów splątanych w układzie dwóch atomów.

### Ewolucja dwóch atomów

Jednym z najbardziej popularnych modeli optyki kwantowej jest model atomu dwupoziomowego. W modelu tym przyjmujemy, że atom jest układem o dwóch tylko stanach kwantowych: stanie podstawowym i stanie wzbudzonym. Jest to oczywiście dość drastyczne uproszczenie opisu rzeczywistego atomu, ale w wielu sytuacjach fizycznych atom dwupoziomowy jest bardzo dobrym przybliżeniem, znakomicie oddającym istotę opisywanych zjawisk fizycznych. Zaletą tego modelu jest to, że jest on wyjątkowo prosty i jego ewolucję potrafimy opisać dość dokładnie. Z dzisiejszego punktu widzenia taki układ dwustanowy to *ku bit*, czyli bit kwantowy, reprezentujący jednostkę kwantowej informacji. Natomiast dwa atomy to, używając terminologii informatyki kwantowej, dwukubi-

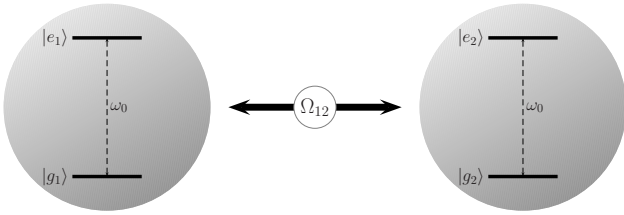
towy rejestr kwantowy. Poznanie jego ewolucji jest sprawą interesującą.

Badania ewolucji układu dwóch atomów dwupoziomowych były prowadzone w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku (obszerny spis literatury można znaleźć w pracy przeglądowej [2]). Znaczący udział w nich mieli Zbigniew Ficek oraz autor niniejszego artykułu. Istotnym elementem tych badań był fakt, że dwa atomy, które znajdują się w odległości mniejszej niż długość fali światła emitowanego przez pojedynczy atom, zachowują się kolektywnie, co oznacza, że ewolucja układu dwóch atomów różni się istotnie od ewolucji atomu pojedynczego. Atomy przestają być niezależne. Ewolucja układu dwóch atomów opisywana jest odpowiednim równaniem głównym (ang. master equation), którego nie będę tutaj przytaczał (patrz np. [2]). Z równania tego wynika, że jeśli przyjmiemy, że atomy znajdują się w pewnej stałej odległości  $r_{12}$ , mniejszej od długości fali związanej z przejściem atomowym, to pojawia się między nimi sprzężenie, które na małych odległościach ma charakter sprzężenia typu dipol–dipol (zależność od odległości jest jak  $r_{12}^{-3}$ ). Pojawia się też kolektywny parametr modyfikujący emisję spontaniczną z takiego układu. Rysunek 1 przedstawia dwa identyczne atomy o stanach  $\{|g_1\rangle, |e_1\rangle\}$  oraz  $\{|g_2\rangle, |e_2\rangle\}$  i częstości przejścia atomowego  $\omega_0$ , które są sprzężone przez oddziaływanie dipol–dipol, oznaczone  $\Omega_{12}$ . Zarówno  $\Omega_{12}$  jak i tłumienie kolektywne  $\Gamma_{12}$  zależą od odległości  $r_{12}$  między atomami (rys. 2). Widać tutaj, że dla małych odległości między atomami  $\Omega_{12}$  wyraźnie rośnie, zaś  $\Gamma_{12}$  zbliża się do wartości współczynnika Einsteina dla emisji spontanicznej z pojedynczego atomu  $\Gamma$ .

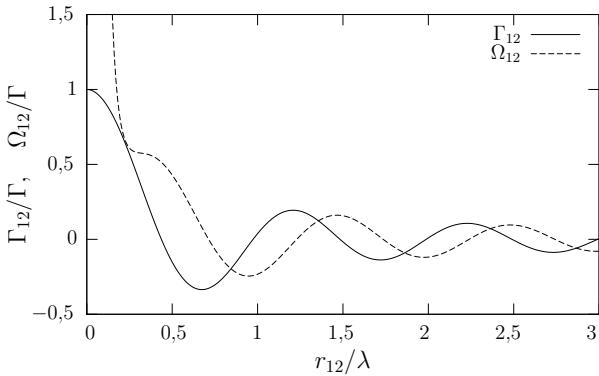
Przedstawiony tu obraz układu dwóch atomów nie jest zbyt klarowny. Stany atomowe to stany własne izolowanych atomów, ale oddziaływanie dipol–dipol sprzęga oba atomy, co powoduje zmianę struktury poziomów. Można zadać pytanie: w jaki sposób? Bez napisania odpowiednich równań nie jest też jasne, jaką rolę odgrywa tłumienie kolektywne  $\Gamma_{12}$ .

---

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie (wrzesień 2005) z okazji otrzymania Nagrody im. Wojciecha Rubinowicza.



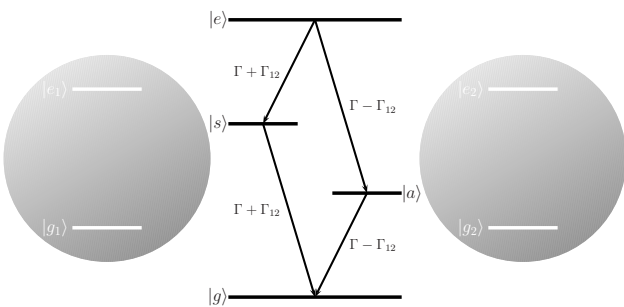
Rys. 1. Dwa atomy oraz oddziaływanie dipol–dipol między nimi



Rys. 2. Zależność parametrów kolektywnych  $\Gamma_{12}$  oraz  $\Omega_{12}$  od odległości  $r_{12}$  między atomami. Zakładamy, że momenty przejścia w obu atomach są równoległe, a przy tym prostopadłe do linii łączącej atomy ( $\hat{\mu} \perp \hat{r}_{12}$ ).

### Stany kolektywne

Obraz naszego układu staje się znacznie bardziej przejrzysty, jeśli wprowadzimy stany kolektywne. Jeśli oddziaływanie dipol–dipol włączymy do układu dwóch atomów i znajdziemy stany własne takiego rozszerzonego układu, to obraz wygląda tak jak na rys. 3. Zniknęły stany własne izolowanych atomów i pojawiły się nowe stany, które nazywamy stanami kolektywnymi, opisujące układ dwóch atomów wraz z oddziaływaniem. Na rysunku 3 pozostały jeszcze atomy z cieniami ich stanów, aby przypominać, że ciągle mamy do czynienia z dwoma atomami, ale układ jest teraz reprezentowany przez nowe stany, których schemat widzimy pomiędzy atomami.



Rys. 3. Stany kolektywne układu dwóch atomów oraz dwa kanały emisji spontanicznej

O ile w poprzednim obrazie układu dwóch atomów bazę wyznaczały stany własne izolowanych atomów

$$\{|g_1\rangle \otimes |g_2\rangle, |e_1\rangle \otimes |e_2\rangle, |g_1\rangle \otimes |e_2\rangle, |e_1\rangle \otimes |g_2\rangle\},$$

to w stanach kolektywnych bazę wyznaczają stany

$$\begin{aligned} |g\rangle &= |g_1\rangle \otimes |g_2\rangle, & |e\rangle &= |e_1\rangle \otimes |e_2\rangle, \\ |s\rangle &= (1/\sqrt{2})(|e_1\rangle \otimes |g_2\rangle + |g_1\rangle \otimes |e_2\rangle), \\ |a\rangle &= (1/\sqrt{2})(|e_1\rangle \otimes |g_2\rangle - |g_1\rangle \otimes |e_2\rangle). \end{aligned}$$

Pojawiły się tutaj dwa nowe stany: symetryczny  $|s\rangle$  i antysymetryczny  $|a\rangle$ , które są superpozycjami stanów iloczynowych. Stanów tych nie da się przedstawić w postaci iloczynów stanów jednoatomowych. Są to, jak mówimy, stany maksymalnie splątane lub mówiąc inaczej – stany Billa. To właśnie tego typu stany tak niepokoiły Einsteina, Podolsky’ego i Rosena. Tutaj takie stany pojawiły się niejako w sposób naturalny, jako stany własne układu: dwa atomy + oddziaływanie typu dipol–dipol.

Na rysunku 3 przedstawiono także dwa kanały, którymi może zachodzić emisja spontaniczna. Jeden z nich, prowadzący przez stan symetryczny  $|s\rangle$ , jest kanałem „szybkim”, którym emisja spontaniczna zachodzi w tempie  $\Gamma + \Gamma_{12}$ . Natomiast drugi, prowadzący przez stan antysymetryczny  $|a\rangle$ , jest kanałem „wolnym”, o tempie emisji spontanicznej równym  $\Gamma - \Gamma_{12}$ . Ponieważ dla małych odległości między atomami  $\Gamma_{12}$  może być bliskie  $\Gamma$ , stan antysymetryczny  $|a\rangle$  „wyświeca” się znacznie wolniej niż stan symetryczny  $|s\rangle$ . A pamiętajmy, że jest to stan maksymalnie splątany. Odstęp (w skali częstości) między stanem symetrycznym i antysymetrycznym wynosi  $2\Omega_{12}$ . Jeśli  $\Omega_{12} > \Gamma$ , to stany te są dobrze rozdzielone i istnieje możliwość przygotowania układu w jednym z nich, a więc w jednym ze stanów splątanych. Oczywiście, obsadzenie stanu symetrycznego będzie zanikać wykładniczo ze stałą zaniku  $\Gamma + \Gamma_{12}$ , zaś stanu antysymetrycznego – ze stałą zaniku  $\Gamma - \Gamma_{12}$ . Tak więc układ przygotowany w stanie czystym – maksymalnie splątany – będzie w czasie ewolucji przechodził do stanu mieszanego. Jaki będzie stopień splątania takiego stanu? Jak będzie wyglądała ewolucja układu, jeśli początkowo tylko jeden z atomów jest wzbudzony? Wtedy na początku splątania nie ma; czy w trakcie ewolucji pojawi się splątanie i jak ono samo będzie ewoluowało? Czy pojawi się splątanie, jeśli początkowo obydwa atomy są wzbudzone? Na wszystkie te pytania potrafimy odpowiedzieć, a szczegółowe odpowiedzi można znaleźć w pracy [3]. Tutaj zilustruję tylko niektóre wyniki.

### Jak mierzyć stopień splątania?

Aby odpowiedzieć na wcześniej zadane pytania dotyczące ewolucji stopnia splątania w układzie dwóch atomów, trzeba wpiwer zdefiniować, co to jest „stopień splątania”. O ile w przypadku stanów czystych sprawa jest prosta, to w przypadku stanów mieszanych, a więc takich, które musimy opisywać macierzą gęstości, sprawa jest bardziej złożona. Istnieje kilka różnych miar splątania, które

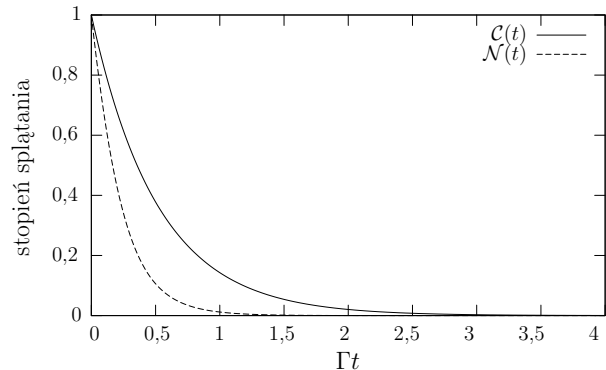
dają dla stanów mieszanych różne stopnie splątania. Nie wdając się w dyskusję nad tym, która z tych miar jest lepsza i czy istnieje najlepsza miara splątania, zilustrujemy ewolucję stopnia splątania w układzie dwóch atomów, korzystając z dwóch znanych i łatwych do obliczenia miar splątania. Jedną z takich miar jest zgodność czy też współbieżność (ang. concurrence). Miara ta, wprowadzona przez Woottersa [4], zdefiniowana jest poprzez wartości własne pewnej macierzy, skonstruowanej w specjalny sposób z macierzy gęstości opisującej stan układu. Dla układu dwóch atomów jest to macierz  $4 \times 4$ ; obliczenie dla niej wartości własnych nie stanowi problemu (pomijam tutaj szczegóły techniczne, które można znaleźć w oryginalnej literaturze). W niniejszym artykule będziemy oznaczali przez  $\mathcal{C}(t)$  (od concurrence) stopień splątania mierzony poprzez zgodność. Wielkość ta przyjmuje wartości od zera do jedności,  $0 \leq \mathcal{C} \leq 1$ , przy czym zero oznacza brak splątania, a jeden – splątanie maksymalne. Wartości pośrednie oznaczają splątanie częściowe, którego stopień określa właśnie wartość  $\mathcal{C}$ .

Inną miarą splątania kwantowego jest ujemność (ang. negativity). Miara ta oparta jest na kryterium splątania wprowadzonym przez Peresa [5] i Horodeckich [6]. Tym razem obliczanie stopnia splątania polega na znalezieniu ujemnych wartości własnych (stąd „ujemność”) pewnej macierzy  $4 \times 4$ , innej niż w przypadku zgodności, otrzymanej z macierzy gęstości opisującej układ dwóch atomów przez transpozycję względem indeksów jednego z atomów (znowu pomijam szczegóły). Tę miarę będziemy oznaczali przez  $\mathcal{N}(t)$  (od negativity). Podobnie jak  $\mathcal{C}$ , miara  $\mathcal{N}$  przyjmuje wartości z przedziału od zera do jedności,  $0 \leq \mathcal{N} \leq 1$  (zero – brak splątania, jeden – maksymalne splątanie). Jak jednak zobaczymy, dla częściowego splątania stopień splątania mierzony wartościami  $\mathcal{N}$  jest inny niż stopień splątania mierzony wartościami  $\mathcal{C}$ , chociaż splątanie pojawia się oczywiście dla tych samych czasów.

## Kwantowe splątanie dwóch atomów

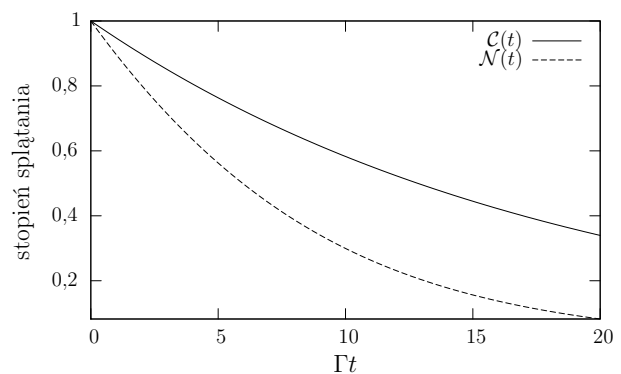
Przyjrzyjmy się zatem, jak ewoluuje stopień splątania mierzony wartościami  $\mathcal{C}$  oraz  $\mathcal{N}$  w rozważanym przez nas układzie dwóch atomów. Na początek założmy, że układ został przygotowany w chwili  $t = 0$  w stanie symetrycznym  $|s\rangle$ . Jest to stan maksymalnie splątany, więc początkowo  $\mathcal{C} = \mathcal{N} = 1$ . Z biegiem czasu jednak stopień splątania maleje (rys. 4). Czas mierzony jest w jednostkach  $\Gamma^{-1}$ , czyli w jednostkach czasu życia stanu wzbudzonego pojedynczego atomu. Odległość  $r_{12}$  między atomami dla tego rysunku wynosi  $\lambda/12$ , co oznacza, że  $\Gamma_{12} = 0,95\Gamma$ . Z rysunku widać, że ujemność  $\mathcal{N}(t)$  zanika szybciej niż zgodność  $\mathcal{C}(t)$ . Interesującym wynikiem jest w tym przypadku to, że zgodność  $\mathcal{C}(t)$  zanika wykładniczo w tempie  $\Gamma + \Gamma_{12}$ , dokładnie tak, jak obsadzenie  $\rho_{ss}(t)$  stanu symetrycznego. Jeśli więc przygotowujemy układ w stanie maksymalnie splątany  $|s\rangle$  i pozwolimy mu się „wyświecać” w procesie emisji spontanicznej, to ewolucja zgodności przebiega dokładnie tak, jak obsadzenia tego stanu. Zachowanie się ujemności jest bardziej skomplikowane i zależy także od

obsadzenia stanu podstawowego, do którego ucieka populacja atomowa. Dla obydwu miar splątania możemy napisać analityczne wzory opisujące ewolucję [3], co daje nam bezpośredni wgląd w fizykę splątania kwantowego.



Rys. 4. Ewolucja układu dwóch atomów przygotowanych w stanie symetrycznym  $|s\rangle$  przy  $r_{12} = \lambda/12$  ( $\Gamma_{12} = 0,95\Gamma$ )

Jeśli w chwili  $t = 0$  układ znajduje się w stanie antysymetrycznym  $|a\rangle$ , który podobnie jak stan symetryczny jest stanem maksymalnie splątany, to mamy do czynienia z sytuacją analogiczną jak dla stanu symetrycznego, z jedną wszakże istotną różnicą – w tym przypadku emisja spontaniczna zachodzi w tempie  $\Gamma - \Gamma_{12}$ , czyli znacznie wolniej. Taka sytuacja jest zilustrowana na rys. 5 dla parametrów identycznych jak na rys. 4. Skala czasowa na rys. 5 została rozciągnięta pięciokrotnie. Ewolucja  $\mathcal{C}(t)$  odpowiada tym razem wykładniczemu zanikowi obsadzenia stanu antysymetrycznego  $|a\rangle$  w tempie  $\Gamma - \Gamma_{12}$ . A więc  $\mathcal{C}(t) = \rho_{aa}(t)$ , podobnie jak dla stanu symetrycznego, ale tym razem zanik jest znacznie wolniejszy. Oznacza to, że splątanie kwantowe przygotowane w stanie antysymetrycznym przetrwa znacznie dłużej niż splątanie przygotowane w stanie symetrycznym. Oczywiście w obu przypadkach układ znajdzie się ostatecznie w stanie podstawowym, ale gdy startujemy ze stanu antysymetrycznego, mamy znacznie więcej czasu na wykonanie operacji na takim rejestrze kwantowym. Także ujemność w tym przypadku zanika



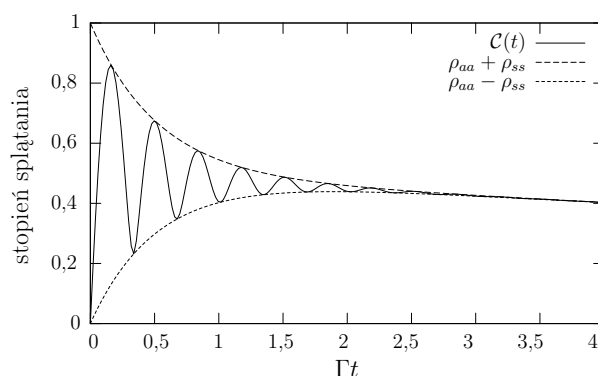
Rys. 5. Ewolucja układu dwóch atomów przygotowanych w stanie antysymetrycznym  $|a\rangle$  przy  $r_{12} = \lambda/12$  ( $\Gamma_{12} = 0,95\Gamma$ )

w tempie wolniejszym, chociaż ciągle znacznie szybciej niż zgodność.

Z innym ciekawym przypadkiem mamy do czynienia, gdy stan początkowy został przygotowany w taki sposób, że tylko jeden z atomów jest wzbudzony. Przypuścimy, że jest nim atom oznaczony wskaźnikiem 1, a więc  $|\Psi(0)\rangle = |e_1\rangle \otimes |g_2\rangle = (1/\sqrt{2})(|s\rangle + |a\rangle)$ . Przyjmijmy też, jak poprzednio, że odległość między atomami  $r_{12} = \lambda/12$ , co daje  $\Gamma_{12} = 0,95\Gamma$  oraz  $2\Omega_{12} = 9,30\Gamma$ . Ewolucję zgodności  $\mathcal{C}(t)$  dla takiego przypadku ilustruje rys. 6. Ponieważ stan początkowy jest stanem iloczynowym, to  $\mathcal{C}(0) = 0$  i splątania nie ma. Ale taki stan jest superpozycją stanów  $|s\rangle$  oraz  $|a\rangle$ , a co więcej, przy takim warunku początkowym istnieją niezerowe koherencje, tzn. niezerowe są niediagonalne elementy macierzy między stanami  $|s\rangle$  oraz  $|a\rangle$ . Powoduje to, że w ewolucji zgodności pojawiają się oscylacje o częstości  $2\Omega_{12}$ . Jak widać na rys. 6, w układzie może pojawić się znaczny stopień splątania,  $\mathcal{C} > 0,8$ , obserwowany w pierwszym maksimum, chociaż na początku splątania nie było. Oznacza to, że emisja spontaniczna nie zawsze psuje korelacje kwantowe, ale może też w pewnych sytuacjach takie korelacje kwantowe tworzyć.

Oscylacje widoczne na rys. 6 po pewnym czasie ( $\Gamma t \approx 2$ ) zanikają. Można je zaobserwować tylko w przypadku, gdy  $\Omega_{12} \gg \Gamma$ . Na rysunku 6 uwidocznione zostały także krzywe obrazujące sumę  $\rho_{aa}(t) + \rho_{ss}(t)$  i różnicę  $\rho_{aa}(t) - \rho_{ss}(t)$  obsadzeń stanów antysymetrycznego i symetrycznego. Widać wyraźnie, że stanowią one odpowiednio dla oscylacji  $\mathcal{C}(t)$ . Ten fakt ma prostą interpretację fizyczną w świetle tego, co powiedzieliśmy wcześniej na temat ewolucji stanów antysymetrycznego i symetrycznego. Otóż początkowo obsadzenia stanów  $|a\rangle$  oraz  $|s\rangle$  są jednakowe, ale stan  $|s\rangle$  zanika znacznie szybciej niż stan  $|a\rangle$ , a to oznacza, że po pewnym czasie ( $\Gamma t \approx 2$ ) populacja stanu symetrycznego jest już prawie równa zero, podczas gdy populacja stanu antysymetrycznego jest ciągle niezerowa. Nadal mamy więc w układzie pewien sto-

pień splątania, który mierzony wartością zgodności  $\mathcal{C}$  jest równy populacji stanu antysymetrycznego. Dla dostatecznie długich czasów  $\mathcal{C}(t) = \rho_{aa}(t)$ , a więc to stan antysymetryczny odgrywa kluczową rolę.

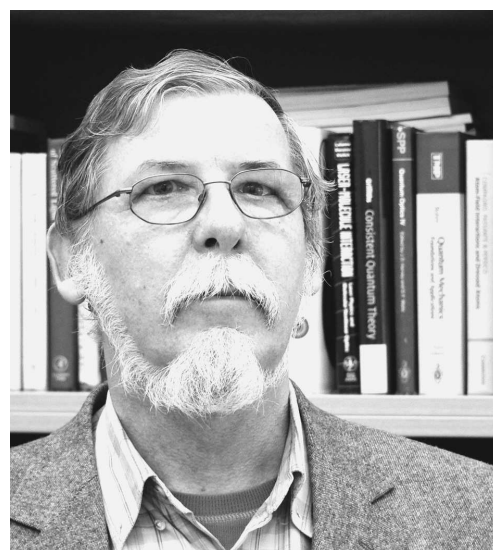


Rys. 6. Ewolucja  $\mathcal{C}(t)$ ; jeden atom wzbudzony ( $|\Psi(0)\rangle = |e_1\rangle \otimes |g_2\rangle$ ) przy  $r_{12} = \lambda/12$  ( $\Gamma_{12} = 0,95\Gamma$ ,  $2\Omega_{12} = 9,30\Gamma$ )

Jak widać, znajomość stanów kolektywnych dwóch atomów i ich ewolucji pozwala wejrzeć głębiej w fizyczną naturę splątania kwantowego, a proste relacje między różnymi stopniami splątania i fizycznymi parametrami opisującymi kolektywną emisję spontaniczną z układu dwóch atomów mogą być bardzo pouczające.

## Literatura

- [1] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Phys. Rev.* **47**, 777 (1935).
- [2] Z. Ficek, R. Tanaś, *Phys. Rep.* **372**, 369 (2002).
- [3] R. Tanaś, Z. Ficek, *J. Opt. B* **6**, S90 (2004).
- [4] W.K. Wootters, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 2245 (1998).
- [5] A. Peres, *Phys. Rev. Lett.* **77**, 1413 (1996).
- [6] M. Horodecki, P. Horodecki, R. Horodecki, *Phys. Lett. A* **223**, 1 (1996).



Prof. RYSZARD TANAŚ jest fizykiem teoretykiem zajmującym się optyką kwantową, a ostatnio także informatyką kwantową. Od 1993 roku kieruje Zakładem Optyki Nieliniowej IF UAM. W latach 1999–2002 był członkiem Komitetu Fizyki PAN, jest członkiem Rady Naukowej Krajowego Laboratorium FAMO. Przez trzy kadencje działał w Komisji Elektroniki Kwantowej IUPAP jako członek, sekretarz, a następnie wiceprzewodniczący. Jest kierownikiem Studiów Doktoranckich na Wydziale Fizyki UAM. Czas wolny chętnie spędza na górskich wędrownkach lub na nartach.

# Einstein, Wszechświat i my\*

Michał Heller

Wydział Filozoficzny, Papieska Akademia Teologiczna, Kraków  
oraz Watykańskie Obserwatorium Astronomiczne, Castel Gandolfo

---

## Einstein, the universe, and ourselves

*Abstract:* Einstein's struggle with the correct formulation of the field equations of his general theory of relativity is briefly described. These equations contain a huge amount of information about the universe, its structure and evolution (of which Einstein himself was not aware). This fact poses questions on the nature of mathematics, on the nature of the universe, and on the nature of our mind which creates (discovers?) mathematics and employs it to investigate the universe.

---

### Cztery czwartki, które wstrząsnęły światem

Najpierw uświadommy sobie scenerię. Jest jesień 1915 roku. Na świecie szaleje wojna, która jeszcze nie wkroczyła w ostateczną, decydującą fazę. Obie strony liczą na zwycięstwo. Jak zwykle w takich sytuacjach, wkoło panuje patriotyczna euforia, której jakoś nie bardzo przeszkadza przelewana na frontach krew. W tym samym czasie w Berlinie, w Pruskiej Akademii Nauk, w kilka kolejnych czwartków Einstein przedstawia wyniki swoich przemyśleń. Jaki wpływ miało na niego to, co się działo wokoło? Czy świat matematycznych równań i rzeczywistość, jaka się za nimi kryje, całkiem pochłaniały jego wyteżoną uwagę? Czy odgłosy z frontów wojny były tylko „lokalnymi efemerydami” bez żadnego znaczenia dla fizyki świata, która go absorbowwała? A może to wszystko było dla niego formą ucieczki od zbyt nielogicznej rzeczywistości?

Jeżeli wierzyć biografom Einsteina, ten okres w jego życiu był poprzedzony głębokim kryzysem. Einstein zrozumiał, że jego dotychczasowe prace, zmierzające do stworzenia nowej teorii grawitacji, nie prowadzą do celu. Ale właśnie na końcu ciemnego tunelu zablęsnęło światło...

Czwartek, 4 listopada 1915 r. Na plenarnej sesji Pruskiej Akademii Nauk Einstein przedstawia nową wersję swojej teorii. Jest już pewien, że równania pola muszą być „ogólnie kowariantne”, ale z ich kowariantnością ma ciągle kłopoty. Radzi sobie z nimi, zawężając klasę dopuszczalnych przekształceń do tzw. przekształceń unimodularnych (tzn. o wyznaczniku równym jedności). I proponuje równania pola, które wprawdzie różnią się od późniejszej, poprawnej ich postaci, ale które dla słabych pól grawitacyjnych dają przybliżenie newtonowskie. Lecz Einstein czuje, że to jeszcze nie to...

Następny czwartek, 11 listopada. Na równania pola Einstein nakłada dodatkowy, ograniczający warunek. Pod

względem ogólności jest to krok wstecz, ale za to estetyka równań zyskuje na tym ograniczeniu. Już w poprzedniej wersji filozofia równań zamykała się w idei, że rozkład materii (prawa strona równań) ma wyznaczać geometrię czasoprzestrzeni (lewą stronę równań), ale teraz geometrię reprezentuje estetycznie prosty tensor Ricciego.

Twórczy niepokój widocznie na jakiś czas się uspokaja, bo Einstein przystępuje do zbadania obserwacyjnych konsekwencji swych równań. Oblicza ruch peryhelionowy Merkurego i zakrzywienie promieni świetlnych przechodzących w pobliżu Słońca. Obliczając te efekty, wykorzystuje się równania Einsteina dla pustej czasoprzestrzeni, w której odpowiednie masy są przedstawiane jako punkty materialne. Tak się szczęśliwie składa, że równania zaproponowane przed tygodniem i równania poprawne dla pustej czasoprzestrzeni pokrywają się (mają one postać: tensor Ricciego = 0). Dzięki temu efekty obserwacyjne obliczone przez Einsteina są poprawne.

Czwartek, 18 listopada. Einstein przedstawia wyniki swoich rachunków. Ruch peryhelionowy Merkurego to 43,03'' na stulecie. Einstein porównuje ten wynik ze znanymi wówczas pomiarami Simona Newcomba, dającymi (45 ± 5)'' (obecne dane to (43,11 ± 0,45)'' na stulecie). Przechodząc w pobliżu Słońca, promień światła winien ulec odchyleniu o 1,7'', co jest wartością około dwukrotnie większą od wartości, jaką Einstein otrzymał z poprzednich wersji swojej teorii. Pomiary wykonane przez dwie brytyjskie wyprawy podczas zaćmienia Słońca w 1919 r. dały wyniki (1,98 ± 0,16)'' oraz (1,61 ± 0,40)''.

Znacznie później Einstein przyzna, że było dla niego wielkim wstrząsem, gdy w ten sposób przyroda doń przemówiła. Zwierzy się Fokkerowi, że gdy porównał wyniki swoich rachunków z danymi obserwacyjnymi, doznał palpacji serca [1].

---

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie (wrzesień 2005) w sesji plenarnej.

Mimo tego sukcesu coś jeszcze Einsteinowi nie dało spokoju. Po wielu latach, patrząc wstecz na swoje dokonania, powie, że są dwa kryteria poprawności teorii fizycznej: zgodność z doświadczeniem i wewnętrzna doskonałość (ang. inner perfection). Doświadczenie wydało już wyrok, ale równania nie były jeszcze doskonałe.

Czwartek, 25 listopada. Einstein znajduje nową postać tensora energii–pędu (opisującego rozkład materii w czasoprzestrzeni). Dzięki temu wszystko „wskakuje” na swoje miejsce. Jakiegokolwiek dodatkowe warunki stają się zbędne. Einstein wie, że teraz równania są „doskonałe”. W zakończeniu pisze: „Tym samym, wreszcie, zakończona została konstrukcja ogólnej teorii względności jako logicznej struktury” (por. [2]).

W ten sposób na scenie naszego opowiadania pojawia się główny jego bohater – równania pola Alberta Einsteina. Ale zanim skupimy bezpośrednio na nich naszą uwagę, trzeba przypomnieć jeszcze jeden epizod związany z ich narodzinami. Bo oto, na pięć dni przed „ostatnim czwartkiem” Einsteina, David Hilbert przedstawia Towarzystwu Naukowemu w Getyndze poprawną postać równań pola. Czy więc to nie on jest odkrywcą ogólnej teorii względności?

Pomińmy szczegóły historyczne, np. to, że Hilbert zainteresował się problemem pola grawitacyjnego dzięki wykładom Einsteina w Getyndze kilka miesięcy wcześniej i przez pewien czas pozostawał z nim w częstym kontakcie listowym. Teoria fizyczna to nie tylko kwestia matematycznie poprawnych równań, lecz również ich fizycznej interpretacji. Równania można „odczytywać matematycznie”, tzn. badać przestrzeń, na jakiej są określone, analizować jej topologię, szukać nowych rozwiązań, konstruować przestrzeń wszystkich rozwiązań, badać problem warunków początkowych lub brzegowych itp. Ale jeżeli mamy do czynienia z teorią fizyczną, równania należy również „odczytać” z fizycznego punktu widzenia, tzn. odpowiednio zinterpretować wyrażenia matematyczne, niektórym z nich przypisując wielkości dające się zmierzyć, wykazać, że empiryczne efekty przewidywane przez dotychczasową teorię można wyprowadzić (w odpowiednim przybliżeniu) z nowych równań, obliczyć nieznanie dotychczas przewidywania, które dałoby się porównać z wynikami doświadczeń. Jeżeli nawet przyznalibyśmy Hilbertowi pierwszeństwo w znalezieniu i matematycznym odczytaniu równań pola grawitacyjnego, to niewątpliwym autorem ich fizycznego odczytania, a więc twórcą ogólnej teorii względności, jest Einstein. Pamiętać również należy, że bez długiej i żmudnej drogi, która prowadziła Einsteina od szczególnej teorii względności do finałowych czterech czwartków, prawdopodobnie nikt by nawet nie pomyślał (przynajmniej w tamtym okresie), że w ogóle trzeba poszukiwać nowej teorii grawitacji (wkład Einsteina i Hilberta w powstanie ogólnej teorii względności jest omówiony w [3]).

## Równania

Opowiadanie nasze jest poświęcone nie Einsteinowi, lecz równaniom Einsteina. W zapisie tensorowym jest to

jedno równanie równoważne układowi dziesięciu skalar-nych nieliniowych równań różniczkowych drugiego rzędu. „Niewiadomymi” są składowe tensora metrycznego, które – z matematycznego punktu widzenia – określają geometrię czasoprzestrzennej sceny, a fizycznie interpretuje się je jako potencjały pola grawitacyjnego. Ta podwójna, matematyczno-fizyczna interpretacja składowych tensora metrycznego jest wyrazem tego, że – jak mówimy – pole grawitacyjne przejawia się jako „zakrzywienie czasoprzestrzeni”. Ponieważ obie strony równań spełniają różniczkową zasadę zachowania (ich dywergencja równa się zeru), liczba niezależnych składowych redukuje się z dziesięciu do sześciu (cztery dodatkowe stopnie swobody odpowiadają dowolności w wyborze układu współrzędnych).

W żmudnej drodze do równań pola przyświecała Einsteinowi myśl, którą jeszcze za młodu wyczytał w książce Ernsta Macha poświęconej mechanice klasycznej i jej historii [4]. Mach starał się wyeliminować z mechaniki wszystkie pojęcia, których nie dałoby się związać z bezpośrednio mierzalnymi wielkościami. Jego krytyka skierowana była przede wszystkim przeciwko newtonowskiemu pojęciu absolutnej przestrzeni. W fizyce Newtona przestrzeń ta odgrywa rolę uniwersalnego układu odniesienia, względem którego mierzy się siły bezwładności. To dyliżans porusza się naprawdę (względem absolutnej przestrzeni), a nie droga w przeciwną stronę, ponieważ, gdy dyliżans nagle się zatrzyma, walizki spadną pasażerom na głowy. Mach, dla którego absolutna przestrzeń nie była pojęciem fizycznym, lecz „metafizycznym wtrętem”, utrzymywał, że rolę uniwersalnego układu odniesienia mogą odgrywać „wszystkie masy obecne we Wszechświecie”. Einstein przejął się tą myślą, nazwał ją zasadą Macha i usiłował ją wcielić do swojej nowej teorii grawitacji. Stąd pomysł, że rozkład mas we Wszechświecie winien całkowicie determinować geometrię czasoprzestrzeni. Równania pola ogólnej teorii względności miały w intencji Einsteina być matematycznym urzeczywistnieniem tego programu.

Jest rzeczą zdumiewającą, jak subtelnie równania Einsteina wykonują swoje zadanie (choć nie zawsze zadanie narzucone im przez Einsteina). Równania fizyki matematycznej (np. równania Maxwella) są z zasady określone na jakiejś przestrzeni; nie mogą być przecież „zawieszane w próżni”. Tymczasem równania Einsteina same określają przestrzeń (ściślej – jej własności metryczne), na której są zdefiniowane. Einstein chciał, w myśl zasady Macha, żeby określały ją całkowicie. Musiało upłynąć kilkadziesiąt lat, zanim fizycy teoretycy i matematycy rozszyfrowali misterną architekturę równań Einsteina. A i dziś kryją one jeszcze w sobie wiele niespodzianek.

Bogactwo równań Einsteina jest ogromne, ale równocześnie tworzy ono tak harmonijną strukturę, że niekiedy trudno oprzeć się wrażeniu niezwyklej prostoty. Jesteśmy przyzwyczajeni, że zapisuje się je w postaci jednego równania tensorowego. Wówczas wszystko wygląda niemal naiwnie prosto: prawa strona, opisująca „rozkład materii”, mówi lewej stronie, jak ma się „zakrzywić geometria”; z kolei lewa strona, wyznaczająca geometrię, mówi prawej, jak ma się poruszać materia:

$$\underbrace{R_{ik} - Rg_{ik}}_{\substack{\text{geometria} \\ \text{czasoprzestrzeni}}} + \underbrace{\Lambda g_{ik}}_{\substack{\uparrow \\ \text{stała} \\ \text{kosmologiczna}}} = \underbrace{-\kappa T_{ik}}_{\text{rozkład materii}} .$$

Obraz się komplikuje, gdy równanie tensorowe rozpiszemy na składowe. Otrzymujemy wówczas układ sześciu niezależnych równań różniczkowych i nawet niedoświadczony fizyk widzi, że i tych sześć równań zapisano w skondensowanej postaci. Każdy z członów jest skrótem wyrażenia bardziej skomplikowanego. Ocenia się, że gdyby zapisać równania Einsteina bez żadnych skrótów, liczba członów byłaby rzędu dziesięciu tysięcy.

Co więc z wrażeniem prostoty? Okazuje się, że gdy trzeba zastosować równania do modelowania konkretnej sytuacji (zapadającej się gwiazdy, Wszechświata), można je zredukować do jednego lub kilku stosunkowo prostych równań, które dają całkiem dobre przybliżenie (zgodne z dokładnością testów obserwacyjnych). Prawdopodobnie tę cechę równań Einstein miał na myśli, gdy mawiał, iż Pan Bóg jest wyrafinowany (bo posłużył się tak skomplikowanym układem równań), ale nie złośliwy (bo pozwolił nam posługiwać się prostymi, lecz skutecznymi przybliżeniami).

## Równania i Wszechświat

Zastosowanie równań ogólnej teorii względności do kosmologii nie było ekstrawaganckim pomysłem Einsteina, lecz stanowiło kolejny, logiczny krok w jego programie. Jeżeli ma być spełniona zasada Macha, to trzeba sprawdzić, czy istotnie rozkład „wszystkich mas we Wszechświecie” jednoznacznie określa geometrię czasoprzestrzeni, czyli trzeba zbudować model kosmologiczny. Tym bardziej, że fizyka newtonowska wikała się w trudności i paradoksy, przy wszelkich próbach stosowania jej praw do opisu Wszechświata jako całości (paradoks Olbersa, paradoks Seeliger’a, kłopoty z drugą zasadą termodynamiki). Warto więc było sprawdzić, czy ogólna teoria względności jest pod tym względem lepsza od swojej poprzedniczki.

8 lutego 1917 r., i tym razem na posiedzeniu Akademii Nauk w Berlinie, Einstein wygłosił odczyt „Kosmologiczne rozważania nad ogólną teorią względności”, którego tekst wkrótce ukazał się w tomie sprawozdań tejże Akademii [5]. Praca ta ma dziś znaczenie historyczne, i to w podwójnym sensie: po pierwsze dlatego, iż wiemy obecnie ponad wszelką wątpliwość, że zaproponowany w niej model kosmologiczny nie zgadza się z obserwacjami (ma więc znaczenie tylko dla historii), a po drugie, ponieważ praca ta oznaczała przełom w historii kosmologii. Stanowiła ona bowiem początek kosmologii relatywistycznej. Można mieć obecnie zastrzeżenia co do różnych „danych kosmologicznych”, ale jedno wiadomo na pewno: współczesna nauka o Wszechświecie musi być oparta na ogólnej teorii względności, czyli musi być kosmologią relatywistyczną.

I tym razem w centrum zagadnienia znalazły się równania pola. Jeżeli chce się sprawdzić, czy zasada Macha jest spełniona w ogólnej teorii względności, należy odpowiedzieć na pytanie: jak rozkład materii we Wszechświecie określa geometrię czasoprzestrzeni? Co do rozkładu materii Einstein przyjął najprostsze założenie – jej średnia gęstość jest wszędzie w przybliżeniu taka sama. Ale tu pojawił się problem: trzeba przyjąć warunki brzegowe w nieskończoności – jakie to mają być warunki? Alternatywnym rozwiązaniem byłaby koncepcja wszechświata-wyspy: istnieje jedno zbiorowisko gwiazd (dziś powiedzielibyśmy – galaktyka) w nieskończonej, pustej przestrzeni. Tę możliwość Einstein szybko odrzucił. Zauważył bowiem, iż proste rozważania statystyczne prowadzą do wniosku, że taka konfiguracja nie mogłaby być trwała: gwiazdy stopniowo wyparowywałyby „do nieskończoności”.

Milczącym założeniem wszystkich tych rozważań było przekonanie, że przestrzeń jest „statyczna” – ani się nie rozszerza, ani nie kurczy. I tu znowu pojawił się problem: wśród rozwiązań równań pola Einstein nie znalazł ani jednego, które by spełniało wszystkie ustalone przez niego warunki. Rozwiązanie takie należało więc jakoś „wymusić”. Einstein spostrzegł, że można to osiągnąć przez dodanie do równań członu z pewną stałą, którą nazwał stałą kosmologiczną. Wówczas pojawia się rozwiązanie ze statyczną przestrzenią wypełnioną materią o stałej gęstości  $\rho$ , co więcej, istnieje możliwość zlikwidowania problemów z warunkami brzegowymi w nieskończoności. Jeżeli przyjąć, że przestrzeń ma topologię sfery, znika nieskończoność, a wraz z nią konieczność przyjmowania warunków brzegowych. Mamy więc „całkowicie machowski” model kosmologiczny: istnieje tylko jedno wewnętrznie spójne („konsystentne”) rozwiązanie z jednostajnym rozkładem materii, czyli rozkład materii jednoznacznie determinuje geometrię czasoprzestrzeni.

## Przegrana Einsteina

Einstein jednak nie docenił swoich równań. Jeżeli bardzo chce się osiągnąć jakiś wynik, to można tak zinterpretować matematyczne struktury, żeby na jakiś czas poddały się naszym wyobrażeniom. Ale jeżeli nasza interpretacja nie jest poprawna, matematyka prędzej czy później obnaży jej fałszywość. W przypadku statycznego modelu Einsteina stało się to znacznie prędzej, niż jego twórca mógł przypuszczać. W tym samym roku 1917 holenderski astronom Willem de Sitter znalazł nowe rozwiązanie równań Einsteina z różną od zera stałą kosmologiczną, ale równą zeru gęstością materii. Co więcej, wkrótce – dzięki pracom Lemaître’a i Robertsona – okazało się, że pusty świat de Sittera rozszerza się: dwie umieszczone w nim próbne masy punktowe oddalają się od siebie. Jest to kompromitująca własność antymachowska: gęstość materii jest zerowa, a geometria czasoprzestrzeni jest dobrze określona. Materia nie determinuje więc jednoznacznie struktury czasoprzestrzeni.

Einstein znalazł się w pułapce. Jego filozofia nie chciała dać się upakować w równania. Trzeba było zupełnie nowego spojrzenia. Być może właśnie dlatego pa-



łeczkę przejęli inni. Aleksander Friedman [6] i Georges Lemaître [7] znaleźli wiele nowych rozwiązań równań Einsteina. Okazało się, że statyczne rozwiązanie Einsteina i puste rozwiązanie de Sittera są tylko przypadkami skrajnymi. Pierwsze przedstawia świat z dużą gęstością materii, ale bez ruchu (świat statyczny); drugie – świat z zerową gęstością, ale szybko ekspandujący. Pomiędzy nimi istnieje nieskończenie wiele rozwiązań „pośrednich” – o różnej gęstości i różnym tempie ekspansji. Wśród nich są rozwiązania zarówno ze stałą kosmologiczną, jak i bez niej. Wkrótce Howard P. Robertson [8] i Arthur G. Walker [9] zbadali dokładnie geometrię tych rozwiązań.

Do wszystkich tych odkryć Einstein odnosił się z rezerwą. Wszechświat jest jeden i jego strukturę powinno dać się wydedukować z jakichś dobrze uzasadnionych zasad ogólnych. Tymczasem młoda kosmologia zmierzała wyraźnie w innym kierunku. Stało się jasne, że istnieje wiele różnych modeli kosmologicznych i jeżeli chce się spomiędzy nich wybrać te, które dobrze przybliżają strukturę rzeczywistego Wszechświata, można to zrobić jedynie przez porównywanie ich przewidywań z obserwacjami. Einstein nie był w pełni świadom tego, że w tym czasie astronomowie także nie próżnowali. W roku 1923 Edwin Hubble wyznaczył odległość do Wielkiej Mgławicy w Andromedzie. Okazało się, że odległość ta jest przynajmniej o rząd wielkości większa od odległości do najdalszych gwiazd. Mgławica jest więc inną galaktyką. Analizy widm mgławic spiralnych (galaktyk), przeprowadzane od jakiegoś czasu, wykazywały systematyczne przesunięcia linii widmowych w stronę czerwieni. W roku 1929 Hubble ustalił dla galaktyk zależność: im galaktyka dalej położona, tym większe przesunięcie ku czerwieni w jej widmie. Jeżeli przyjąć naturalną, dopplerowską interpretację poczerwienienia, to wniosek jest nieunikniony – Wszechświat się rozszerza.

Einstein ze sporym opóźnieniem i z dużymi oporami przyjął ten wniosek do wiadomości. Gdy w końcu musiał ulec wymowie faktów, stwierdził, że wprowadzenie stałej kosmologicznej było „największym błędem jego życia”. Istotnie, gdyby nie narzucał równaniom swojej filozofii, lecz przyjął ich werdykt, mógłby przewidzieć rozszerzanie się Wszechświata, zanim zostało odkryte przez astronomów (wnikliwym studium historycznym przejścia od Wszechświata statycznego do ekspandującego jest monografia [10]).

## Muzyka sfer

W ten sposób równania pola weszły na drogę sukcesów. W ciągu następnego okresu (trwającego zresztą do dziś) znajdowano coraz to nowe ich rozwiązania i dopasowywano do nich różne interpretacje (co na ogół nie było rzeczą łatwą). A potem obserwacje astronomiczne (coraz bardziej skuteczne dzięki postępom technik obserwacyjnych) nieodmiennie pokazywały, że równania jakoś przedziwnie wiedzą, co rzeczywiście istnieje. W ten sposób odkryto fale grawitacyjne, gwiazdy neutronowe, czarne dziury, zrozumiano procesy narodzin, ewolucji i umierania masywnych gwiazd, wiele mechanizmów powstawania

galaktyk, ich gromad i supergromad, zrekonstruowano kolejne etapy historii Wszechświata od Wielkiego Wybuchu aż do obecnej ery galaktycznej (choć ciągle jeszcze istnieją luki w tej rekonstrukcji). Jest rzeczą zrozumiałą, że we wszystkich tych osiągnięciach informacje wydobywane z równań Einsteina należało uzupełniać informacjami pochodzącymi z innych dziedzin fizyki, ale to też jest zadziwiającą cechą einsteinowskich równań – nie są one zapisem na marginesach innych teorii fizycznych, lecz wchodzą z nimi w ściśle oddziaływanie.

Co więcej, równania Einsteina spowodowały ferment, jeśli nie wręcz rewolucję, w niektórych działach matematyki. Przede wszystkim zmieniły oblicze geometrii różniczkowej, która ze zbioru dość oczywistych zastosowań rachunku różniczkowego i całkowitego stała się autonomiczną dziedziną, bogatą w nowe techniki rachunkowe. Pracę w jednym układzie współrzędnych trzeba było zastąpić analizą globalną, która – za pomocą metod topologii, teorii grup, teorii funkcji i innych – daje geometryczny ogląd całości. To prawda, że w wypracowywaniu tych metod fizycy często korzystali z tego, co matematycy znali już przedtem, ale zależności w przeciwnym kierunku były przynajmniej tak samo silne. Bez ogólnej teorii względności współczesna geometria z pewnością wyglądałaby zupełnie inaczej.

W einsteinowskich równaniach pola fizyka i matematyka są niezwykle zespolone ze sobą. Jest to zresztą cechą całej „fizyki matematycznej”. Między strukturami matematycznymi a strukturą świata zachodzi dziwny rezonans i równania Einsteina (podobnie jak inne równania fizyki matematycznej) rezonans ten jakoś wyrażają. Słowo „rezonans” wydaje się tu szczególnie trafne. Odsyła nas ono do porównań muzycznych (już starożytni pitagorejczycy mówili o „muzyce sfer”). Istotnie, matematyka do struktury świata ma się trochę tak, jak partytura do wykonywanego utworu. Partytura składa się z symboli wymyślonych przez nas, ale dekretuje wewnętrzną strukturę muzyki. Nuty-symboli są tworzywem muzyki, ale nie są muzyką. Muzykę komponuje się przy użyciu nut, ale muzyka jest nieskończenie bogatsza od zestawu nut – zależy od talentu wykonawcy, od nieprzewidywalnych wibracji instrumentu, od akustycznych własności miejsca, w jakim się ją wykonuje. . . I przede wszystkim partytura istnieje inaczej niż grany utwór muzyczny. Partytura jest reprezentacją pewnej dźwiękowej „wizji” kompozytora, podczas gdy wykonywany utwór jest fizycznym procesem, do którego istoty należy jednak to, żeby odzwierciedlał wizję kompozytora i był jakoś „odbierany” przez słuchaczy.

Każde porównanie coś odsłania i coś zniekształca. Gdy mówimy, że matematyka jest partyturą symfonii świata, jakoś pomagamy swojej wyobraźni, ale zapewne gubimy coś istotnego. W każdym razie, podobnie jak w relacji partytura–utwór muzyczny, również w relacji matematyka–świat nie możemy pominąć roli człowieka. To przecież człowiek tworzy (odkrywa?) matematykę i stosuje ją do badania świata. Jego mózg, choć sam jest wytworem długiego procesu ewolucji, a więc częścią struk-

tury świata, wytworzył w sobie jakąś „nadwyżkową” zdolność odwzorowywania w sobie przynajmniej niektórych aspektów struktury świata. Tej zdolności nauka zawdzięcza swoje istnienie. Jest to własność „nadwyżkowa”, ponieważ nic nie wskazuje na to, żeby była mu ona niezbędna do wygrywania w ewolucyjnej walce o przeżycie. Najzupełniej wystarczałyby do tego znajomość elementarnej, praktycznej mechaniki, potrzebnej do tego, by uchylić się przed lecącym kamieniem.

## Kosmiczne zapętlenie

Między człowiekiem a strukturą kosmosu istnieje dziwne zapętlenie. W człowieku kosmiczna ewolucja osiągnęła poziom samoświadomości i dzięki temu mógł się związać proces racjonalnego rozumienia świata. Co więcej, wiele racji wskazuje na to, że nic ewolucyjna, która doprowadziła do powstania samoświadomości, jest bardzo subtelnie wpleciona w strukturę Całości. Przywołać tu trzeba tzw. antropiczne koincydencje. Ich istota sprowadza się do tego, że pozornie zupełnie od siebie niezależne stałe i pewne ważne parametry fizyczne łączy zaskakująca cecha: stosunki ich wartości są dokładnie takie, jakich wymagają warunki niezbędne do powstania życia opartego na chemii węgla. Przypomnijmy niektóre z nich.

Siła grawitacji, kształtująca wielkoskalową strukturę Wszechświata, jest ok.  $10^{40}$  razy słabsza od siły elektromagnetycznej, odpowiedzialnej za strukturę wiązań chemicznych. Gdyby ten stosunek wynosił tylko  $10^{33}$ , gwiazdy spalałyby się milion razy szybciej, co zablokowałoby syntezę węgla.

Gdyby silne oddziaływanie jądrowe było jedynie o 2% silniejsze niż obecnie, nie mogłyby powstać protony, a więc i atomy pierwiastków chemicznych.

Słabe oddziaływanie jądrowe jest  $10^{28}$  razy silniejsze od grawitacji; gdyby było tylko nieco słabsze, cały wodór zamieniłby się w hel. A bez wodoru nie byłoby wody niezbędnej do życia.

Wreszcie proces, który dotyczy nas bezpośrednio – produkcja węgla we wnętrzach masywnych gwiazd. Proces ten wymaga niezwykle precyzyjnego zgrania silnego oddziaływania jądrowego i oddziaływania elektromagnetycznego. Synteza jednego jądra węgla z trzech jąder helu we wnętrzach gwiazd zależy od istnienia w strukturze jądra węgla rezonansu odpowiadającego dokładnie energii 7,65 MeV. Rezonans ten stwarza niezwykle wąskie okno, trwające  $10^{-17}$  sekundy, podczas którego cały proces musi się dokonać. Bez tego okna nie byłoby szans na nasze zaistnienie!

Takich koincydencji jest znacznie więcej (patrz [11]). Rodzą one morze pytań. Czy Wszechświat jest taki, ponieważ my tu jesteśmy? A może te wszystkie „koincydencje” są ubocznym produktem jakichś innych strukturalnych, kosmicznych konieczności? Albo istnieje nieskończenie wiele wszechświatów, w których realizują się wszystkie możliwe zestawy warunków początkowych i wartości stałych fizycznych, a my żyjemy w tym, a nie innym wszechświecie, bo w innym być byśmy nie mogli? Lub jeszcze

inna możliwość: po prostu wartościami stałych fizycznych nie można dowolnie „manipulować”, ponieważ struktura całości jest tak „sztywna”, że jakiegokolwiek jej zaburzenie spowodowałoby ruinę wszystkiego.

Są to wielkie pytania „filozofii Wszechświata”. Nieprędko będziemy znali na nie odpowiedzi, być może nigdy. Zauważmy, że wyłoniły się one z refleksji nad możliwością zaistnienia życia opartego na węglu i do ich sformułowania wcale nie trzeba odwoływać się do istnienia człowieka. Gdyby we Wszechświecie istniały tylko ameby, warunki początkowe kosmosu i stałe fizyczne musiałyby być równie precyzyjnie zestrojone. Zasada prawdziwie antropiczna, a więc odnosząca się do człowieka, winna wyrażać coś znacznie więcej, a mianowicie „kosmiczne ograniczenia” niezbędne do powstania samoświadomości. Na obecnym etapie rozwoju nauki nawet nie bardzo wiemy, jak zabrać się do „ugryzienia” tego problemu.

Są to rozważania, które, choć wychodzą z nauki, wdzierają się głęboko w teren tradycyjnie zarezerwowany dla filozofii. Pytania filozoficzne poznaje się po tym, że zmuszają do myślenia nawet wtedy, gdy nie ma na nie odpowiedzi.

## Powrót stałej kosmologicznej

Od pytań, na które nie znamy odpowiedzi, wróćmy do równań, które – choć w sposób wysoce wyrafinowany – uchylają nam jednak rąbka tajemnicy Wszechświata. Einstein uznał wprowadzenie stałej kosmologicznej do równań pola grawitacyjnego za największy błąd swojego życia. Takie deklaracje należy wszakże traktować bardzo ostrożnie. Warto najpierw zapytać równań, co one o tym sądzą. Jeśli zażądać od równań pola, by spełniały pewne naturalne warunki matematyczne (mają to być nieliniowe równania różniczkowe, cząstkowe, drugiego rzędu na składowe tensora metrycznego, liniowe ze względu na drugie pochodne), to okazuje się, że najogólniejszą postacią równań, spełniającą te warunki, są równania ze stałą kosmologiczną. Już Georges Lemaître starał się przekonać Einsteina, że ogólna teoria względności bez stałej kosmologicznej i ogólna teoria względności ze stałą kosmologiczną są dwiema różnymi teoriami i że zawsze w takich sytuacjach warto rozpatrywać teorię ogólniejszą. Ostatecznie bowiem powinno rozstrzygnąć między nimi doświadczenie (w szczególności doświadczenie może zawyrokować, że w granicach błędu stała kosmologiczna równa się zero). Bieg wydarzeń przyznał rację Lemaître’owi. Znacznie później, gdy stało się jasne, że teorie pól kwantowych muszą odgrywać ważną rolę w kształtowaniu struktury Wszechświata, zwrócono uwagę na fakt, że stałą kosmologiczną w równaniach Einsteina można interpretować jako opisującą gęstość próżni kwantowej. Spostrzeżenie to, w zestawieniu z danymi pochodzącymi z fizyki cząstek elementarnych, doprowadziło do nowej problematyki i ożywionych dyskusji wokół niej. Wszystko wskazuje na to, że Lemaître miał także rację, gdy odwoływał się do werdyktu doświadczenia. Najnowsze obserwacje supernowych typu Ia wskazują, że gdy Wszechświat był o połowę młodszy niż obecnie, jego rozszerzanie się nagle nabrało przyspieszenia. Narzucającym

się wyjaśnieniem tego faktu jest obecność stałej kosmologicznej w równaniach Einsteina.

Wniosek ten znajduje potwierdzenie także ze strony innych obserwacji. Obecnie na orbicie znajduje się satelita WMAP, który ciągle przysyła na Ziemię wyniki pomiarów promieniowania relikтового. Dzięki tym badaniom wiemy dziś, że materia w postaci znanych nam atomów jest odpowiedzialna za gęstość świata jedynie w ok. 5%. Pozostałe ok. 95% gęstości energii pozostaje dla nas zagadką. Z tego ok. 23% mogłaby stanowić tzw. zimna, ciemna materia. Najbardziej prawdopodobnym wyjaśnieniem reszty jest odpowiednio duża wartość stałej kosmologicznej. Ale historia nadal się toczy i równania Einsteina na pewno jeszcze niejedno będą nam miały do powiedzenia.

## Morał

Fizyku teoretyku! Gdy masz inne poglądy niż twoje równania (potwierdzone zgodnością ich przewidywań z wynikami pomiarów), nie ruszaj równań, zmień poglądy!

## Literatura

- [1] A. Pais, *Subtle is the Lord... – The Science and Life of Albert Einstein* (Oxford University Press, New York 1982), s. 253.
- [2] M. Heller, *Postępy Fizyki* **39**, 3 (1988).
- [3] J. Mehra, *Einstein, Hilbert, and the Theory of Gravitation* (Reidel, Dordrecht-Boston 1974).
- [4] E. Mach, *The Science of Mechanics* (Open Court, La Salle 1960). Pierwsze wydanie niemieckie w 1883 r.
- [5] A. Einstein, *Preuss. Akad. Wiss.* **1**, 142 (1917).
- [6] A. Friedman, *Zeitschr. für Phys.* **11**, 377 (1922); **21**, 326 (1924).
- [7] G. Lemaître, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* **47**, 49 (1927); **53**, 51 (1933).
- [8] H.P. Robertson, *Proc. Nat. Acad. Sci.* **5**, 822 (1929).
- [9] A.G. Walker, *Month. Not. Roy. Astron. Soc.* **94**, 159 (1934).
- [10] J. Turek, *Wszechświat dynamiczny – Rewolucja naukowa w kosmologii* (Redakcja Wydawnictw KUL, Lublin 1995).
- [11] J.D. Barrow, F.J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Clarendon Press, Oxford 1986).



Ks. MICHAŁ HELLER, ur. w 1936 r., jest zatrudniony jako profesor zwyczajny na Wydziale Filozoficznym Papieskiej Akademii Teologicznej w Krakowie oraz w Watykańskim Obserwatorium Astronomicznym. Jest także członkiem zwyczajnym Papieskiej Akademii Nauk. Jego dziedzinami badawczymi są: fizyka relatywistyczna, w szczególności kosmologia relatywistyczna, geometryczne metody w fizyce, filozofia przyrody i historia nauki, problematyka z pogranicza nauki i teologii. Jest autorem licznych prac naukowych i książek popularnonaukowych.



Panorama centrum Warszawy z budynkiem Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej na pierwszym planie (fot. Jan Grabski)

# Niezwykłe własności nanorurek węglowych\*

Elżbieta Zipper

*Instytut Fizyki, Uniwersytet Śląski, Katowice*

## The fascinating properties of carbon nanotubes

*Abstract:* Carbon nanotubes are currently the focus of intense interest worldwide. This is not surprising in light of their abilities to exhibit unique physical properties that cover broad areas of science and technology ranging from superstrong composites to nanoelectronics. A brief review of the remarkable properties of carbon nanotubes is presented.

### Wstęp

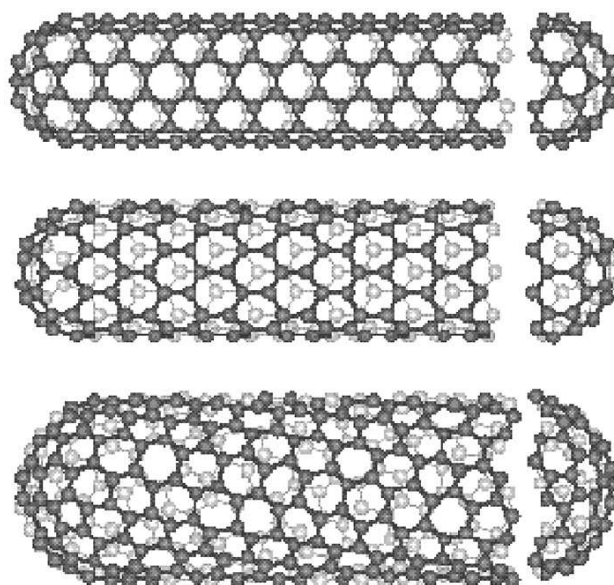
Nauka zaskakuje nas coraz bardziej niezwykłymi odkryciami. Jedno z ciekawszych spośród dokonanych w ostatnich kilkunastu latach dotyczy pierwiastka zdawałoby się dobrze poznanego – węgla. Do niedawna znano trzy jego odmiany alotropowe, różniące się strukturą krystaliczną lub cząsteczkową – diament, grafit i karbyn. Jednak w 1985 r. Harold Kroto, Robert Curl i Richard Smalley odkryli nową, alotropową i zarazem cząsteczkową formę tego pierwiastka, mającą kształt dwudziestościanu ściętego (podobny do piłki futbolowej) i nazwaną fulerenem (patrz R. Smalley, *Postępy Fizyki* **48**, 523 (1997)). Do wnętrza molekuł fulerenu można wciskać atomy różnych metali i mniejsze cząsteczki związków chemicznych. Niektóre z tak utworzonych związków mogą służyć w przyszłości jako leki, np. wykryto, że w wyniku połączenia cząsteczek fulerenów z grupami karboksylowymi otrzymuje się związki, które blokują działanie enzymów wirusa HIV.

### Budowa nanorurek

W roku 1991 Sumio Iijima, oglądając za pomocą mikroskopu elektronowego próbkę sadzy, dostrzegł w niej dziwne nici o średnicy kilku nanometrów i długości kilku mikrometrów. Te bardzo cienkie i długie cząsteczki nazwano nanorurkami. Mają one niezwykłe własności, co stawia je w kręgu zainteresowania nanotechnologii i współczesnej mikroelektroniki.

Nanorurki możemy sobie wyobrazić jako zwinięte w cylinder płaszczyzny grafitu. Zwijając pojedynczą płaszczyznę, otrzymamy tzw. nanorurkę jednościennej (ang. single-wall nanotube). W zależności od sposobu zwinięcia płaszczyzny grafitowej rozróżnia się dwa typy nanorurek – chiralne i niechiralne. Nanorurki niechiralne w zależności

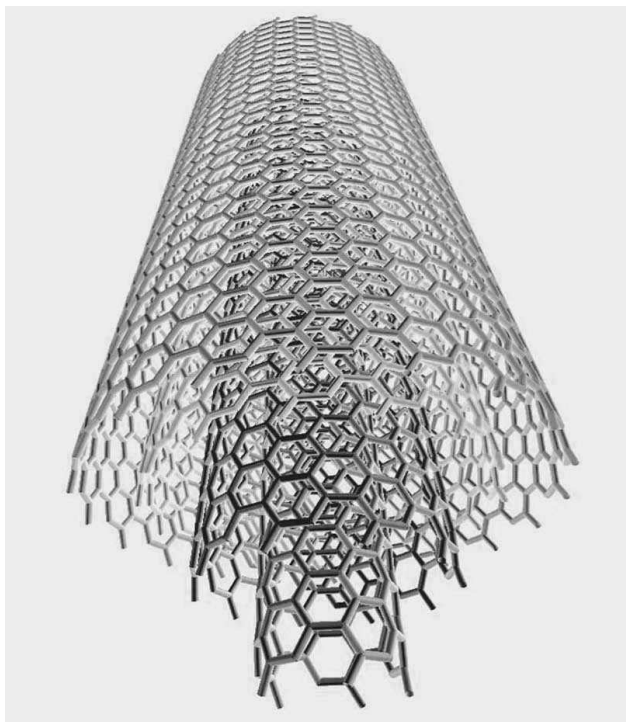
od kształtu ich krawędzi dzielą się ponadto na fotelikowe (ang. armchair) i zygzakowate (ang. zigzag) – rys. 1.



Rys. 1. Nanorurki jednościenne (długość ok. 1  $\mu\text{m}$ , średnica ok. 1 nm); od góry: nanorurka fotelikowa, nanorurka zygzakowata, nanorurka chiralna

Nanorurki mogą być zakończone półsferami fulerenów. Średnice najmniejszych nanorurek są rzędu 1 nm. Ponieważ stosunek długości nanorurki do jej średnicy może być rzędu  $10^2$ – $10^3$ , nanorurki można traktować w dobrym przybliżeniu jako struktury jednowymiarowe. Wkładając nanorurki o różnych średnicach jedną w drugą, otrzymamy nanorurkę wielościennej (ang. multiwall nanotube) – rys. 2.

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie (wrzesień 2005) w sesji plenarnej.



Rys. 2. Nanorurka wielościenne

## Wytwarzanie

Istnieje kilka metod wytwarzania nanorurek, lecz we wszystkich tworzą się one przy powolnej kondensacji gorących par atomów węgla. Gdy atomy węgla zaczynają się łączyć, powstające konfiguracje płaskie są niestabilne z powodu dużej energii niewysyconych wiązań na brzegach płaszczyzn. Właśnie dlatego nanocząsteczki tworzą struktury zamknięte typu fulerenów lub nanorurek – zmniejsza się w ten sposób energia układu. Należy zaznaczyć, że struktury takie zajmują rzeczywistą część diagramu fazowego związków krystalizujących w strukturze płaszczyznowej, jeśli rozmiary układu są mniejsze niż ok.  $0,1 \mu\text{m}$ . Nanorurki węglowe są najsłynniejszym przykładem takich struktur, ale ostatnio zsyntetyzowano wiele nanorurek z takich materiałów nieorganicznych, jak  $\text{MoS}_2$ , BN oraz  $\text{V}_5\text{O}_5$  [1].

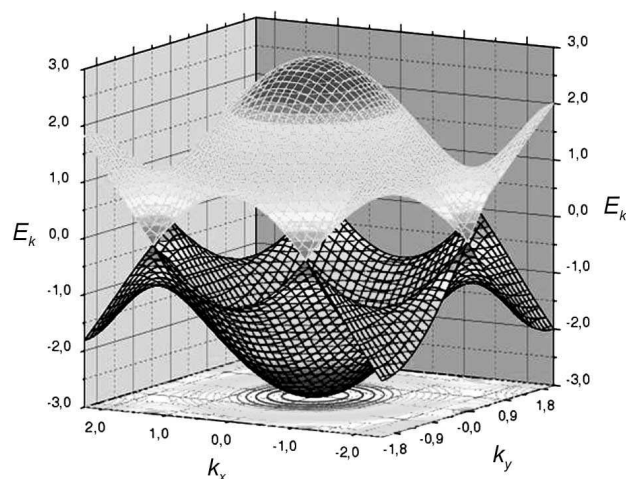
Technolodzy nie opanowali jeszcze dobrze metod produkcji nanorurek. W procesie ich wytwarzania otrzymuje się mieszaninę różnych struktur: nanorurek jedno- i wielościennej o różnych konfiguracjach ścianek, torusów, spiral i fulerenów.

## Właściwości

Nanorurki mają wiele ciekawych właściwości [1,2].

► W zależności od średnicy i stopnia skręcenia mogą się zachowywać jak metal lub półprzewodnik; co więcej, przyłożenie pola magnetycznego równoległego do osi nanorurki zmienia nanorurkę metaliczną w półprzewodnikową i na odwrót. Przyczyną tego niezwykłego zachowania leży w strukturze pasmowej. Płaszczyzny grafitu

(połączone między sobą bardzo słabymi siłami van der Waalsa) tworzą sieć o strukturze heksagonalnej. Związek dyspersyjny dla grafitu i nanorurek o średnicy większej niż  $1 \text{ nm}$  (rys. 3) ma kształt dwóch czasz (dla mniejszych nanorurek mogą występować odstępstwa od tego związku wywołane krzywizną). Dla czystych nanorurek obsadzona jest tylko dolna czasza i powierzchnia Fermiego składa się z 6 punktów. Jeżeli na powierzchni Fermiego znajdują się dyskretne stany pędowe wyznaczone z warunków brzegowych, to układ ma własności metaliczne. W przeciwnym razie na powierzchni Fermiego występuje przerwa energetyczna i układ jest półprzewodnikiem. Pole magnetyczne równoległe do osi przesuwają dozwolone stany pędowe, powodując zamykanie bądź otwieranie przerwy energetycznej i tym samym przemianę nanorurek metalicznych w półprzewodnikowe i na odwrót.



Rys. 3. Związek dyspersyjny dla nanorurki

► Bardzo silne wiązania między atomami węgla w płaszczyźnie grafitowej (wiązania te są przyczyną twardości diamentu) dają nanorurkom ogromną trwałość.

► Nanorurki mają bardzo duży moduł Younga, rzędu  $10^{12} \text{ N/m}^2$  (pięć razy większy niż żelazo). Wskutek tego ich deformacje są sprężyste i nanorurki są bardzo wytrzymałe na rozciąganie oraz zginanie. Trwają prace badawcze nad wyprodukowaniem przy użyciu nanorurek nowych materiałów o bardzo dużej trwałości i sprężystości. Będzie ich można używać m.in. do budowy domów w obszarach aktywności sejsmicznej i do wytwarzania karoserii samochodów.

► Nanorurki mogą przewodzić prąd o tak dużej gęstości (rzędu  $10^9 \text{ A/cm}^2$ ), że spowodowałyby on wyparowanie przewodnika ze złota lub miedzi; dzieje się tak dlatego, że nanorurki obecnie wytwarzane są strukturami bardzo czystymi i mają bardzo mały opór właściwy.

► Nanorurki mają bardzo dużą przewodność cieplną właściwą, sięgającą  $6000 \text{ W/(K}\cdot\text{m)}$  w temperaturze  $T = 300 \text{ K}$ , co może być przydatne w odprowadzaniu ciepła z elementów elektronicznych, których przegrzewanie się jest wciąż dużym problemem.

## Zastosowania

Nanorurki mogą znaleźć zastosowanie w mikroelektronice. Zmniejszeniu rozmiarów elementów aktywnych towarzyszy wzrost szybkości, gęstości upakowania i sprawności układów. Małym rozmiarom nanorurek zawdzięczamy też możliwość sterowania ruchem elektronów z niesłychaną precyzją.

Wykazano, że w nanorurkach występuje zjawisko blokady kulombowskiej [3,4] – oddziaływanie odpychające między elektronami uniemożliwia wprowadzenie do nanorurki więcej niż jednego dodatkowego elektronu naraz. Efekt ten może posłużyć do skonstruowania tranzystorów jednoelektronowych o najwyższej możliwej czułości. Udało się już zbudować działający w temperaturze pokojowej tranzystor z węglowej nanorurki, w którym wystarczy jeden elektron, by przełączyć go w stan przewodzenia prądu. Oznacza to ogromne zmniejszenie wypromiowanego ciepła, co z kolei pozwoli na zbudowanie w przyszłości procesorów setki razy szybszych niż obecne.

Wykazano też, że złącze między nanorurkami metalicznymi i półprzewodnikowymi zachowuje się jak dioda – pozwala na przepływ prądu tylko w jednym kierunku. Opracowano projekt komputera, w którym wszystkie elementy (tranzystory, złącza, urządzenia logiczne i rejestry, diody, prostowniki) zbudowane będą z nanorurek.

Nanorurki mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w elektronice.

- ▶ Wykorzystując zdolność nanorurek do emisji elektronów przy stosunkowo niskim napięciu, zbudowano kolorowe płaskie wyświetlacze graficzne.

- ▶ Umieszczenie nanorurek na końcu ostrza pomiarowego mikroskopu sił atomowych może zwiększyć jego zdolność rozdzielczą w poziomie ponad 10 razy, dzięki czemu można nim badać różne mikroobiekty, m.in. białka i DNA.

- ▶ Zbudowano już pamięć mechaniczną z nanorurek. Pod wpływem napięcia niektóre nanorurki zamykają obwód (stan „1”), a inne go otwierają (stan „0”).

- ▶ Powstały pierwsze nanopęsety o długości 5  $\mu\text{m}$ , których używa się do manipulowania obiektami o średnicy kilkuset nanometrów.

- ▶ Puste wnętrza nanorurek mogą służyć do przechowywania jonów, np. litu, umożliwiając budowę akumulatorów o bardzo długim czasie działania. Przewodnictwo nanorurek jest bardzo czułe na różne gazy (amoniak, tlen), mogą więc one służyć jako superczułe czujniki chemiczne.

- ▶ Naukowcy chińscy wyprodukowali już żarówki, w których tradycyjne druciki wolframowe zastąpiono nanorurkami. Te nowe źródła światła mają kilka zalet w stosunku do zwykłych żarówek (dłuższy czas świecenia, niższe napięcie progowe, stały opór w szerokim zakresie temperatury); przewiduje się, że za 3–4 lata będą one dostępne komercyjnie.

Wspomnijmy też o cenie – 1 g nanorurek kosztuje obecnie ok. 150 dolarów amerykańskich (dla porównania: cena 1 g złota to ok. 10 dolarów).

## Zjawiska fizyczne w nanorurkach

W nanorurkach można obserwować zjawisko interferencji kwantowej. W tym celu nanorurkę trzeba umieścić w polu magnetycznym równoległym do jej osi. W pracy [5] opór elektryczny mierzony wzdłuż nanorurki wykazywał silne oscylacje z okresem  $h/2e$ , będące przejawem transportu spójnego.

W Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego zajmujemy się badaniem magnetycznych i elektrycznych własności nanorurek, w których również ujawnia się spójność kwantowa. Przyłożenie pola magnetycznego równoległego do osi nanorurki wytwarza momenty magnetyczne rzędu stu i więcej magnetonów Bohra. W naszych pracach [6,7] zbadaliśmy, jak na te momenty magnetyczne wpływają: chiralność, promień i długość nanorurki, jej własności przewodzące oraz domieszkowanie elektronami i dziurami. Ponieważ w nanorurkach metalicznych wytwarzane są (przy małych polach) momenty paramagnetyczne, a w półprzewodnikowych – momenty diamagnetyczne, z uzyskanych przez nas zależności można odczytać wspomnianą bardzo interesującą cechę: przemianę nanorurek metalicznych w półprzewodnikowe i na odwrót pod wpływem przyłożonego pola magnetycznego.

Zaobserwowaliśmy też interesujące własności nanorurek wielościennych – częściowe ekranowanie pola magnetycznego we wnętrzu nanorurki przez diamagnetyczne prądy płynące w poszczególnych ściankach oraz możliwość wystąpienia momentów spontanicznych w nanorurkach z paramagnetyczną reakcją na pole magnetyczne [8]. Powyższe własności nanorurek powodują, że mogą one być wykorzystane jako czujniki pola magnetycznego, elementy pamięci oraz znaczniki w diagnostyce medycznej.

## Nanorurki w nanotechnologii

Wynalezienie nanorurek przyczyniło się istotnie do rozwoju nanotechnologii, czyli inżynierii w bardzo małej skali – manipulowania materią i jej przekształcania w skali pojedynczych atomów i molekuł. Pozwoli to w przyszłości budować dowolne struktury metodą łączenia pojedynczych atomów wybranych pierwiastków. Nanotechnologia dąży do zbudowania jak najmniejszych układów elektronicznych kodujących informację w układach kilku atomów czy molekuł. Pozwoli to skonstruować wydajniejsze komputery klasyczne, a w dalszej przyszłości może również komputery kwantowe, które będą wielokrotnie szybsze i zdolne podołać zadaniom zupełnie niewykonalnym dla obecnych komputerów. Można będzie też budować miniaturowe nanoroboty, które będą mogły wykonywać wiele czynności w obszarach niedostępnych lub niebezpiecznych dla człowieka. Wydaje się, że nanotechnologia może też znaleźć zastosowanie w precyzyjnej diagnostyce i terapii w medycynie.

Zwolennicy nanotechnologii twierdzą, że może ona przyczynić się do przemiany naszego świata bardziej niż odkrycie elektryczności. Czy tak będzie, pokaże czas.

## Literatura

- [1] *Carbon Nanotubes – Synthesis, Structure, Properties, and Applications*, red. M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, P. Avouris (Springer-Verlag, Berlin 2001).
- [2] *Nanoelectronics and Information Technology*, red. R. Wasser (Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2003).
- [3] S.J. Tans, A.R.M. Verschueren, C. Dekker, *Nature* **393**, 49 (1998).
- [4] P. Jarillo-Herrero i in., *Nature* **429**, 389 (2004).
- [5] A. Bachtold i in., *Nature* **397**, 673 (1999).
- [6] M. Szopa, M. Margańska, E. Zipper, *Phys. Lett.* **A299**, 593 (2002).
- [7] M. Margańska, M. Szopa, E. Zipper, *Phys. Rev. B* **72**, 115406 (2005).
- [8] M. Szopa, M. Margańska, E. Zipper, M. Lisowski, *Phys. Rev. B* **70**, 075406 (2004).

Prof. ELŻBIETA ZIPPER pracuje w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego. Od wielu lat zajmuje się fizyką układów mezoskopowych. Ostatnio bada własności magnetyczne i elektryczne nanorurek węglowych oraz stany splątane układów nanoskopowych.



## PTF



### Nagroda im. Włodzimierza Żuka

19 stycznia 2006 r. w Oddziale Lubelskim PTF odbyło się uroczyste wręczenie Nagrody im. Prof. Włodzimierza Żuka w dziedzinie spektrometrii masowej. Laureatem nagrody za rok 2005 został Tomasz Bieńkowski, który wykonał pracę doktorską „Zastosowanie spektrometrii mas do badania właściwości i reakcji anionów związków aromatycznych w fazie gazowej” pod opieką prof. Witolda Danikiewicza w Instytucie Chemii Organicznej PAN w Warszawie. Wręczenia nagrody dokonał przewodniczący Kapituły Konkursowej, prof. Stanisław Hałas, po czym zebrani wysłuchali referatu laureata. W badaniach użyto komercyjnie dostępnego spektrometru API 365 ze źródłem ESI (ang. ElectroSpray Ionization), które pozwala przeprowadzać do fazy gazowej różnorodne jony i badać ich reakcje oraz właściwości fizykochemiczne. Aby możliwe było wykonywanie tych badań, w spektrometrze zostały wprowadzone drobne modyfikacje. Głównym osiągnięciem nagrodzonej pracy było stworzenie prostej i wydajnej metody wytwarzania anionów fenylowych w fazie gazowej oraz opracowanie metodyki prowadzenia ich reakcji, m.in. reakcji wymiany protonu, karboksylowania za pomocą CO<sub>2</sub>, reakcji wytwarzania adduktów  $\sigma$  nitrozwiązków aromatycznych czy też reakcji halofilowej. Ponadto przy użyciu metody kinetycz-

nej Cooksa wyznaczono powinowactwo do protonu dla kilkudziesięciu anionów kwasów.



Moment wręczenia Nagrody im. Prof. W. Żuka w Instytucie Fizyki UMCS; od lewej: prof. Stanisław Hałas, dr Tomasz Bieńkowski

Regulamin konkursu o Nagrodę im. Prof. Włodzimierza Żuka można znaleźć na stronie [www.ptf.umcs.lublin.pl](http://www.ptf.umcs.lublin.pl).

Elżbieta Jartych

# Fizyka i zarządzanie ryzykiem finansowym\*

Zdzisław Burda

*Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego oraz Centrum Badania Układów Złożonych im. Marka Kaca  
Uniwersytet Jagielloński*

---

## From physics to financial risk management

*Abstract:* Many branches of modern economics use methods developed in natural sciences. In the article we briefly recall history of financial mathematics, quantitative finance and econophysics. We give examples of ideas developed in physics which have later turned out to be very useful in quantitative description of economical phenomena. In particular, we discuss in detail an application of random matrix theory, a theory which was originally formulated in quantum physics, to the problem of portfolio selection, being one of the most fundamental problems in quantitative finance.

---

## Od spekulacji do rachunku prawdopodobieństwa

Od dawien dawna spekulacje finansowe przyciągają zainteresowanie umysłów ścisłych. To one doprowadziły do powstania rachunku prawdopodobieństwa, którego podstawy zostały stworzone przez Blaise'a Pascala w połowie XVII wieku. W tym czasie we Francji rozkwitały gry losowe. Wraz ze wzrostem ich popularności wprowadzano do nich coraz bardziej wyszukane reguły, zakłady stawały się coraz bardziej skomplikowane, a ich stawki coraz wyższe. Coraz trudniej było szacować wysokość wygranej i opłacalność zakładów. W grze kostką nie zakładano się już tylko o to, czy w pojedynczym rzucie wypadnie szóstka, lecz np. o to, czy w 24 rzutach wystąpią dwie szóstki pod rząd. Francuski pisarz Antoine Gombaud Chevalier de Méré (1607–84), znany hazardzista, zaintrygował tym problemem Pascala, zwracając się do niego o pomoc w oszacowaniu sprawiedliwej wysokości wygranej w tym oraz kilku innych zakładach. Pascal napisał list do Pierre'a Fermata, dzieląc się z nim przemyśleniami na ten temat i rozpoczynając w ten sposób wymianę listów, która w efekcie doprowadziła do stworzenia podstaw klasycznej definicji prawdopodobieństwa. Kilka lat później Christiaan Huygens, znając treść tej korespondencji, napisał traktat *De Ratiociniis in Ludo Aleae* o hazardzie w grach losowych, uznawany za pierwsze drukowane dzieło na temat rachunku prawdopodobieństwa.

Przez długi czas rachunek prawdopodobieństwa koncentrował się prawie wyłącznie na grach losowych. To one były motorem rozwoju tego działu matematyki. Dopiero na

początku XIX wieku Pierre de Laplace w swoim klasycznym dziele *Théorie Analytique des Probabilités* wskazał na wiele teoretycznych i praktycznych zastosowań tego rachunku. Dziś wiemy, że bez rachunku prawdopodobieństwa nie można sobie wyobrazić fizyki, genetyki, ekonomii i wielu innych dziedzin nauki. Z rachunku prawdopodobieństwa wyrosła statystyka matematyczna, która podaje podstawowe metody analizy danych doświadczalnych, oraz wszechobecna w naukach przyrodniczych teoria ruchów Browna, opisująca również ewolucję cen akcji na giełdzie. Na niej opierają się współczesne teorie rynków finansowych i metody inżynierii finansowej.

## Ruchy Browna, Louis Bachelier i matematyka finansowa

Uważa się powszechnie, że teoria ruchów Browna, nazywanych też błędzeniem przypadkowym, została stworzona przez Alberta Einsteina w przełomowym dla niego roku 1905 i niezależnie rok później przez Mariana Smoluchowskiego. W rzeczywistości jednak już w 1900 roku Louis Bachelier, w swojej pracy doktorskiej „*Théorie de la Spéculation*” opublikowanej w *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure*, wprowadził równania błędzenia przypadkowego do opisu ruchów cen na giełdzie oraz pokazał, jak można je wykorzystać do modelowania rynku, wyceny kontraktów terminowych oraz spekulacji finansowych. O kilka lat wyprzedził epokę w matematyce, o kilkadziesiąt w ekonomii. Bachelier wywnioskował prawo zmian cen na giełdzie z obserwacji, że cena wynika z transakcji, a do transakcji dochodzi, jeżeli sprze-

---

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie (wrzesień 2005) w sesji Fizyka dla poetów, kucharzy i biznesmenów.



dający wierzy, że się opłaca sprzedać, a kupujący, że się opłaca kupić. Sprzedającemu wydaje się, że w przyszłości cena pójdzie w dół, a kupującemu, że pójdzie w górę. Z punktu widzenia rynku jako całości oczekiwana zmiana ceny wynosi więc zero. Innymi słowy, używając terminologii dzisiejszej matematyki, Bachelier przewidywał, że ceny walorów na giełdzie opisywane są przez tzw. martyngałowe procesy stochastyczne. Co więcej, podał argumentację, z której wynika, że zmiany ceny są ciągłym procesem Markowa. Wyprowadził fundamentalne równania dla takich procesów, nazywane dzisiaj równaniami Chapmana–Kołmogorowa. Dotarł więc do istoty procesów Markowa. Odkrył również związek między procesami stochastycznymi a różniczkowymi równaniami cząstkowymi dyfuzji opisującymi ewolucję rozkładu prawdopodobieństwa. Fizycy nazwaliby je dzisiaj równaniami Fokkera–Plancka. Wykazał, że rozkład prawdopodobieństwa ceny po długim czasie zmierza do rozkładu normalnego. Przewidział więc najistotniejsze własności ewolucji cen na giełdzie.

Bachelier miał niezwykłą intuicję ekonomiczną. Z jego prac można wyczytać, że poprawnie zrozumiał istotę efektywności rynku kilkadziesiąt lat wcześniej, nim to pojęcie na dobre zagościło w ekonomii. Jego idee inspirowały największe umysły w matematyce i ekonomii. Wiele z jego pomysłów można odnaleźć w pracach noblistów. Cytowali go Kołmogorow i Keynes, a Samuelson zbudował na jego ideach nowoczesną teorię rynku, zauważając, że addytywne zmiany cenowe, które postulował Bachelier, należy w rzeczywistości zastąpić zmianami multiplikatywnymi i że w efekcie rozkład prawdopodobieństwa ceny zmierza do rozkładu log-normalnego, a nie normalnego. Bachelier o ponad 70 lat wyprzedził Fischera Blacka, Myrona Scholesa i Roberta Mertona w matematycznym sformułowaniu problemu wyceny instrumentów terminowych, z tą różnicą, że ci ostatni używali już procesu multiplikatywnego i rozkładu log-normalnego.

Bachelier jest więc niekwestionowanym ojcem matematyki finansowej. Przeoczyli to jemu współcześni. Jako samodzielna dyscyplina naukowa matematyka finansowa zaczęła funkcjonować znacznie później. Określenie „financial mathematics” pojawiło się w literaturze po raz pierwszy w 1946 r. w tytule książki Clarence’a H. Richardsona. Chociaż już wcześniej sygnalizował to John M. Keynes, dopiero w latach czterdziestych zrozumiano, że nowoczesna teoria rynków finansowych może być zbudowana tylko na fundamencie rachunku prawdopodobieństwa. W latach czterdziestych powstały dwie silne szkoły uprawiające ten kierunek: szkoła w Chicago skoncentrowana wokół Komisji Cowlesa oraz szkoła w MIT stworzona przez Paula A. Samuelsona. Od tej pory matematyka finansowa szybko zyskiwała na popularności i stawała się dyscypliną regularnie wykładaną na wyższych uczelniach.

## Ekonofizyka

Na ekonofizykę trzeba było jeszcze czekać prawie pół wieku – powstała dopiero w ostatniej dekadzie zeszłego stulecia. Połączenie fizyki z ekonomią może zaskakiwać.

Co może mieć wspólnego fizyka, badająca fundamentalne prawa natury, z ekonomią? Odpowiedź na to pytanie wyłoniła się sama, gdy zdano sobie sprawę z przydatności metod fizyki w rozwiązywaniu problemów finansowych. Statystyki pokazywały, że absolwenci studiów fizyki z łatwością znajdowali pracę w instytucjach finansowych i osiągnęli wysokie stanowiska oraz że studia fizyki dają znakomite przygotowanie do działalności finansowej. Powodów tego stanu rzeczy jest wiele.

Fizyka jest nauką doświadczalną. Jej istotnym elementem jest podglądanie rzeczywistości, analiza danych empirycznych oraz poszukiwanie w nich interesujących sygnałów i korelacji. Przez lata fizycy rozwinęli wiele metod doświadczalnych i numerycznych, które pozwalają na szybkie wyszukiwanie istotnych sygnałów i ofiltrowywanie nieistotnych szumów w strumieniach danych. Na przykład, w zderzeniach cząstek elementarnych w akceleratorach zachodzą ogromne liczby zdarzeń (tzw. przypadków), ale tylko nieliczne niosą interesującą informację. Te pojedyncze przypadki można z wielką precyzją wyszukiwać za pomocą wyrafinowanych metod. Współczesne rynki finansowe również zalewają nas ogromnymi ilościami danych. Część z nich niesie bardziej, część mniej istotną informację. Umiejętność szybkiej analizy ogromnych strumieni danych i wyszukiwania w nich statystycznych korelacji niezwykle się tu przydaje.

Ostatnio ekonomia sięga również po narzędzia i metody rozwinięte w fizyce teoretycznej, np. do teorii skalowania znanej z fizyki przemian fazowych, do formalizmu całek po trajektoriach sformułowanego w mechanice kwantowej, do teorii macierzy przypadkowych wymyślonej na potrzeby kwantowej fizyki wielu ciał oraz do różnych metod perturbacyjnych, jak diagramatyka Feynmana albo „rozwińcie  $1/N$ ”, które zostały stworzone w teorii pola i fizyce statystycznej. Oryginalne metody fizyki dostarczają narzędzi komplementarnych do narzędzi matematyki finansowej. Fizyka wnosi też do inżynierii finansowej inne spojrzenie i inny sposób myślenia niż matematyka finansowa. Matematyka, która jest nauką niezwykle rygorystyczną, formułuje swoje wyniki w postaci twierdzeń, które niejednokrotnie wymagają bardzo silnych założeń. Na przykład, klasyczne rozwiązanie Blacka–Scholesa–Mertona [1] na cenę opcji i strategię osłonową wymaga wielu wyidealizowanych założeń, jak zerowe koszty transakcji, brak korelacji czasowych, gausowski charakter fluktuacji itd. Wtedy istotnie dla portfela składającego się z opcji i akcji można podać piękne rozwiązanie na strategię osłonową, dla której portfel jest wolny od ryzyka finansowego. W rzeczywistości żadne z tych założeń nie jest spełnione na prawdziwych rynkach finansowych.

Podejście fizyki jest inne. Najpierw stara się ona zebrać jak najwięcej danych o rzeczywistych procesach na rynkach finansowych i dopiero na podstawie tej informacji tworzyć modele przybliżone. Właśnie taka procedura doprowadziła kilka lat temu fizyków Jean-Philippe’a Bouchaud i Didiera Sornette do opracowania nowej metody

znajdowania optymalnych strategii dla osłony opcji i innych instrumentów pochodnych, opartej na metodach fizyki statystycznej. Wprowadzili oni zasadę minimalizacji ryzyka [2,3], która zastąpiła wcześniej używaną, wyidealizowaną zasadę neutralności względem ryzyka.

To jest jeden z wielu przykładów. W połowie lat dziewięćdziesiątych zeszłego stulecia ukazywało się coraz więcej prac, w których do zagadnień finansowych stosowano metodologię fizyki. Określenie „ekonofizyka” zaczęło funkcjonować w coraz szerszych kręgach. W roku 1997 zorganizowano w Budapeszcie warsztaty pod tytułem „Workshop on Econophysics”. Nazwa dziedziny się przyjęła. Niektórzy jej twórcy mówią jednak, że nie jest najlepsza i trochę żartobliwie dodają, używając gry słów, że lepiej byłoby ją nazwać „statistical phynance” [4].

Ekonofizyka szybko stała się samodzielną dziedziną wiedzy. Zaczęto organizować regularne konferencje ekonofizyczne i wykładać ekonofizykę na wyższych uczelniach, niektóre uczelnie nawet otworzyły specjalizację pod tą nazwą. Opublikowano już kilkanaście książek na temat ekonofizyki. Część z nich można traktować jako podręczniki. Ich tytuły jasno odzwierciedlają związki z poszczególnymi działami fizyki: *Wprowadzenie do ekonofizyki – korelacje i złożoność w finansach* [5], *Teoria ryzyka finansowego i wyceny instrumentów pochodnych – od fizyki statystycznej do zarządzania ryzykiem* [2], *Kwantowe finanse – całki po trajektoriach i hamiltoniany dla opcji i stóp procentowych* [6].

## Macierze przypadkowe i zarządzanie ryzykiem finansowym

W krótkim artykule nie sposób omówić nawet małej części wyników, które w ostatnich latach otrzymano w ekonomii, używając metod fizyki. Poniżej ograniczymy się do jednego zagadnienia – do problemu optymalizacji portfela. Odgrywa ono centralną rolę w zarządzaniu ryzykiem finansowym i mimo że zostało sformułowane ponad pół wieku temu, jego praktyczne wdrożenie wciąż jest przedmiotem nowych opracowań, które za cel stawiają sobie pokonanie pewnych trudności technicznych. Ich źródło tkwi w niepewności empirycznej macierzy kowariancji. Macierz ta mówi o korelacjach pomiędzy cenami akcji i odgrywa niezwykle istotną rolę przy wyborze optymalnego portfela. Ostatnio dzięki teorii macierzy przypadkowych udało się opracować metodę odfiltrującą szum z empirycznej macierzy kowariancji.

Teoria macierzy przypadkowych przez wiele lat była domeną fizyki matematycznej. Została stworzona przez Eugene’a Wignera w latach pięćdziesiątych XX w. w mechanice kwantowej wielu ciał. Zastanawiając się nad mechaniką kwantową dużych jąder atomowych, Wigner doszedł do wniosku, że zamiast dokładnie modelować szczegóły oddziaływań pomiędzy nukleonami, należy zwrócić większą uwagę na panującą w układzie przypadkowość. Doprowadziło go to do koncepcji hamiltonianów przypadkowych, które w obrazie Heisenberga reprezentowane są przez macierze przypadkowe. To był początek. Nikt przed

nim, i długo po nim, nie myślał o zespole statystycznym hamiltonianów, o macierzach przypadkowych.

Wigner podał kilka przewidywań teoretycznych, m.in. dotyczących rozkładu odległości poziomów energetycznych (patrz np. [7]). Przewidywania te zostały później potwierdzone empirycznie. Teoria macierzy przypadkowych została jednak przyjęta przez środowisko naukowe nie od razu. Wigner, podobnie jak Bachelier, wyprzedził swą epokę o wiele lat. Dziś wiemy, że teoria macierzy przypadkowych jest potężnym narzędziem, które udowodniło swoją przydatność nie tylko w kwantowej teorii wielu ciał, ale również w teorii lokalizacji, w teorii szkieł spinowych, w teorii chaosu, w chromodynamice kwantowej, w kwantowej teorii informacji, w dwuwymiarowej grawitacji, w teorii strun i wielu innych działach fizyki. Podobnie jak ruchy Browna albo transformata Fouriera, macierze przypadkowe są wszechobecne w fizyce teoretycznej. Zasięg ich zastosowań sięga jednak daleko poza fizykę. Za pomocą macierzy przypadkowych da się sformułować i rozwiązać wiele problemów kombinatorycznych, np. dotyczących obliczenia liczby triangulacji powierzchni, liczby węzłów, pseudowęzłów albo meandrów. Macierze przypadkowe pojawiają się w kontekście hipotezy Riemanna. Teoria macierzy przypadkowych żyje dziś własnym życiem. Po jej wyniki sięga wiele różnych dziedzin nauki, m.in. biologia teoretyczna, telekomunikacja, statystyka, ekonomia. Poniżej krótko naszkicujemy przydatność teorii macierzy w ekonomii – w teorii portfela.

Zagadnienie konstrukcji portfela zostało sformułowane w latach pięćdziesiątych przez Harry’ego M. Markowitza, wychowanka wspomnianej szkoły chicagowskiej. Kilkadziesiąt lat później został on uhonorowany za to osiągnięcie Nagrodą Nobla z ekonomii. Żeby zrozumieć problem portfela, wyobraźmy sobie, że zarządzamy kapitałem zgromadzonym w instytucji finansowej, np. w banku albo funduszu emerytalnym, i że mamy za zadanie tak ulokować część tego kapitału na giełdzie, aby pomnożyć zyski. Można ulokować wszystkie pieniądze w akcjach jednej firmy, można jednak utworzyć bardziej złożony portfel poprzez podział kapitału na mniejsze części i ulokowanie ich w akcjach różnych firm. Rodzi się pytanie, jak optymalnie wybrać portfel, aby w miarę możliwości pogodzić oczekiwania dużego zysku i małego ryzyka finansowego. Intuicyjnie wyczuwamy, że ulokowanie całego kapitału w akcjach jednej firmy naraża inwestora na duże ryzyko, bo jeśli ceny akcji tej firmy spadną, to można dużo stracić. Dla instytucji finansowych, które operują wielkimi sumami, nawet kilkuprocentowe straty mogą oznaczać ogromne straty bezwzględne. Należy więc ograniczyć możliwość strat. Jeżeli zamiast inwestować całość portfela w akcje jednej spółki zainwestuje się w wiele różnych akcji, to istnieje szansa, że część strat pochodzących od akcji, których ceny spadną, może zostać skompensowana przez zyski z pozostałych. Innymi słowy, kluczem do zmniejszenia ryzyka jest zróżnicowanie („dywersyfikacja”) czy też rozdrobnienie portfela.

Jaka jest optymalna dywersyfikacja? Które akcje wybrać i jaką część funduszy w nie zainwestować? Tym pro-

blemem zajmował się właśnie Markowitz. Rozważania doprowadziły go do matematycznego sformułowania teorii portfela. U jej podstaw leży probabilistyczne spojrzenie na portfel i potraktowanie go jako zmiennej przypadkowej. Ewolucja portfela opisywana jest przez proces stochastyczny zależny od doboru akcji. Można sobie wyobrazić, że dzienne zmiany wartości portfela mają pewien rozkład prawdopodobieństwa. Średnia tego rozkładu mówi o oczekiwanej dziennym przyroście wartości portfela, a wariancja – o wielkości statystycznych fluktuacji wokół tej średniej. Wariancja używana jest jako najprostszą miarę ryzyka finansowego. (Obecnie używa się również bardziej wyrafinowanych miar ryzyka, np. VaR (Value at Risk). Odgrywają one szczególnie istotną rolę dla rozkładów prawdopodobieństwa z ciężkimi ogonami). Taka miara ryzyka poprawnie odzwierciedla fakt, że ryzyko maleje ze wzrostem dywersyfikacji. Jeśli ceny akcji fluktuują niezależnie od siebie z podobną amplitudą, to łatwo pokazać, że wariancja portfela składającego się z  $N$  równych udziałów w różnych akcjach jest  $N$ -krotnie mniejsza niż dla portfela, w skład którego wchodzi tylko akcje jednej firmy. W ogólnym przypadku wariancja, a zatem i ryzyko finansowe, maleją wraz ze wzrostem liczby niezależnych stopni swobody w portfelu. Dzieje się tak, ponieważ niezależne fluktuacje statystyczne częściowo się znoszą. Dywersyfikacja zmniejsza ryzyko.

W rzeczywistości problem wyboru optymalnego portfela jest bardziej złożony. Nie sprowadza się on jedynie do minimalizacji ryzyka. Gdyby tak było, należałoby inwestować wszystkie fundusze w bony skarbowe, obligacje lub inne papiery wartościowe, które obarczone są znacznie mniejszym ryzykiem finansowym niż akcje. W konstrukcji portfela optymalnego pojawia się jednak kwestia oczekiwanego zysku. Nie ma dużych zysków bez ryzyka. Akcje przynoszą przeciętnie znacznie większy zysk niż bony skarbowe czy obligacje. Problem wyboru optymalnego portfela przybiera postać zagadnienia minimalizacji ryzyka przy ustalonym zysku oczekiwanym. Jest to więc minimalizacja warunkowa. Nie zmienia to jednak faktu, że również i w tym przypadku najlepsze rozwiązanie ma postać optymalnie zróżnicowanego portfela przy narzuconym warunku.

Jak wspomnieliśmy powyżej, ryzyko maleje wraz z liczbą niezależnych stopni swobody w portfelu. Warto zastanowić się przez chwilę nad kwestią niezależności cen akcji. Prosta analiza danych historycznych wskazuje na istnienie silnych korelacji pomiędzy cenami. Rynek zawiera wiele mniej lub bardziej ukrytych korelacji. Jedne wynikają z podziału rynku na sektory, inne z zależności kapitałowych, a jeszcze inne z psychologii inwestorów. Nie można zatem traktować cen akcji jako niezależnych stopni swobody. Podział portfela pomiędzy skorelowane akcje prowadzi do pozornej dywersyfikacji i nie zmniejsza ryzyka. Aby dokonać rzeczywistego zróżnicowania, należy najpierw wyłuskać niezależne stopnie swobody. Informacja o nich zakodowana jest w macierzy kowariancji, opisującej poziom skorelowania poszczególnych akcji. Wektory własne tej macierzy mówią, jakie kombinacje liniowe akcji

można traktować jako niezależne stopnie swobody, wartości własne natomiast – jakie jest ryzyko z nimi związane. Trudność polega na tym, że macierz kowariancji jest nieznana. Nikt nam nie powie, jakie są korelacje na rynku. Macierz kowariancji można wyznaczyć empirycznie na podstawie danych historycznych, używając standardowego estymatora. Empiryczna macierz kowariancji zawiera jednak niepewność statystyczną, wynikającą z ograniczonej ilości danych historycznych. Stosunek sygnału do szumu dla empirycznej macierzy kowariancji dla  $N$  akcji, obliczonej na podstawie próbki zawierającej  $T$  wektorów z historycznymi cenami, zależy w pierwszym przybliżeniu od stosunku  $r = N/T$ . Dopiero dla próbki o nieskończonej długości  $T = \infty$ , tzn. dla  $r = 0$ , empiryczna macierz jest wolna od szumu i dokładnie odtwarza szukaną macierz kowariancji. Dla  $T = N$ , tzn. dla  $r = 1$ , szum statystyczny zaczyna dominować nad sygnałem.

W rzeczywistych problemach  $r$  wynosi od kilku do kilkudziesięciu procent. Szum rozmywa wartości własne w empirycznej macierzy kowariancji i na pierwszy rzut oka nie jest jasne, jaki jest związek między wartościami własnymi empirycznej i rzeczywistej macierzy kowariancji. Przez wiele lat posługiwano się przybliżonymi metodami oczyszczania empirycznej macierzy kowariancji z szumu, lecz żadna z tych metod nie kontrolowała jakości przybliżenia. Dopiero ostatnio udało się za pomocą teorii macierzy przypadkowych wyznaczyć ścisły związek między rozkładem wartości własnych empirycznej i rzeczywistej macierzy kowariancji (patrz [8] i odnośniki tamże), a następnie na podstawie tego związku opracować procedurę, która informację zawartą w empirycznej macierzy kowariancji pozwala wykorzystać do wyznaczenia rzeczywistych wartości własnych najefektywniej. Przypomnijmy, że te wartości własne mówią, jakie jest ryzyko związane z niezależnymi stopniami swobody, i w związku z tym odgrywają ważną rolę przy wyborze portfela. Podsumowując, użycie wzorów otrzymanych za pomocą teorii macierzy przypadkowych może znacznie poprawić jakość wyboru optymalnego portfela poprzez lepsze wyznaczanie ryzyka związanego z niezależnymi stopniami swobody na giełdzie.

## Podsumowanie

W ostatnich latach metody fizyki znalazły zastosowanie nie tylko w zarządzaniu ryzykiem finansowym, wycenie kontraktów terminowych i analizie rynków finansowych, lecz także w mikro- i makroekonomii, np. w teorii gier [9], w problemach dotyczących dystrybucji bogactwa [10] albo w modelowaniu cykli wzrostu [11]. Warto wspomnieć odkrycie statystycznej niestabilności typu Pareto w gospodarce, prowadzącej do kondensacji bogactwa [10]. Fizyka wniosła świeże spojrzenie do teorii gier. To właśnie fizycy opracowali teorię gier mniejszościowych [9]. Metody fizyki okazały się przydatne również w bardziej awangardowych badaniach, np. nad istotą efektu stadnego, który ma ważny wpływ na powstawanie trendów na rynkach finansowych [12]. Innymi przykładami

mogą być: modelowanie gustów konsumenckich na podstawie częściowej informacji, którego używa się do tworzenia profilów konsumentów dokonujących zakupów w internecie [13], oraz analiza fluktuacji trendów po krachu na giełdzie (patrz np. [14] i odnośniki tamże). We wszystkich tych przykładach niezwykle ważną rolę odgrywa zastosowanie modeli i metod fizyki statystycznej do zrozumienia istoty analizowanego zjawiska ekonomicznego: gry mniejszościowe odwołują się do teorii szkieł spinowych, teoria efektu stadnego – do perkolacji, profilowanie gustów konsumenckich – do teorii informacji i sieci złożonych, analiza fluktuacji po krachu na giełdzie – do teorii skalowania dla układów krytycznych itd. Wydaje się, że mimo młodego wieku ekonofizyka jest już dorosłą dziedziną wiedzy, mogącą się poszczycić dużym, oryginalnym dorobkiem.

Bardziej szczegółowe omówienie niektórych zagadnień wzmiankowanych w tym artykule można znaleźć w publikacji [15], a także w książkach [2,5,6] oraz w podanych tam odnośnikach.

Chciałbym w tym miejscu gorąco podziękować Jurkowi Jurkiewiczowi, Maćkowi Nowakowi, Gaborowi Pappowi i Ismailowi Zahedowi za wiele interesujących dyskusji na temat fizyki, matematyki finansowej, ekonomii i zarządzania ryzykiem finansowym oraz za wspólne odkrywanie zawłości rynków finansowych, które sprawia mi dużo przyjemności.



Dr hab. ZDZISŁAW BURDA pracuje w Instytucie Fizyki UJ od 1992 r. Swoje badania prowadził również poza granicami kraju, m.in. na Uniwersytecie w Bielefeld, w Laboratorium Fizyki Teoretycznej w Orsay przy XI Uniwersytecie Paryskim oraz w Instytucie Nielsa Bohra w Kopenhadze. W swojej pracy naukowo-badawczej zajmuje się kwantowaniem grawitacji, zastosowaniem teorii grafów przypadkowych i teorii macierzy przypadkowych w fizyce statystycznej oraz zastosowaniem metod fizyki do badań interdyscyplinarnych.

## Literatura

- [1] F. Black, M. Scholes, *J. Polit. Econ.* **3**, 637 (1973); R.C. Merton, *Bell J. Econ. Manag. Sci.* **4**, 141 (1973).
- [2] J.-P. Bouchaud, D. Sornette, *J. Phys. I France* **4**, 863 (1994); **5**, 219 (1995).
- [3] J.-P. Bouchaud, M. Potters, *Theory of Financial Risk and Derivative Pricing: From Statistical Physics to Risk Management*, wyd. II (Cambridge University Press, 2003).
- [4] Rozmowa z J.-P. Bouchaud, *Risk*, marzec 2001.
- [5] R.N. Mantegna, H.E. Stanley, *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance* (Cambridge University Press, 2001); wyd. polskie *Ekonofizyka: Wprowadzenie* (PWN, Warszawa 2001).
- [6] B.E. Baaquie, *Quantum Finance: Path Integrals and Hamiltonians for Options and Interest Rates* (Cambridge University Press, 2004).
- [7] T. Guhr, A. Mueller-Groeling, H.A. Weidenmueller, *Phys. Rep.* **299**, 190 (1998).
- [8] Z. Burda, J. Jurkiewicz, *Physica A* **344**, 67 (2004).
- [9] D. Challet, M. Marsili, Y.-Ch. Zhang, *Minority Games: interacting agents in financial markets* (Oxford University Press, 2004).
- [10] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wealth\\_condensation](http://en.wikipedia.org/wiki/Wealth_condensation).
- [11] M. Szydłowski, *Postępy Fizyki* **57**, 50 (2006).
- [12] J.-P. Bouchaud, R. Cont, *Macroecon. Dyn.* **4**, 170 (2000).
- [13] S. Maslov, Y.-Ch. Zhang, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 248701 (2001).
- [14] S. Drożdż, F. Ruf, J. Speth, M. Wójcik, *Eur. Phys. J. B* **10**, 589 (1999).
- [15] Z. Burda, J. Jurkiewicz, M.A. Nowak, *Acta Phys. Polon. B* **34**, 87 (2003).



Inny widok centrum Warszawy z budynkiem Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej na pierwszym planie (fot. Jan Grabski)

# Nadprzewodniki: nowe fakty i teorie\*

Tadeusz Domański

*Instytut Fizyki, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin*

---

## Superconductors: new facts and theories

*Abstract:* We summarize recent experimental and theoretical investigations of superconducting materials, where pairing between fermions can be either induced by phonons, magnons, or mediated by some other boson field. On a macroscopic level these phenomena lead to a highly coherent transport manifested by the loss of electric resistance in the case of charged particles like electrons and holes or by the loss of viscosity (superfluidity) in the case of chargeless particles such as  $^3\text{He}$  or trapped ultracold atoms.

---

## 1. Wprowadzenie

Zjawisko nadprzewodnictwa polega na całkowitym zaniku oporu elektrycznego (stałoprądowego) przy jednoczesnym idealnym diamagnetyzmie, czyli wypychaniu pola magnetycznego z wnętrza materiału (pole magnetyczne wnika jedynie do cienkiej warstwy przypowierzchniowej). Mimo iż pierwszy nadprzewodnik został odkryty już niemal sto lat temu [1], w dalszym ciągu nadprzewodnictwo mniej lub bardziej egzotycznych materiałów wzbudza duże poruszenie. Jest to częściowo spowodowane powszechnym przekonaniem, jakoby stan *nad*-przewodzący był czymś *nad*-zwyczajnym. Przedstawiając krótką charakterystykę wybranych nadprzewodników, postaram się wszystkich przekonać, że nadprzewodnictwo jest zjawiskiem zupełnie naturalnym i może występować w bardzo różnych skalach przestrzennych oraz energetycznych.

Nadprzewodnictwo wykryto najwcześniej w pierwiastkach, takich jak rtęć, ołów i niob. Są to nadprzewodniki pierwszego rodzaju, charakteryzujące się ostrym przejściem fazowym ze stanu normalnego do nadprzewodzącego. Temperatura krytyczna w klasycznych materiałach wynosi od kilku do kilkunastu kelwinów. Z dzisiejszej perspektywy możemy powiedzieć, że sytuacja ta jest nietypowa i występuje w przyrodzie dość rzadko.

Dopiero później zaobserwowano nadprzewodnictwo drugiego rodzaju. Przemiana fazowa odbywa się w pewnym zakresie temperatury  $T_{c2} > T > T_{c1}$ , w którym opór elektryczny stopniowo zanika. Po przyłożeniu pola magnetycznego może ponadto występować tzw. stan mieszany. Pole magnetyczne wnika wówczas do materiału w postaci wirów tworzących sieć Abrikosowa o strukturze heksagonalnej (czyli trójkątnej). Wiele ciekawych informacji o nadprzewodnikach drugiego rodzaju można zna-

leźć np. w noblowskich wykładach Aleksieja Abrikosowa i Witalija Ginzburga [2].

Nadprzewodnikami drugiego rodzaju są różne stopy, np.  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Nb}_3\text{Ge}$ ,  $\text{PbMo}_{5,1}\text{S}_6$ . Są nimi również prawie wszystkie materiały nadprzewodzące odkryte począwszy od lat sześćdziesiątych, czyli nadprzewodniki organiczne, związki A15, fazy Chevrela, nadprzewodniki ciężkofermionowe oraz fulereny i nadprzewodniki wysokotemperaturowe.

Nadprzewodniki zarówno pierwszego jak i drugiego rodzaju charakteryzują się obecnością parametru porządku poniżej temperatury krytycznej. Pojawienie się parametru porządku jest cechą wspólną wszystkich przemian fazowych, w których dochodzi do naruszenia jakiegokolwiek rodzaju symetrii układu. Koncepcję tę zaproponował Lew Landau znacznie wcześniej, niż opracowano mikroskopową teorię nadprzewodnictwa fononowego. W kontekście nadprzewodnictwa obecność parametru porządku jest związana z naruszeniem niezmienniczości układu względem transformacji cechowania. Pomijając zbędne szczegóły, można wyjaśnić, że parametr porządku odzwierciedla fakt istnienia par elektronów (lub dziur) w pasmie przewodnictwa. Są one opisane wspólną makroskopową funkcją falową, dzięki czemu ruch elektronów (dziur) związanych w pary przebiega w sposób niezwykle spójny, wykazując porządek dalekozasięgowy. Poszczególne nadprzewodniki różnią się jedynie mechanizmem odpowiedzialnym za powstawanie par. W dalszej części artykułu omówione zostaną reprezentatywne przykłady tych mechanizmów.

## 2. Nadprzewodniki fononowe

We wszystkich nadprzewodnikach znanych do lat 70. ubiegłego wieku powstawanie par elektronowych można

---

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie (wrzesień 2005) w sesji Fizyka fazy skondensowanej.

przypisać sprzężeniu elektronów z drganiami sieci krystalicznej (fononami). Na istotny udział fononów w powstawaniu nadprzewodnictwa wskazywał występujący w tych materiałach efekt izotopowy, czyli zależność (potęgowa) temperatury krytycznej od masy jonów sieci:  $T_c \propto M^{-\alpha}$ . Według oszacowania Herberta Fröhlicha, wymiana fononu między elektronami o przeciwnych pędach i spinach indukuje efektywny potencjał przyciągający

$$V = -|M_{\text{el-ph}}|^2 / \hbar \omega_D, \quad (1)$$

gdzie  $M_{\text{el-ph}}$  jest (zespoloną) energią oddziaływania elektron-fonon, a  $\omega_D$  – charakterystyczną częstością drgań sieci krystalicznej (częstością Debye'a). Leon Cooper wykazał, że nawet bardzo słabe przyciąganie powoduje niestabilność morza Fermiego. Powstawanie par Coopera jest zatem dla układu elektronowego bardziej korzystne energetycznie niż obsadzanie dopuszczalnych poziomów jednocząstkowych.

Oparta na powyższych przesłankach teoria Bardeena, Coopera i Schrieffera (BCS) wyjaśnia w jednolity sposób wiele właściwości fizycznych nadprzewodników fononowych. Przewiduje ona m.in., że proces łączenia się elektronów w pary Coopera rozpoczyna się poniżej temperatury określonej równością

$$k_B T_c \approx \hbar \omega_D \exp\{-2/[|V|\rho(\epsilon_F)]\}. \quad (2)$$

Procesowi temu nieodłącznie towarzyszy pojawienie się przerwy energetycznej w widmie wzbudzeń jednocząstkowych. W miarę obniżania temperatury szerokość przerwy stopniowo wzrasta.

Pary Coopera są obiektami dobrze określonymi w przestrzeni pędowej. Ich rozmiar w przestrzeni rzeczywistej można jedynie szacować – służy do tego parametr  $\xi$ , zwany długością koherencji BCS. Zwykle w nadprzewodnikach fononowych wartość  $\xi$  wynosi kilkaset nanometrów, czyli jest  $10^2$ – $10^3$  razy większa od odległości międzyatomowych. W takich warunkach wraz z pojawieniem się par Coopera w temperaturze  $T_c$  dochodzi do uzgodnienia fazy funkcji falowych poszczególnych par i w rezultacie powstaje dalekozasięgowa spójność. Taka „sztywność faz” jest typową właściwością izotropowych nadprzewodników, gdzie przyciąganie ma charakter opóźniony (czas potrzebny na wymianę fononu jest duży).

Warto dodać, że w ostatnich latach odkrywano kolejne nadprzewodniki fononowe. Jednym z nich jest dwuborek magnezu [3], który charakteryzuje się zaskakująco wysoką temperaturą krytyczną  $T_c = 39$  K. Co ciekawe, materiał ten jest powszechnie dostępny w aptekach od około 50 lat. Z  $\text{MgB}_2$  związane są perspektywy zastosowań znacznie bardziej obiecujące niż w przypadku nadprzewodników wysokotemperaturowych. Dzięki dużemu natężeniu prądu krytycznego nadprzewodnik ten jest już używany np. w energetycznych liniach przesyłowych.

### 3. Nadprzewodniki ciężkofermionowe

Nieco inną sytuację można spotkać w materiałach, gdzie funkcję bozonów pośredniczących w przekazywaniu oddziaływania odpowiedzialnego za powstawanie par

elektronowych pełnią elementarne wzbudzenia magnetyczne – magnony. Tego rodzaju nadprzewodnictwo niefononowe jako pierwszy odkrył Frank Steglich w związku  $\text{CeCu}_2\text{Si}_2$  [4]. Opinia o tym doniesieniu była początkowo w środowisku fizyków bardzo krytyczna. Dopiero kilka lat później po odkryciu nadprzewodnictwa w  $\text{UBe}_{13}$  [5] oraz w  $\text{UPt}_3$  [6] zaakceptowano koncepcję mechanizmu opartego na fluktuacjach spinowych. Argumentacja, iż w wymienionych materiałach mechanizm odpowiedzialny za tworzenie par elektronowych oraz ich nadprzewodnictwo nie ma żadnego związku z fononami, odwołuje się do dwóch następujących obserwacji doświadczalnych: a) powyżej  $T_c$  opór jest proporcjonalny do  $T^2$ , co wskazuje, że dominującym oddziaływaniem jest wzajemne rozpraszanie kulombowskie elektronów, b) energia Fermiego jest znacznie mniejsza od  $\hbar \omega_D$ , zatem pary elektronowe nie mogą powstawać w wyniku oddziaływań opóźnionych.

Dzisiaj znanych jest już ponad 20 różnych przykładów nadprzewodników w podobnych materiałach, w których występują tzw. ciężkie fermiony. W układach tych elektrony z pasma przewodnictwa zachowują się w silnie skorelowany sposób. Wzajemne oddziaływania kulombowskie tak istotnie wpływają na ruch elektronów, że ich masa efektywna jest ponadstukrotnie większa od masy elektronu swobodnego. Mimo tak silnego wpływu oddziaływań nadal można stosować tam formalizm cieczy Landaua, w którym rolę kwazicząstek odgrywają fermiony o zrenormalizowanej masie elektronu.

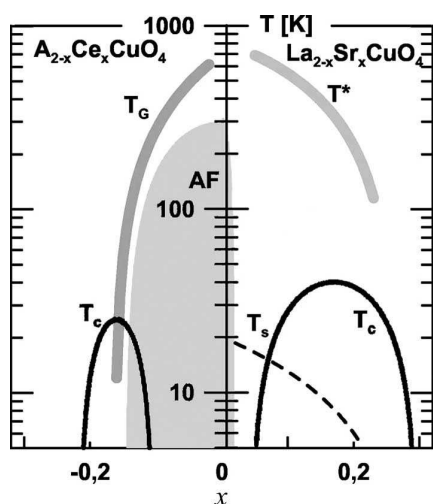
Na poziomie mikroskopowym korelacje w układach ciężkich fermionów mają ścisły związek z efektem Kondo występującym w niektórych rozcieńczonych stopach magnetycznej domieszki w niemagnetycznym materiale. Magnetyzm i nadprzewodnictwo mają więc w tych materiałach wspólne korzenie, lecz typ ich wzajemnej relacji (współlistnienie albo współzawodnictwo) pozostaje nadal kwestią nierozstrzygniętą [7]. W zwykłych nadprzewodnikach magnetyzm jest silnie zantagonizowany ze stanem nadprzewodzącym i takie współlistnienie nie wchodzi w rachubę. W ostatnich latach doniesiono o odkryciu kilku ciekawych nadprzewodników ciężkofermionowych, w których prawdopodobnie magnetyzm współlistnieje z nadprzewodnictwem.

### 4. Nadprzewodniki wysokotemperaturowe

W połowie lat osiemdziesiątych XX w. odkryto nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe w tlenkach miedzi o strukturze krystalicznej typu perowskitu. Wyjściowe związki są antyferromagnetycznymi izolatorami typu Motta-Hubbarda. Za pomocą podstawień chemicznych lub innych manipulacji stechiometrycznych można do pasma przewodnictwa wprowadzać elektrony lub dziury. Już przy stosunkowo niedużym (kilkuprocentowym) ułamku składu  $x$  porządek antyferromagnetyczny zanika. Dalsze zwiększanie  $x$  prowadzi do pojawienia się fazy nadprzewodzącej. Stan nadprzewodzący występuje w zakresie koncentracji nośników zależnym od rodzaju materiału, np. w związku  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  dla  $0,05 < x < 0,3$ .

Tuż po odkryciu nadprzewodników wysokotemperaturowych zbadano ich diagramy fazowe, ale nadal nie znamy przyczyny wyraźnej asymetrii między domieszkowaniem dziurami i elektronami [8]. Asymetria dotyczy zakresu domieszkowania, w którym występuje stan antyferromagnetyczny i nadprzewodzący. Domieszkowanie dziurami prowadzi ponadto do wartości  $T_c$  znacznie wyższych niż w nadprzewodnikach elektronowych. Jeszcze bardziej zaskakujące jest pojawienie się tzw. pseudoszczeliny powyżej  $T_c$  w próbkach słabo domieszkowanych dziurami, podczas gdy brak jest tego efektu przy domieszkowaniu elektronami. Do problemu pseudoszczeliny wrócimy jeszcze w dalszej części tego rozdziału.

Nie rozstrzygnięto dotąd kwestii mechanizmu odpowiedzialnego za wiązanie nośników ładunku w pary. Istnieje jednak zgodna opinia, że w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych tworzenie się par elektronów lub dziur zachodzi w przestrzeni rzeczywistej. Praktycznie na pary składają się nośniki z sąsiednich węzłów w quasi-dwuwymiarowych płaszczyznach utworzonych z atomów miedzi i tlenu (tzw. płaszczyznach  $\text{CuO}_2$ ). Za pomocą doświadczeń z użyciem interferometrów SQUID (w których wykorzystuje się josphonowskie tunelowanie par) stwierdzono, że funkcja falowa par lokalnych charakteryzuje się symetrią typu  $d_{x^2-y^2}$ . Taką anizotropię potwierdziły później pomiary za pomocą spektroskopii fotoemisyjnej z rozdzielczością kątową (ARPES) [9]. Kształt funkcji falowej par (a tym samym wartości parametru porządku i przerwy energetycznej w widmie wzbudzeń) odzwierciedla krystalograficzną symetrię płaszczyzn  $\text{CuO}_2$ . Jest to ponadto ważna przesłanka doświadczalna wskazująca, że pary elektronów (lub dziur) nie mogą współistnieć w węzłach sieci z powodu silnego odpychania kulombowskiego.



Rys. 1. Diagram fazowy domieszkowanego dziurami nadprzewodnika  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  oraz domieszkowanego elektronami nadprzewodnika  $\text{A}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$  ( $A = \text{Nd}, \text{La}, \text{Sm}, \text{Pr}$ ) w funkcji ułamka składu  $x$ . Faza antyferromagnetyczna jest zaznaczona na szaro, zaś czarna linia pokazuje temperaturę krytyczną dla fazy nadprzewodzącej. Wyraźna jest asymetria względem typu domieszkowania [8].

W wyniku systematycznej analizy danych doświadczalnych stwierdzono jednoznacznie, że dla próbek słabo domieszkowanych dziurami przerwa energetyczna nie zanika w temperaturze krytycznej  $T_c$ , lecz jest obserwowana aż do znacznie wyższej temperatury  $T^*$  (rys. 1). Należy podkreślić, że wymieniona przerwa (w literaturze często określana jako pseudoszczelina) uwidacznia się zarówno we wzbudzeniach magnetycznych, jak i ładunkowych. Pseudoszczelina charakteryzuje się identyczną anizotropią jak szczelina fazy nadprzewodzącej – stąd naturalne przypuszczenie o ich wspólnym pochodzeniu. Istnieją jednak także inne opinie.

Wydaje się, że zrozumienie mechanizmu odpowiedzialnego za pseudoszczelinę pomoże w wyjaśnieniu zjawiska nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Dyskusja toczy się już od prawie 10 lat (patrz prace przeglądowe [10]). W literaturze najpoważniej rozpatrywane są obecnie dwa alternatywne scenariusze, w których pseudoszczelina jest: a) interpretowana jako efekt prekursorowy parametru porządku, b) przypisywana nowemu rodzajowi uporządkowania współistniejącego albo konkurującego z fazą nadprzewodzącą.

#### a) Scenariusz prekursorowy

Jedną z bardziej realistycznych teorii w ramach scenariusza prekursorowego jest propozycja Philipa Andersona, której punktem wyjściowym jest jednopasmowy model Hubbarda z silnym odpychaniem kulombowskim  $U$  w węzle. Ze względu na nie elektrony (lub dziury) o przeciwnych spinach nie mogą jednocześnie znajdować się w jednym węzle sieci. Konsekwencje takich założeń i użytych procedur obliczeniowych [11] zostały w przystępny sposób opisane w pracy przeglądowej [12].

W teorii Andersona pojawiają się dwa pomocnicze czynniki:  $g = 2x/(1+x)$ , określający zmniejszenie energii kinetycznej, oraz  $g_J = (2-g)^2$ , opisujący renormalizację całki wymiany w zależności od ułamka składu  $x$ . Prosta analiza na poziomie przybliżenia pola średniego pozwala obliczyć szerokość przerwy. Współzależność czynników  $g$  oraz  $g_J$  sprawia, że powstawanie przerwy energetycznej i sztywność fazowa nie idą w parze. Bardziej szczegółowe obliczenia [13] rzeczywiście wskazują na występowanie na wykresie fazowym obszaru par niespójnych obok obszaru, gdzie występuje stan nadprzewodzący (kopuła nadprzewodnictwa, ang. superconducting dome). Anderson podkreśla ponadto, że konsekwencją przyjętej procedury obliczeniowej jest naruszenie symetrii cząstka–dziura (fundamentalnej zasady w teorii cieczy Landaua), co w rezultacie prowadzi do asymetrycznego widma wzbudzeń wokół energii Fermiego [14]. Wiele przewidywań wspomnianej teorii zostało potwierdzonych doświadczalnie. Słabym punktem jest natomiast brak opisu fazy powyżej domieszkowania optymalnego, gdzie proces rozpraszania nośników jest proporcjonalny do  $T$  oraz częstości  $\omega$  (zachowanie typowe dla tzw. marginalnej cieczy Fermiego).

Inną teorię fenomenologiczną zaproponowali Emery i Kivelson [15], przypisując istotną rolę silnym fluktu-

acjom w quasi-dwuwymiarowych płaszczyznach  $\text{CuO}_2$ . Dla słabego domieszkowania autorzy przewidywali, że sztywność fazowa jest zbyt mała, aby zapewnić uporządkowanie dalekozasięgowe. W późniejszych pracach zwracali dodatkowo uwagę na tzw. struktury wstęgowe. Rzeczywiście, w pobliżu stanu antyferromagnetycznego w niektórych perowskitach zaobserwowano quasi-jednowymiarowe struktury uporządkowane magnetycznie i obszary, w których gromadzi się ładunek [16]. Brak jednak pewności, że jest to uniwersalna cecha wszystkich nadprzewodników wysokotemperaturowych.

Istnieje też kilka ogólnych sformułowań, w których rozpatruje się skutki kwantowych fluktuacji parametru porządku w układach z lokalnym parowaniem. Jednym z nich jest model bozonowo-fermionowy [17], opisujący lokalne pary (bozony o twardym rdzeniu) współlistniejące i oddziałujące z wędrownymi fermionami (elektronami lub dziurami). W realistycznej sytuacji pary lokalne znajdują się w przestrzeni pędowej wokół tzw. gorących miejsc, czyli w pobliżu punktów  $(\pm\pi/2, 0)$  oraz  $(0, \pm\pi/2)$  [18]. Pomiaru przy użyciu spektroskopii ARPES [9] wykazały, że powierzchnia Fermiego jest tam źle określona (istnieje jedynie w sąsiedztwie kierunków węzłowych). W wyniku rekombinacji bozonów w pary fermionów (i odwrotnie) dochodzi do redukcji stanów jednocząstkowych w pewnym zakresie energii wokół  $\epsilon_F$  [19]. Efekt ten jest widoczny jako pseudoszczelina, ale w pośredni sposób przenosi się także na korelacje dwucząstkowe [20].

Za interpretacją pseudoszczeliny jako prekursorowego objawu stanu nadprzewodzącego przemawiają szczególnie mocno takie obserwacje doświadczalne, jak zjawisko Meissnera dla zmiennych pól magnetycznych o częstościach terahercowych [21] oraz zjawisko Nernsta [22]. Oba jednoznacznie świadczą o występowaniu fluktuacji związanych z nadprzewodnictwem powyżej  $T_c$ , lecz bardzo duża wartość  $T^*$ , sięgająca kilkuset kelwinów, nasuwa wątpliwości, czy cały zakres występowania pseudoszczeliny jest wyłącznie wynikiem fluktuacji. Według niektórych interpretacji [23] zakres fluktuacyjny ogranicza się do kilku lub co najwyżej dwudziestu kilku kelwinów powyżej  $T_c$ , głównie po stronie słabego domieszkowania. Potrzebne są nowe dane doświadczalne, aby kwestię tę jednoznacznie rozstrzygnąć.

## b) Scenariusz rywalizujących porządków

Istnieją również odmienne opinie na temat pochodzenia pseudoszczeliny. Obecności takiej przerwy energetycznej przypisywany jest rodzaj porządku, który z nadprzewodnictwem nie ma nic wspólnego, a być może nawet z nim rywalizuje. Od dawna na taką interpretację wskazują np. pomiary ciepła właściwego [24], sugerujące zanikanie pseudoszczeliny w pobliżu optymalnego domieszkowania, a więc w punkcie krytycznym innym niż stan nadprzewodzący. Silnym argumentem jest także obserwowany wpływ domieszek magnetycznych na temperaturę  $T_c$  [25]. Wprowadzanie domieszek magnetycznych zawęża zakres występowania stanu nadprzewodzącego, podczas gdy wpływ na pseudoszczelinę jest niezauważalny.

Te fakty, jak również obserwowane anomalie (typu marginalnej cieczy Fermiego) w stanie normalnym powyżej  $T_c$  skłoniły niektórych teoretyków do przypuszczenia o istnieniu kwantowego punktu krytycznego, odpowiedzialnego za pojawienie się pseudoszczeliny. Naturalnym podejściem było rozważenie porządku nadprzewodzącego i antyferromagnetyzmu w ramach wspólnej grupy  $\text{SO}(5)$  [26]. Inną propozycję dla stanu pseudoszczelinowego przedstawił Chandra Varma [27], przewidując pojawienie się mikroskopijnych prądów orbitalnych (naruszających niezmienniczość układu względem odwrócenia biegu czasu). Pozostałe koncepcje uwzględniały ewentualność uporządkowania ładunkowego typu fali d, obserwowanego doświadczalnie w pomiarach przy użyciu spektroskopii tunelowej STM [28]. Ogólny opis kwantowego punktu krytycznego z uwzględnieniem bliskiego sąsiedztwa przejścia Motta sformułował ostatnio Subir Sachdev ze współpracownikami [29].

Nie znając na razie odpowiedzi na pytanie, co naprawdę powoduje powstawanie pseudoszczeliny, nie potrafimy również rozstrzygnąć, co jest spoiwem łączącym nośniki (elektrony lub dziury) w pary. W proces parowania zaangażowane są oddziaływania nieopóźnione, dlatego roboczo można określić cząstki pośredniczące w przeniesieniu takich oddziaływań jako instantony [30]. Miejmy nadzieję, że wkrótce uda się zidentyfikować naturę tych obiektów.

## 5. Nowe perspektywy w układach ultrazimnych atomów

W ostatnich kilku latach prowadzone są bardzo intensywne badania nowego rodzaju nadprzewodnictwa (ściślej – nadciekłości) w fermionowych pułapkach atomowych. Najczęściej używane są do tego celu atomy  $^4\text{K}$  [31] lub  $^6\text{Li}$  [32]. Obecne możliwości doświadczalne pozwalają na pułapkowanie nawet do  $10^5$  atomów, biorąc zaś pod uwagę rozmiary pułapek, uzyskuje się w nich koncentracje rzędu  $10^{-13} \text{ cm}^{-3}$ . W porównaniu z koncentracją elektronów przewodnictwa w metalach jest to wartość ok. 10 rzędów wielkości mniejsza. Efekty kwantowe powinny być zatem zauważalne dopiero po ochłodzeniu atomów do ultraniskiej temperatury, rzędu ułamka  $\mu\text{K}$ . Tak niskie temperatury są już obecnie w najlepszych laboratoriach fizyki atomowej osiągnane rutynowo.

Wytworzenie nadciekłości w pułapkach fermionowych stało się możliwe dzięki wytwarzaniu oddziaływań za pomocą tzw. rezonansów Feshbacha. W tym celu w pułapkach umieszczane są atomy w dwóch różnych stanach nadsubtelnych  $|F, m_F\rangle$ , gdzie  $F$  oznacza całkowity moment pędu, natomiast  $m_F$  jest jego rzutem na wybraną oś. Będziemy dalej symbolicznie oznaczać takie dwa różne stany zeemanowskie odpowiednio przez  $\uparrow$  oraz  $\downarrow$ . Gdy przykłada się z zewnątrz pole magnetyczne o indukcji  $B$ , atomy z poszczególnych stanów nadsubtelnych oddziałują ze sobą w wyniku dość złożonych procesów z udziałem orbitalnych i spinowych stopni swobody [33].

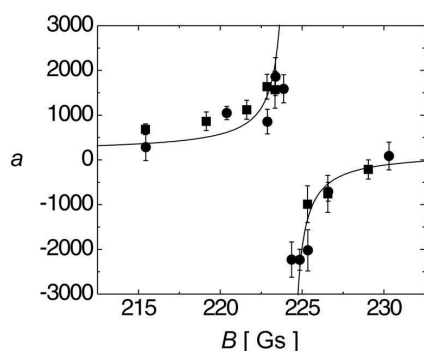
W ultraniskich temperaturach energia atomów jest tak mała, że do opisu efektywnych oddziaływań wystar-



czy rozważyć głównie kanał s teorii rozproszeń (pozostałe kanały dają pomijalny wkład). Pseudopotencjał  $V(\mathbf{r}-\mathbf{r}') = V_0\delta(\mathbf{r}-\mathbf{r}')$  można opisać amplitudą  $V_0 = 4\pi a\hbar^2/m$ , gdzie  $a$  oznacza długość rozpraszania. Przy określonej indukcji pola magnetycznego  $B_r$  (takich wartości może być dla danego atomu nawet kilka) długość rozpraszania  $a(B)$  wykazuje rozbieżność:

$$a(B) = a_0 + \frac{a_1}{B - B_r}. \quad (3)$$

Rysunek 2 pokazuje rezonans Feshbacha uzyskany po raz pierwszy dla atomów fermionowych w 2003 r. przez grupę z Boulder (Colorado, USA) [34]. Efekty wielociałowe sprawiają, że rezonansowa osłabłość (3) jest rozmyta do wartości skończonych [35].

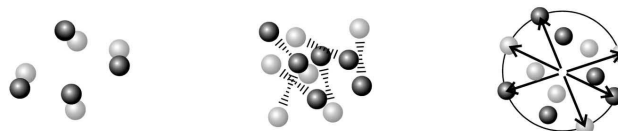
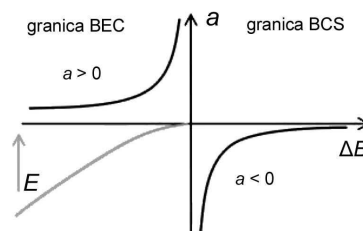


Rys. 2. Rezonans Feshbacha fermionowych atomów  $^{40}\text{K}$  w stanach nadsubtelnych  $|9/2, -9/2\rangle$  oraz  $|9/2, -7/2\rangle$  [34]

Nawet niewielkie zmiany pola magnetycznego wokół  $B_r$  prowadzą do dramatycznych zmian oddziaływania atomów  $\uparrow$  z atomami  $\downarrow$ . Dla pól magnetycznych  $B > B_r$  oddziaływania mają charakter przyciągający (jest to tzw. granica BCS). Począwszy od wartości rezonansowej  $B_r$  pojawia się dodatkowo stan cząsteczkowy, którego energia wiązania  $E$  stopniowo zwiększa się w obszarze  $B < B_r$  (rys. 3). W odpowiednio niskiej temperaturze dochodzi do kondensacji Bosego–Einsteina cząsteczek, dlatego zakres  $B < B_r$  jest określany jako granica BEC.

Zmieniając pole magnetyczne, można wpływać na charakter i wartość bezwzględną efektywnego potencjału oddziaływania (rys. 3). Przejście między granicami przebiega w sposób ciągły [36]. Zagadnienie ciągłego przejścia od nadprzewodnictwa typu BCS do nadciekłości w sensie kondensacji BE par lokalnych było niejednokrotnie rozważane teoretycznie w literaturze [37]. Teraz można je po raz pierwszy realizować w kontrolowany sposób.

W roku 2004 kilka grup doświadczalnych niezależnie doniosło o osiągnięciu egzotycznego rodzaju nadciekłości atomów zarówno po stronie BEC [38], jak i po stronie BCS [39]. Na podstawie pomiarów przy użyciu spektroskopii radiowej wykazano pojawienie się przerwy energetycznej [40], a rok później zaobserwowano wiry [41], które jednoznacznie potwierdzają istnienie fazy nadciekłej.



Rys. 3. Ilustracja powstawania różnych form nadciekłości w przypadku granicy BEC ( $a > 0$ ), granicy BCS ( $a < 0$ ) oraz w obszarze pośrednim [42]

## 6. Inne ciekawe odkrycia

Mimo że od ponad 10 lat nie poprawiono rekordowej wartości temperatury krytycznej  $T_c = 165$  K nadprzewodnika wysokotemperaturowego  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$  (poddanego ciśnieniu), to jednak w dalszym ciągu odkrywano nowe materiały nadprzewodzące. W ciągu 5 lat obecnego wieku odkryto wiele bardzo ciekawych związków [43].

W rozdziale 2 wymieniliśmy już  $\text{MgB}_2$  [3], który pod względem zastosowań jest najbardziej obiecujący. Z ciekawych odkryć warto również wymienić  $\text{UGe}_2$  [44], gdzie podejrzewa się współistnienie ferromagnetyzmu i nadprzewodnictwa. Bardzo nietypowym nadprzewodnikiem jest  $\text{Ca}_{2-x}\text{Sr}_x\text{RuO}_4$  [45], gdzie realizuje się parowanie o charakterze trypletowym [46] (jedynym innym przykładem trypletowego parowania jest faza nadciekła  $^3\text{He}$ ). Bardzo intrygujące jest odkrycie tzw. mokrych nadprzewodników, czyli tlenków kobaltu interkalowanych wodą  $\text{Na}_y\text{Co}_2 + y \cdot \text{H}_2\text{O}$  [47], gdzie prawdopodobnie zachodzi przejście od parowania singletowego do trypletowego [48].

Ku wielkiemu zaskoczeniu doniesiono o odkryciu nadprzewodnictwa w silnie promieniotwórczym związku  $\text{PuCoGa}_5$  [49], który jest materiałem wykorzystywanym m.in. w broni jądowej. Nietypowe jest również, że tak dobry przewodnik jak Li pod ciśnieniem staje się nadprzewodnikiem już w temperaturze krytycznej  $T_c = 20$  K [50]. Pod ciśnieniem nadprzewodnictwo zaobserwowano także nawet w najtwardszym materiale, czyli w diamentcie. Diament domieszkowany borem pod ciśnieniem 100 kbar przechodzi do stanu nadprzewodzącego w temperaturze  $T_c \approx 4$  K [51]. Czy zatem krzem po podobnym domieszkowaniu mógłby również nadprzewodzić? Nie jest to wcale wykluczone.

Niedawno napłynęła wiadomość o nadprzewodnictwie  $\text{CaC}_6$ , związku interkalacyjnego grafitu, w którym między płaszczyzny grafitowe wstawia się atomy wapnia, uzyskując  $T_c = 11,5$  K [52]. Węgiel nie przestaje więc zaskakiwać nas swoimi właściwościami.

## 7. Podsumowanie

Stan nadprzewodzący polega na spójnym ruchu par fermionowych, takich jak elektrony, dziury albo inne obiekty o spinie połówkowym. Do powstawania par prowadzić mogą różne oddziaływania, w których pośredniczą: a) fonony, b) magnony, c) silne korelacje (instaniony), d) pola magnetyczne (rezonans Feshbacha) itp.

Zależnie od natury oddziaływań odpowiedzialnych za tworzenie par, przejściu w stan nadprzewodzący towarzyszą mniej lub bardziej widoczne efekty fluktuacyjne. W przypadku oddziaływań opóźnionych (fonony) efekt fluktuacji jest marginalny. W nadprzewodnikach (i nadcieczkach) z parami lokalnymi rola fluktuacji znacznie wzrasta. W konsekwencji mogą występować istotne rozbieżności między temperaturą  $T^*$ , poniżej której tworzą się pary, oraz faktyczną temperaturą krytyczną  $T_c$ , poniżej której ustala się dalekozasięgowy porządek. Zależnie od mechanizmów działających w procesach powstawania par zmienia się również skala szerokości przerwy (i ewentualnie pseudoszczeliny) energetycznej oraz wartość temperatury krytycznej  $T_c$ . Pod tym względem jako egzotyczne można określić nadprzewodnictwo (nadciekłość) pułapkowanych atomów metali alkalicznych, jak również formy nadprzewodnictwa z dziedziny fizyki jądrowej (oddziaływanie typu „pairing” pomiędzy nukleonami) oraz w fizyce cząstek elementarnych (plazma kwarkowo-gluonowa). W każdym z wymienionych przypadków jest to konsekwencja tych samych zasad mechaniki kwantowej dla oddziałujących fermionów.

## Literatura

- [1] C. Kittel, *Wstęp do fizyki ciała stałego* (PWN, Warszawa 1999).
- [2] A.A. Abrikosow, *Postępy Fizyki* **55**, 199 (2004), W.Ł. Ginzburg, *Postępy Fizyki* **56**, 57 (2005).
- [3] J. Nagamatsu i in., *Nature* **410**, 63 (2001).
- [4] F. Steglich i in., *Phys. Rev. Lett.* **43**, 1892 (1979).
- [5] H.R. Ott i in., *Phys. Rev. Lett.* **50**, 1595 (1983).
- [6] G.R. Steward i in., *Phys. Rev. Lett.* **52**, 679 (1984).
- [7] C. Varma, cond-mat/0510019.
- [8] D.N. Basov, T. Timusk, *Rev. Mod. Phys.* **77**, 721 (2005).
- [9] A. Damascelli i in., *Rev. Mod. Phys.* **68**, 473 (2003).
- [10] P.A. Lee i in., *Rev. Mod. Phys.* **78**, 17 (2006); M. Normal, C. Pepin, *Rep. Prog. Phys.* **66**, 1547 (2003); T. Timusk, B. Statt, *Rep. Prog. Phys.* **62**, 61 (1999).
- [11] K. Chao, J. Spałek, A.M. Oleś, *J. Phys. C* **10**, L271 (1977).
- [12] P.W. Anderson i in., *J. Phys. Condens. Matter* **16**, R755 (2004).
- [13] A. Paramekanti i in., *Phys. Rev. B* **70**, 054504 (2004); S. Sorella i in., *Phys. Rev. Lett.* **88**, 117002 (2002).
- [14] P.W. Anderson, cond-mat/0510053.
- [15] V.J. Emery, S.A. Kivelson, *Nature* **374**, 434 (1995); V.J. Emery i in., *Phys. Rev. B* **56**, 6120 (1997).
- [16] E. Dagotto, *Science* **309**, 257 (2005); J.M. Tranquada i in., *Nature* **429**, 534 (2004).
- [17] S. Robaszkiewicz, R. Micnas, J. Ranninger, *Phys. Rev. B* **36**, 180 (1987); R. Micnas, J. Ranninger, S. Robaszkiewicz, *Rev. Mod. Phys.* **62**, 113 (1990).
- [18] V.B. Geshkenbein i in., *Phys. Rev. B* **55**, 3173 (1997).
- [19] J. Ranninger i in., *Phys. Rev. Lett.* **74**, 4027 (1995); T. Domański, J. Ranninger, *Phys. Rev. B* **63**, 134505 (2001).
- [20] T. Domański, J. Ranninger, *Phys. Rev. B* **70**, 184503 (2004).
- [21] J. Corson i in., *Nature* **398**, 221 (1999).
- [22] Z.A. Xu i in., *Nature* **406**, 486 (2000).
- [23] Y.J. Uemura, *Solid State Commun.* **126**, 23 (2003).
- [24] J.W. Loram i in., *J. Phys. Chem. Solids* **62**, 59 (2001).
- [25] S.H. Naqib i in., *Phys. Rev. B* **71**, 184510 (2005).
- [26] T.K. Kopeć, T.A. Zaleski, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 097002 (2001); *Phys. Rev. B* **66**, 212504 (2002).
- [27] C.M. Varma, *Phys. Rev. B* **61**, 3804 (2000).
- [28] K. McElroy i in., *Phys. Rev. Lett.* **94**, 197005 (2005).
- [29] L. Balents i in., *Phys. Rev. B* **71**, 144508 (2005); *Phys. Rev. B* **71**, 144509 (2005).
- [30] K.S. Kim, *Phys. Rev. B* **72**, 035109 (2005); T. Senthil i in., *Phys. Rev. B* **70**, 144407 (2004).
- [31] C.A. Regal i in., *Nature* **424**, 47 (2003); T. Loftus i in., *Phys. Rev. Lett.* **88**, 173201 (2002).
- [32] K.M. O'Hara i in., *Science* **298**, 2179 (2002).
- [33] E. Timmermans i in., *Phys. Rep.* **315**, 199 (1999); *Phys. Lett.* **A285**, 228 (2001).
- [34] C.A. Regal, D.S. Jin, *Phys. Rev. Lett.* **90**, 230404 (2003).
- [35] T. Domański, *Phys. Rev. A* **68**, 013603 (2003).
- [36] R.A. Duine, H.T.C. Stoof, *Phys. Rep.* **396**, 115 (2004).
- [37] D.M. Eagles, *Phys. Rev.* **186**, 456 (1969); A.J. Leggett, *J. Phys. (Paris)* **41**, 7 (1980); S. Robaszkiewicz, R. Micnas, K.A. Chao, *Phys. Rev. B* **23**, 1447 (1981); P. Nozières, S. Schmitt-Rink, *J. Low Temp. Phys.* **59**, 195 (1985).
- [38] S. Jochim i in., *Science* **302**, 2101 (2003); M.W. Zwierlein i in., *Phys. Rev. Lett.* **91**, 250401 (2003); M. Greiner i in., *Nature* **426**, 537 (2003); T. Bourdel i in., *Phys. Rev. Lett.* **93**, 050401 (2004).
- [39] C.A. Regal i in., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 040403 (2004); M.W. Zwierlein i in., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 120403 (2004); J. Kinast i in., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 150402 (2004); C. Chin i in., *Science* **305**, 1128 (2004).
- [40] C. Chin i in., *Science* **305**, 1128 (2004).
- [41] M.W. Zwierlein i in., *Nature* **435**, 170404 (2005).
- [42] M. Greiner i in., cond-mat/0502539.
- [43] K.I. Wysokiński, *Postępy Fizyki* **52**, 198 (2001); patrz też wykłady wygłoszone podczas XI Krajowej Szkoły Nadprzewodnictwa (Kazimierz Dolny, 25–29 września 2005 r.), dostępne na stronie: [kft.umcs.lublin.pl/ztfs/kazimierz05/wyklady](http://kft.umcs.lublin.pl/ztfs/kazimierz05/wyklady).
- [44] S.S. Saxena i in., *Nature* **406**, 587 (2000).
- [45] S. Nakatsuji i in., *Phys. Rev. Lett.* **93**, 146401 (2004).
- [46] J.F. Annett, G. Litak, B.L. Györfy, K.I. Wysokiński, *Phys. Rev. B* **66**, 134514 (2002).
- [47] J. Cava i in., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 247001 (2004).
- [48] M.M. Maška i in., *Phys. Rev. B* **70**, 144516 (2004).
- [49] J.L. Sarrao i in., *Nature* **420**, 297 (2002).
- [50] K. Shimizu i in., *Nature* **419**, 597 (2002).
- [51] E.A. Ekimov i in., *Nature* **428**, 542 (2004).
- [52] N. Emery i in., *Phys. Rev. Lett.* **95**, 087003 (2005).

Dr hab. TADEUSZ DOMAŃSKI jest adiunktem w Zakładzie Teorii Fazy Skondensowanej Instytutu Fizyki UMCS w Lublinie. Pracę magisterską, a także doktorską wykonał pod kierunkiem prof. Karola Wysokińskiego, badając właściwości elektrodynamiczne nadprzewodników wysokotemperaturowych. Był stypendystą Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej oraz beneficjentem francuskiego ministerstwa szkolnictwa wyższego. Odbył kilka staży poddoktorskich w Grenoble, gdzie zajmował się analizą ewolucji stanu normalnego do stanu nadprzewodzącego w silnie skorelowanych układach bozonów i fermionów. Wykazał m.in., że powyżej temperatury krytycznej dochodzi do pojawienia się pseudoszczeliny, będącej prekursorem parametru porządku fazy nadprzewodzącej. Do tematyki ostatnio prowadzonych badań dołączył również zagadnienie nadciekłości ultrazimnych atomów oddziałujących z rezonansem Feshbacha. Interesuje się rozwojem różnych metod opisu układu wielu ciał, np. formalizmem grupy renormalizacyjnej.



## ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

### Efekty jądrowe w oddziaływaniach neutrin

W dniach 7–10 grudnia 2005 r. odbyło się we Wrocławiu XX Sympozjum Maksxa Borna „Efekty jądrowe w oddziaływaniach neutrin”. W konferencji uczestniczyło 40 fizyków: z Włoch (9 osób), Rosji (4), Hiszpanii (3), USA (2), Wielkiej Brytanii (1), Niemiec (1), Szwajcarii (1) oraz z Warszawy, Krakowa i Wrocławia. Przedstawiono na nim teoretyczne i doświadczalne zagadnienia związane z oddziaływaniem neutrin z materią.

Fizyka neutrin przeżywa w ostatnich latach rozkwit. Od niedawna wiadomo, że neutrina podlegają samorzutnym, cyklicznym przemianom (oscylują), co świadczy o tym, że mają niezerową masę spoczynkową. Z potrzeby pogłębiania wiedzy o ich podstawowych właściwościach wynika konieczność przeprowadzania nowych pomiarów. Jednym z nich jest dokładniejsze wyznaczenie leptonowej macierzy mieszania określającej oscylacje. Wyniki tych pomiarów mogą dać wskazówkę, jak rozszerzyć Model Standardowy. Stosowanie poprawnego i dokładnego opisu oddziaływań neutrin–nukleon i neutrin–jądro atomowe pozwala istotnie poprawić dokładność analizy danych doświadczalnych.

Sympozjum, poświęcone modelowaniu efektów jądrowych w oddziaływaniach neutrin, odbywało się w głównej sali wykładowej Wydziału Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Wrocławskiego. Rozpoczęło się wprowadzającym wystąpieniem Flavia Cavanny. Pierwszego dnia odbyła się także sesja poświęcona pracom doświadczalnym. Wygłoszono referaty poświęcone eksperymentom MINERvA oraz T2K, a prof. Agnieszka Zalewska przedstawiła plany budowy de-

tektora neutrinowego w kopalni „Sieroszowice” w zagłębiu miedziowym na Dolnym Śląsku. Ostatnią sesję pierwszego dnia poświęcono zagadnieniu dualności kwarkowo-hadronowej w oddziaływaniach neutrin.

Drugiego dnia referaty poświęcone opisowi efektów jądrowych w oddziaływaniach neutrin z materią wysłuchał tacy specjaliści, jak Omar Benhar (zagadnienie funkcji spektralnej), Gianpaolo Co (przybliżenie przypadkowej fazy, ang. RPA), Franco Pacati (model relatywistyczny). Siergiej Kułagin omówił uwzględnianie efektów jądrowych w zderzeniach głęboko nieelastycznych. Wanda Alberico podjęła zagadnienie dziwności w rozpraszaniu elastycznym neutrin na nukleonach.

Trzeci dzień sympozjum otworzyło wystąpienie Paula Lipariego połączone z sesją Oddziału Wrocławskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Referat był skierowany do społeczności wrocławskich fizyków i studentów. Prof. Lipari omówił rolę neutrin we współczesnej astrofizyce i kosmologii. Jedną z sesji sympozjum poświęcono wykorzystaniu generatorów Monte Carlo w symulacjach oddziaływań neutrin z materią. Wykład o generatorze FLUKA przedstawił Giuseppe Battistoni. Ciekawym wystąpieniem był referat Costasa Andreopoulosa, który mówił o projekcie GENI.

Siłą napędową Komitetu Organizacyjnego, któremu przewodniczył Jan Sobczyk, byli: Jarosław Nowak, Cezary Juszcak, Artur Ankowski oraz autor tej notatki. Wykłady wygłoszone na sympozjum ukażą się w *Acta Physica Polonica B*.

Krzysztof M. Graczyk  
Instytut Fizyki Teoretycznej  
Uniwersytet Wrocławski

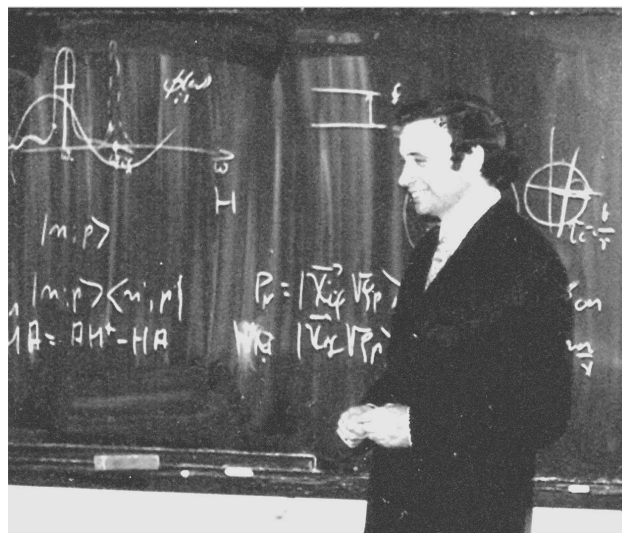
## Eugeniusz Czuchaj (1943–2005)

Gdy w październiku 1967 r. doc. dr hab. Jan Fiutak, przyjmując mnie do pracy w Katedrze Fizyki Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Gdańsku, przedstawił mi swego asystenta Eugeniusza Czuchaja, nie przypuszczałem, że danym mi będzie żyć obok naukowca wielkiego formatu i charakteru, który odciśnie piętno na światowej fizyce atomowej, a dla mnie stanie się pierwszym przewodnikiem po labiryntach kwantowego opisu świata.

Eugeniusz Czuchaj urodził się 17 sierpnia 1943 r. w miejscowości Grodysławice (woj. lubelskie). W roku 1953 rodzina przenosi się do Drzonowa niedaleko Kołobrzegu, gdzie Eugeniusz kończy szkołę podstawową. Do liceum ogólnokształcącego uczęszcza w Kołobrzegu. Ma szczęście do dobrych pedagogów. Pod wpływem nauczyciela fizyki w 1961 r. wybiera studia fizyki na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Szybko daje się poznać jako niezwykle sumienny student o nieprzeciętnych zdolnościach, pragnący wniknąć głębiej w prawa rządzące naturą. Jednocześnie interesuje się filozofią, a także teologią, co znajduje swój wyraz w żywym kontakcie z zakonem jezuitów. Pracę magisterską pisze pod kierunkiem prof. Wandy Hanusowej, kończąc studia z opinią najlepszego studenta roku. Dla przyszłej kariery młodego absolwenta decydujące znaczenie miało zaproszenie przez dr hab. Jana Fiutaka do Gdańska na staż asystencki w Katedrze Fizyki WSP. W Sopocie poznaje swoją przyszłą żonę, wierną towarzyszkę życia, Marię z Frydrychowiczów, która rozumie jego naukową pasję i wspiera jego poczynania.

Doc. Fiutak proponuje mu ambitny temat pracy doktorskiej: zbadanie wpływu potrójnych zderzeń na kształt linii widmowych. Eugeniusz Czuchaj znakomicie wywiązuje się z zadania. Pokonuje barierę niezwykle skomplikowanych rachunków (podobne rachunki wykonał przed nim Edward Teller – współtwórca bomby jądowej). W roku 1973 wieńczy badania pracą doktorską „Efekt potrójnych zderzeń w teorii ciśnieniowego rozszerzania linii widmowych” i otrzymuje stanowisko adiunkta w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Gdańskiego. O randze rozprawy doktorskiej świadczy fakt, że jej obszernie fragmenty cytuje Robert Breene w monografii *Theories of Spectral Line Shape*. Pomimo sukcesu zdaje sobie doskonale sprawę, że badania w atomistyce wymagają poszerzenia wiedzy, a także szybkich maszyn liczących, które w tym czasie w Polsce nie były dostępne. Po długich staraniach o paszport wyjeżdża w roku 1975 na staż naukowy w charakterze stypendysty Fundacji Aleksandra Humboldta do Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Stuttgarcie, gdzie współpracuje z profesorem Wolfgangiem Weidlichem. Tam jego zainteresowanie budzi problem powstawania ekscymerów typu metal alkaliczny–gaz szlachetny. Właśnie z tej tematyki przygotowuje rozprawę habilitacyjną „Efekty zderzeniowe w spektroskopii atomów alkalicznych zaburzanych przez

gazy szlachetne”. W roku 1981 decyzją Rady Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UMK otrzymuje stopień doktora habilitowanego.



Eugeniusz Czuchaj podczas obrony pracy doktorskiej

Marzeniem Eugeniusza Czuchaja było, aby jego prace teoretyczne „weszy pod strzechy” laboratoriów. Marzenie to miało się niedługo spełnić. Zauważa, że w teorii oddziaływań międzyatomowych brak jest precyzyjnych metod wyznaczania potencjałów oddziaływania i momentów dipolowych przejść w układach atomowych. Ma przy tym pełną świadomość, że w młodym gdańskim ośrodku nie ma szans na wykonanie ambitnego programu naukowego. W roku 1985 wyjeżdża po raz drugi do Instytutu Chemii Teoretycznej w Stuttgarcie, gdzie nawiązuje wieloletnią współpracę z niemieckimi specjalistami Heinz-Wernerem Preussem i Hermannem Stollem. Jak mi opowiadał, do Stuttgartu jechał z gotową koncepcją wyznaczania potencjałów. Potrzeba było tylko szybkiego komputera i dobrego programu. Program dostarczony przez niemieckich kolegów zawierał błąd, który udało mu się poprawić. W ten sposób rozpoczął cykl prac dotyczących oddziaływań atomów alkalicznych i atomów drugiej grupy układu okresowego pierwiastków z atomami gazów szlachetnych. W latach 1988–2004 wielokrotnie przebywał na krótkich wizytach naukowych w Stuttgarcie, a także w Max-Planck-Institut w Garching koło Monachium, gdzie współpracował z Frankiem Rebentrostem. Wraz z nim oraz Stollem i Preussem wypracowuje pionierską metodę opisu oddziaływań. Do literatury naukowej wchodzi określenie „potencjały Czuchaja”. Wielu świetnych eksperymentatorów zwraca się do niego z prośbą o wykonanie obliczeń potencjałów dla interesujących ich układów atomowych.

W roku 1992 Eugeniusz Czuchaj awansuje na stanowisko profesora nadzwyczajnego w Instytucie Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki UG. Dwa lata później otrzymuje tytuł profesora, a w roku 1997 uzyskuje stanowisko profesora zwyczajnego w Uniwersytecie Gdańskim.



Eugeniusz Czuchaj (1995 r.)

Przy intensywnej pracy naukowej znajdował czas na rozwój młodej kadry. Był opiekunem kilkunastu prac magisterskich. Wypromował dwóch doktorów, z których jeden jest obecnie profesorem zwyczajnym, a drugi nadzwyczajnym Politechniki Gdańskiej. Równolegle podejmował wyzwania natury organizacyjnej. W latach 1984–99 kierował Zakładem Fizyki Teoretycznej, a następnie Zakładem Mechaniki Teoretycznej w IFTiA UG. Od roku 1986 do 1990 pełnił funkcję prodziekana Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UG. Przez dwie kadencje (1999–2005) kierował Instytutem (IFTiA), który w tym czasie ugruntował swoją pozycję naukową w kraju i za granicą. Zdobyl sobie uznanie jako wieloletni członek komisji dyscyplinarnej Uniwersytetu dla nauczycieli akademickich.

Działał także aktywnie w Polskim Towarzystwie Fizycznym. W latach 1990–2004 pełnił funkcję przewodniczącego Gdańskiego Oddziału PTF. Był także członkiem Stowarzyszenia Stypendystów Fundacji Aleksandra von Humboldta. Pamiętam, jak żywo wspominał spotkanie stypendystów z Wernerem Heisenbergiem tuż przed jego śmiercią w 1976 r. Widział w nim nie tylko wielkiego fizyka, ale także filozofa przyrody.

Profesor Czuchaj był naukowcem z krwi i kości, o nieprzeciętnej energii twórczej. Jego zainteresowania koncentrowały się na podstawowych zagadnieniach fizyki atomowo-cząsteczkowej. Opublikował z tej dziedziny ponad 60 prac, większość w renomowanych czasopismach mię-

dzynarodowych. Wiele z tych prac miało charakter pionierski i przyczyniło się do podniesienia rangi IFTiA na arenie światowej.

Najwięcej satysfakcji sprawiały mu prace stanowiące teoretyczną podstawę interpretacji wyników doświadczalnych, których naturę dopiero dzięki jego obliczeniom udawało się wyjaśnić. Za swoje prace był dwukrotnie uhonorowany nagrodami ministra edukacji i wielokrotnie nagrodami rektora. Jak mawiał, najlepiej się relaksował, słuchając muzyki fortepianowej na żywo w wykonaniu żony, a także jedynego syna Janka.

To, co najbardziej fascynowało mnie w osobowości Eugeniusza Czuchaja, to niespotykana prawość połączona z prostotą i skromnością, a także zdumiewająca głębość, z jaką patrzył zarówno na rzeczy ostateczne jak i sprawy przyjemne. Był to człowiek o niezwykle wrażliwej duchowości, gotowy przyjąć wyzwania, jakie stawiała przed nim Opatrzność, włączając to największe – zmierzenie się ze śmiertelną chorobą.

W pełni świadom swojego stanu, wbrew sceptyczmowi otoczenia podejmuje się w roku 2003 organizacji Zjazdu Fizyków Polskich. Zjazd ten przeszedł do historii jako jeden z najlepszych. Do ostatniej chwili prof. Czuchaj nie schodził z mostka. Prowadził zajęcia dydaktyczne, publikował prace naukowe, a ostatnio zgłębiał przesłanie zawarte w książce ukochanego przez niego Jana Pawła II *Pamięć i tożsamość*.



Eugeniusz Czuchaj otwiera XXXVII Zjazd Fizyków Polskich

Autor jest wdzięczny dr. hab. Januszowi Czubowi, profesorowi UG, za pomoc w opracowaniu materiału faktograficznego.

*Ryszard Horodecki*

Instytut Fizyki Teoretycznej  
i Astrofizyki  
Uniwersytet Gdański

# Polscy studenci i doktoranci mile widziani w Dubnej

## Rozmowa z Aleksiejem Sisakianem

---

Interview with Alexei Sissakian

---

Dyrektor Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej, Aleksiej Norajrowicz Sisakian, gościł w grudniu 2005 r. przez dwa dni w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN im. Henryka Niewodniczańskiego w Krakowie, jeszcze jako dyrektor elekt; kadencję rozpoczął 1 stycznia 2006 r. Celem wizyty było zainteresowanie uczestników Międzynarodowego Studium Doktoranckiego, prowadzonego przez IFJ PAN, Programem Bogolubowa–Infelda współpracy naukowej z ZIBJ, oferującym wyjazdy szkoleniowe młodej kadry naukowej do Dubnej. Podczas pobytu w Krakowie prof. Sisakian wygłosił też referat na Krakowskim Konwersatorium Fizycznym.

*Małgorzata Nowina Konopka*

**Małgorzata Nowina Konopka [MNK]** – Czym jest dziś Zjednoczony Instytut Badań Jądrowych, utworzony w 1956 r., czyli prawie 50 lat temu, jako centrum fizyki dla krajów Europy Wschodniej?

**Aleksiej Sisakian [AS]** – ZIBJ jest międzynarodową, międzyrządową organizacją naukowo-badawczą, utworzoną zgodnie z porozumieniem z dnia 26 marca 1956 r., zarejestrowaną w ONZ 1 lutego 1957 r. i w UNESCO 24 września 1997 r. Porozumienie podpisało w Moskwie 11 państw, a obecnie w skład ZIBJ wchodzi 18 państw członkowskich. W ciągu 50 lat działalności ZIBJ stał się ważnym, wielodyscyplinarnym ośrodkiem naukowym. Obecnie jest wyposażony w doskonałą aparaturę, znanym w świecie centrum badań podstawowych z fizyki jądrowej, jednoczącym wysiłki uczonych w ich dążeniu do zrozumienia budowy otaczającego nas świata.

Od samego początku istnienia ZIBJ owocnie rozwija się jego współpraca z CERN-em w Genewie. To nasz największy partner. Współpracujemy z setkami instytutów z dziesiątków krajów i wszystkich kontynentów świata. Choć nie – jedyny wyjątek stanowi Antarktyda.

**MNK** – Jakie zmiany zaszły w instytucie po upadku komunizmu?

**AS** – W czasach istnienia „obozu socjalistycznego” zgodę na wyjazd za granicę uzyskiwało się tylko pod warunkiem pozytywnej oceny komitetu partyjnego. Również uczeni otrzymujący taką zgodę, tzw. wyjezdni, mogli uczestniczyć w międzynarodowej konferencji czy zagranicznym eksperymencie tylko raz na rok. To oczywiście ograniczało międzynarodową współpracę uczonych. Nowe czasy dają więcej swobody i to jest niewątpliwie fakt pozytywny.

Czasy przemian wniosły poprawki w życie ZIBJ. Rozpad obozu i Związku Radzieckiego, twardy kurs eko-

nomiczny w wielu państwach członkowskich odbił się również na sytuacji Instytutu.



Aleksiej Sisakian obok popiersia patrona IFJ (fot. Anna Nowak)

**MNK** – Jakie miejsce zajmuje ZIBJ wśród naukowych ośrodków w świecie?

**AS** – ZIBJ zachował pozycję lidera dzięki wysiłkom wielu wybitnych uczonych i działaczy państwowych, którzy nie tylko postawili sobie za cel zachować Instytut, ale zapewnili jego dalszy rozwój.

I tak na przykład, w roku 1992 powołano międzynarodową Radę Naukową ZIBJ, w której skład wybrano wybitnych specjalistów z największych ośrodków badawczych z całego świata. Powstały międzynarodowe komitety programowo-doradcze, które rekomendują nowe, najbardziej istotne dla działalności Instytutu kierunki naukowe.

Obecnie Instytut idzie naprzód, co znajduje potwierdzenie w stałym wzroście współpracy międzynarodowej

w dziedzinie fizyki wysokich energii (lub fizyki cząstek elementarnych), fizyki jądra atomowego i fizyki materii skondensowanej.

W jubileusz 50-lecia Instytut wchodzi z nowymi odkryciami naukowymi, z odnowioną bazą eksperymentalną i w sytuacji, kiedy społeczeństwo właściwie ocenia rolę badań podstawowych dla ludzkości.

**MNK** – Jaka jest rola polskich naukowców w ZIBJ i jaki jest ich wkład w osiągnięcia Instytutu?

**AS** – Polska jest jednym z krajów założycielskich Instytutu i od samego początku jego istnienia odgrywa ogromną rolę w jego funkcjonowaniu jako międzynarodowej i międzyrządowej organizacji naukowo-badawczej. Młodzi polscy fizycy szybko stawali się równoprawnymi współpracownikami początkowo bardziej doświadczonych rosyjskich kolegów. Z czasem organizowały się całe polskie grupy badawcze. Na przykład w Laboratorium Problemów Jądrowych, w głównej mierze dzięki inicjatywie prof. Henryka Niewodniczańskiego, powstał Oddział Spektroskopii i Radiochemii, w którym grupa fizyków z Lublina i Warszawy prowadziła nowatorskie badania rozpadów nuklidów o czasach połowicznego zaniku rzędu minut, a następnie, dzięki wprowadzeniu detektorów półprzewodnikowych, odkryto i zbadano ogromną liczbę krótko żyjących nuklidów neutronodeficytowych. W tymże laboratorium specjaliści z Lublina rozpoczęli prace nad oddziaływaniem nadsubtelnym w różnych materiałach z zastosowaniem metody zaburzonych korelacji promieniowania  $\gamma$ . Z kolei fizycy z Krakowa i Warszawy w Laboratorium Reakcji Jądrowych uczestniczyli w odkryciu nowego typu zjawiska – rozpraszania głęboko nieelastycznego, zapoczątkowano badania fazy skondensowanej materii metodą zaburzonych rozkładów promieniowania  $\gamma$ , a polscy chemicy wnieśli duży wkład w rozdzielenie i badanie pierwiastków transfermowych. W Laboratorium Fizyki Neutronowej fizycy z Łodzi byli pionierami w dziedzinie badań z zastosowaniem powolnych neutronów. Przede wszystkim zajmowali się powstającymi w reakcjach rezonansowych wysoko wzbudzonymi stanami jąder przejściowych, a korzystając z reaktora impulsowego, specjaliści z Krakowa jako pierwsi podjęli badania materii skondensowanej przy użyciu wiązki szybkich neutronów. Jednocześnie polscy naukowcy uzyskiwali wybitne wyniki w fizyce wysokich energii, pojawiały się cenne prace teoretyczne.

To tylko mała część z wielkiej liczby prac, w których specjaliści z Polski osiągnęli wyniki na najwyższym poziomie. Dubna odegrała kapitalną rolę w kształceniu polskiej kadry fizyków jądrowych i fizyków wysokich energii, a także kadry inżynierjno-technicznej. Biorę na siebie ryzyko wygłoszenia tezy, że dubieńczycy stworzyli podwaliny polskiej fizyki w wymienionych dziedzinach. Zresztą liczby mówią same za siebie: w ZIBJ pracowało w różnych latach ok. 500 Polaków, napisano ponad 100 prac doktorskich i prawie 50 habilitacyjnych.

Prawdą jest, że w pierwszej połowie lat 90. znacznie zmalała liczba polskich pracowników Instytutu, wyjechały ich rodziny, ale te zmiany mają charakter uni-

wersalny, dotyczą pracowników wszystkich innych państw członkowskich. Niemniej polska grupa licząca trochę ponad 20 osób, wraz z ok. 80 specjalistami przyjeżdżającymi w ciągu roku, wciąż daje znaczący wkład w naukowy dorobek ZIBJ. Naszych 8 laboratoriów współpracuje z blisko trzydziestoma polskimi placówkami naukowymi w ramach 34 tematów naukowych i 15 protokołów o współpracy. Rocznie pojawia się ok. 180 prac, w tym prawie połowa w postaci publikacji w czasopiśmie. Jak zawsze, polscy specjaliści pracują w Dubnej w grupach naukowych prowadzących interesujące badania w różnych obszarach współczesnej fizyki jądrowej, fizyki ciała stałego, radiobiologii, radiochemii, fizyki teoretycznej, ale również z powodzeniem zajmują się zmianami radiacyjnymi materiałów, zastosowaniem akceleratorów w medycynie – głównie w leczeniu pewnych postaci raka, projektowaniem i konstruowaniem niezwykle wyrafinowanych urządzeń badawczych, np. specjalistycznych detektorów. Podkreślić należy fakt, że polscy fizycy zawsze wykazywali niezwykłą dbałość o aparaturę i najczęściej znakomite wyniki zawdzięczają aparaturze zbudowanej przez nich samych. O tym, że Polacy potrafili zachować przodującą pozycję w pracach Instytutu w nowych warunkach, świadczy ich uczestnictwo w realizacji takich projektów, jak otrzymywanie i badanie własności superciężkich pierwiastków transuranowych, prace w ramach projektu AKULINA z wykorzystaniem silnie neutrononadmiarowych wiązek helu, projektu FAZA dotyczącego wiązek lekkich jonów relatywistycznych, dostarczających informacji o wewnątrzjądrowych przemianach fazowych wysoko wzbudzonej materii nukleonowej, niezwykle ważnych dla astrofizyki. Należy również wspomnieć o pracach z separatorem wiązek egzotycznych jąder („wiązek radioaktywnych”) COMBAS, o neutronowych badaniach struktury i dynamiki fazy skondensowanej metodą rozpraszania nieelastycznego i rozpraszania niskokątowego, czy – na koniec – od pewnego czasu stanowiących przedmiot szczególnego zainteresowania w naukowym świecie i energetyce, teoretycznych i eksperymentalnych badaniach elektrojądrowego sposobu otrzymywania energii i transmutacji odpadów promieniotwórczych.

W wyniku prowadzonych w Instytucie reform, w tym wprowadzeniu dofinansowywania szczególnie interesujących i efektywnych badań poprzez przyznawanie grantów, obserwujemy wzrost zainteresowania polskich ośrodków naukowych współpracą z ZIBJ, a odpowiednia polityka edukacyjna powoduje stopniowe odmładzanie kadry naukowej, również w grupie polskich pracowników Instytutu.

**MNK** – Czy obserwuje się w waszej organizacji „ucieczkę mózgow” do Stanów Zjednoczonych i krajów Unii Europejskiej?

**AS** – Każdego roku średnio 50 młodych specjalistów przyjeżdża do ZIBJ i zostaje u nas, aby pracować w Instytucie. Oczywiście niektórzy wyjeżdżają za granicę, inni wracają do rodzinnych instytutów. Niemniej można powiedzieć, że znaczącej „ucieczki mózgow” u nas nie było. Mamy dostatecznie duży potencjał naukowy. Należy pod-

kreślić, że migracja intelektu jest również skierowana do Dubnej – z wielką chęcią przyjeżdżają do nas pracować naukowcy z wielu krajów. Społeczność naukowa to bardzo mobilna grupa zawodowa i jej migracja występuje także w krajach rozwiniętych.

**MNK** – Co Instytut może zaproponować polskim studentom piszącym prace dyplomowe z fizyki i doktorantom piszącym rozprawy?

**AS** – Wspomniałem już wcześniej, że Instytut prowadzi specjalną politykę edukacyjną w celu odmłodzenia kadr naukowych. Podkreślić należy, iż pierwsza poważna inicjatywa w tym obszarze naszej działalności należy do strony polskiej. Mianowicie, w końcu lat 90. powołano do życia Program Bogolubowa–Infelda (PBI), celem którego jest zainteresowanie młodzieży przyjazdami do Dubnej, umożliwienie studentom i doktorantom z Polski prowadzenia badań z zastosowaniem jedynych w swoim rodzaju urządzeń Instytutu, niemających często odpowiedników nie tylko w Polsce, ale w ogóle na świecie. Wyjątkowość Instytutu polega na tym, że prowadzone w nim badania obejmują wspomniane szerokie widmo specjalności. W grę wchodzi również praktyczne zastosowania badań naukowych, takie jak medycyna protonowa czy produkcja folii jądrowych, rozwijanych przy wykorzystaniu narzędzi badawczych Instytutu.

Zadania tej części Programu realizuje się przez organizację: przyjazdów studentów i doktorantów w celu uczestniczenia w badaniach naukowych, których wyniki są wykorzystywane w pracach magisterskich lub doktorskich; letnich szkół studenckich, których tematem jest zastosowanie fizyki jądrowej i akceleratorów w medycynie i biologii; letnich praktyk naukowych, mających umożliwić studentom uczestniczenie w rzeczywistych badaniach naukowych i zachęcić ich do wyboru tematów prac dyplomowych do wykonania w Dubnej; wycieczek, zapoznających ze strukturą ZIBJ i prowadzonymi w nim badaniami naukowymi, bogatych w imprezy integracyjne. Szczególną uwagę zwraca się na pokazywanie udziału Polski w pracach Instytutu: przedstawia się jego historię i dzień dzisiejszy, organizuje spotkania z polskimi pracownikami różnych laboratoriów, którzy opowiadają o swojej pracy, oprowadzają po laboratoriach, pokazują konkretne stanowiska badawcze, są naukowymi opiekunami studentów przyjeżdżających w celu przeprowadzenia badań.

Młodzież może spotkać w Dubnej uczonych znanych w całym świecie naukowym, zarówno z grona miejscowych specjalistów, jak i przyjezdnych – każdego roku w Dubnej odbywa się ponad 50 konferencji, szkół i innych rodzajów spotkań naukowych.

Oczywiście zdajemy sobie sprawę z wielkiej odpowiedzialności, jaką bierzemy na siebie, obiecując młodym ludziom wykonanie prac dyplomowych w Dubnej, i mu-

szą przyznać, że przychodzi nam pokonywać różne trudności organizacyjne, np. językowe. Jak dotąd, udaje się nam pokonywać przeszkody i mamy już na koncie kilka prac dyplomowych przynajmniej częściowo wykonanych w naszych laboratoriach.

**MNK** – Jakie warunki życia i pracy możecie zaproponować studentom?

**AS** – Ze środków PBI zwraca się połowę kosztów przejazdu pociągiem, opłaca hotel, wypłaca diety w rublach w wysokości odpowiadającej 10 dolarom. Studenci przyjeżdżający na wycieczki naukowe, praktyki czy na szkołę są zakwaterowani w pokojach dwu- lub trzyosobowych, zaś przyjeżdżający na badania naukowe mieszkają w pokojach jedno- lub dwuosobowych. Wysokość diet odpowiada wynagrodzeniom otrzymywanym przez samodzielnych pracowników naukowych Instytutu. Gwarantujemy pracę w czołowych grupach naukowych, dających pewność pomyślnego przeprowadzenia badań. W takich przypadkach partnerzy najczęściej posługują się językiem angielskim, chociaż zapewniamy kursy języka rosyjskiego i wielu studentów chętnie korzysta z tej możliwości.

Kierownictwo PBI uważa, że ważne są też kontakty polskich studentów z ich dubieńskimi rówieśnikami. Ogromne znaczenie takich wyjazdów polega na tym, że studenci mają możliwość poznawania historii i współczesności narodów żyjących za wschodnią granicą Polski, porównania ich i własnej rzeczywistości, poczynając od programów nauczania na poszczególnych uczelniach, a kończąc na warunkach codziennego życia i stanie zaawansowania reform w postkomunistycznym obszarze geopolitycznym. Oznacza to, że oprócz pogłębiania wiedzy i rozwoju zainteresowań młodzieży naukami ścisłymi i przyrodniczymi pobyty w Dubnej powinny sprzyjać utrwalaniu wśród młodych ludzi postaw integracyjnych i tolerancji.

Dużym zainteresowaniem cieszą się wycieczki do Moskwy i Siergiejew Posadu, gdzie studenci zwiedzają muzea, cerkwie, oglądają pomniki architektury itd. Prawie każdy z przyjeżdżających odwiedza polski cmentarz wojenny w miejscowości Miednoje. W zależności od pory roku studenci korzystają z instytutowej pływalni, lodowiska lub sauny. Po powrocie do kraju student jest zobowiązany do napisania sprawozdania z wykonanych prac, zawierającego także ocenę warunków pobytu.

**MNK** – Na koniec proszę opowiedzieć coś o sobie, o swoich zainteresowaniach pozanaukowych.

**AS** – Urodziłem się w 1944 roku w Moskwie w rodzinie pracowników naukowych. Od ukończenia Wydziału Fizyki Uniwersytetu Moskiewskiego w roku 1968 pracuję w ZIBJ. Od szkolnych lat moim ulubionym hobby jest poezja. Jestem autorem kilku jej tomików.

**MNK** – Dziękuję za rozmowę.



## Honorowe wyróżnienie dla nestora lubelskiej fizyki jądrowej

25 stycznia 2006 r. Senat UMCS podjął uchwałę o nadaniu Profesorowi Tomaszowi Goworkowi Medalu „Zasłużony dla Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej” za wieloletnią owocną pracę na rzecz rozwoju uczelni, a także za wybitne osiągnięcia na polu nauki, w organizacji procesu dydaktycznego oraz w kształceniu młodej kadry naukowej. Fakt ten jest ważnym wydarzeniem w życiu akademickim, uhonorowany został bowiem nie tylko wybitny naukowiec, ale i wspaniały człowiek. Mimo że 1 października 2005 r. prof. Goworek oficjalnie przeszedł na emeryturę, nadal aktywnie uczestniczy w pracach grupy badawczej, którą kierował przez ćwierć wieku, a młodzi adepci nauki i studenci wciąż mogą czerpać z jego wiedzy i doświadczenia.



Profesor Tomasz Goworek przyjmuje gratulacje z okazji jubileuszu 50-lecia pracy od JM Rektora UMCS prof. Wiesława A. Kamińskiego

Tomasz Goworek urodził się w 1934 r. we wsi Struża k. Kraśnika w rodzinie nauczycielskiej. Maturę uzyskał w liceum w Chełmie w 1951 r., a następnie rozpoczął studia fizyki na UMCS. Jeszcze podczas studiów, 15 kwietnia 1955 r., został zatrudniony w Katedrze Fizyki Doświadczalnej kierowanej przez prof. Stanisława Ziemeckiego. Po uzyskaniu magisterium przeszedł na stanowisko asystenta

w zespole naukowym prowadzonym przez prof. Włodzimierza Żuka. W pracy naukowej zajmował się początkowo spektrometrią mas. W roku 1957 jako młody asystent został wydelegowany do Laboratorium Wysokich Energii ZIBJ w Dubnej na staż naukowy, podczas którego zapoznawał się z różnymi metodami pomiarowymi stosowanymi w fizyce jądrowej. Pobyt zaowocował zbudowaniem spektrometru do pomiaru korelacji kątowych promieniowania  $\gamma$ , a następnie, w 1964 r., obroną pracy doktorskiej „Korelacje kątowe promieniowania gamma niektórych izotopów pierwiastków z grupy ziem rzadkich”. Dwa lata później doktor Goworek odbył półroczny staż w Instytucie Fizyki Uniwersytetu w Uppsali pod opieką Erika Karlssona, zapoznając się z techniką zaburzonych korelacji kierunkowych promieniowania  $\gamma$ . Swe zainteresowania skierował w stronę zastosowań metod jądrowych w fizyce, chemii i innych dyscyplinach nauki. Do badań wybrano metodę opartą na anihilacji pozytonów. W roku 1974 kierowany przez niego zespół zbudował układ do pomiarów rozkładów kątowych promieniowania anihilacji dwukwantowej, a następnie, w 1977 r., spektrometr czasu życia pozytonów. Prowadzone w tym czasie prace stały się podstawą rozprawy habilitacyjnej „Badania nad tworzeniem pozytu w stałych ośrodkach molekularnych”, obronionej w 1977 r. Działalność naukowa Tomasza Goworka została szybko zauważona i doceniona – w 1984 r. przyznano mu tytuł profesorski.

Prowadzone w latach siedemdziesiątych XX w. badania molekularnych kryształów organicznych wykazały, że pozyt tworzy się w obecności domieszek krystalizujących wspólnie z głównym składnikiem kryształu. Inaczej mówiąc, pozyt jest pułapkowany w obszarze (wolnej objętości) w pobliżu domieszki. Im mniejsza jest cząsteczka domieszki, tym większa wolna objętość, a zatem dłuższy czas życia ortopozytu i węższy rozkład pędów parapozytu. Ta zależność, wraz z podaniem (w 1982 r.) przez Mortena Eldrupa modelu dotyczącego związków ilościowych dla najprostszej geometrii (sferycznej), stanowiła podstawę późniejszej spektroskopii PALS (ang. Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy), jako metody badania subnanometrowych wolnych objętości, zwłaszcza w zastosowaniu do polimerów. Ponadto Tomasz Goworek zwrócił uwagę na możliwość wykorzystania tzw. modelu dwustanowego (stosowanego w przypadku pozytonu w metalach) w celu wyznaczenia entalpii tworzenia się wolnych objętości (np. luk) pod wpływem zmian temperatury.

Model Tao–Eldrupa dobrze zgadzał się z wynikami doświadczeń dla objętości sferycznych o promieniu poniżej 1 nm. W roku 1997 prof. Goworek zaproponował, aby w modelu uwzględnić możliwość obsadzania przez pozyt

wyższych poziomów energetycznych dla cząstki w studni potencjału. Pod jego kierownictwem zespół naukowy składający się z Bożeny Jasińskiej, Jana Wawryszczuka i Radosława Zaleskiego opracował model dla objętości kulistych i cylindrycznych przy uwzględnieniu stanów wzbudzonych pozytu. Pozwoliło to rozszerzyć zakres stosowalności metody anihilacyjnej do materiałów porowatych, w których rozmiary porów (wolnych objętości) były o dwa rzędy wielkości większe niż 1 nm. Ta rozszerzona wersja modelu jest obecnie powszechnie stosowana np. w badaniach cienkich warstw izolacyjnych dla najszybszych obwodów scalonych (warstwy te mogłyby zawierać zamknięte pory, co prowadziłyby do zmniejszenia stałej dielektrycznej). W 2000 r. David Gidley z grupy badawczej z Ann Arbor zaproponował uproszczenie obliczeń w modelu opracowanym w zespole prof. Goworka, zakładając geometrię prostopadłościenną.



Grupa badawcza prof. Tomasza Goworka. Siedzą od lewej: Bożena Jasińska, Laureat, Jan Wawryszczuk; stoją od lewej: Radosław Zaleski, Bożena Zgardzińska, Monika Śniegocka, Marek Pietrow.

Aktualnym problemem dotyczącym pozytu w ośrodkach molekularnych jest wzrost prawdopodobieństwa tworzenia pozytu wraz z upływem czasu napromieniania, obserwowany w polimerach w bardzo niskiej temperaturze. Tomasz Goworek wykazał istnienie tego efektu również w węglowodorach długołańcuchowych, przy czym jedna ze składowych tego procesu utrzymuje się nawet w temperaturze powyżej 320 K. Zjawisko można wytłumaczyć akumulacją elektronów wytworzonych podczas jonizacji ośrodka pozytonami i ich pułapkowaniem.

W 2002 r. w zakładzie kierowanym przez prof. Goworka uruchomiono spektrometr PALS do badań materiałów poddawanych wysokim ciśnieniom. Jednym z pierwszych zaobserwowanych efektów było znikanie pozytu w bifenyli i w naftalenie po przekroczeniu ciśnienia rzędu 100 MPa. Przy takim ciśnieniu następuje wzrost energii drgań zerowych i niemożliwe staje się pułapkowanie pozytu. Ta unikatowa w skali światowej metoda badawcza zyskała już uznanie zagranicznych laboratoriów. Zespół

Laureata współpracuje z niemieckim ośrodkiem w Halle (w zakresie badań polimerów) oraz z grupą z Hebreu University w Jerozolimie (w dziedzinie porowatych szkieł fotonicznych). Dotychczasowy dorobek naukowy Profesora stanowi 11 artykułów monograficznych, 91 prac oryginalnych oraz 42 komunikaty naukowe.

Tomasz Goworek przebywał wielokrotnie w naukowych ośrodkach zagranicznych jako profesor gość, m.in. na Uniwersytecie Louisa Pasteura w Strasburgu (Francja, dwukrotnie: w 1993 i 1996 r.), a także w instytucie KEK w Tsukubie (Japonia, w 1999 i 2003 r.). Kilkakrotnie wygłaszał na zaproszenie tematyczne referaty przeglądowe na prestiżowych konferencjach poświęconych anihilacji niskoenergetycznych pozytonów: w Gandawie (1988), Milwaukee (1990), Monachium (2000), Knoxville (2002). Ponadto wygłosił referaty przeglądowe lub na zaproszenie na konferencjach: PSD-87 w Wernigerode (1987), 43. Sympozjum Radiochemii w Tsukubie (1999), 7. Moskiewskiej Szkole Fizyki (2004) oraz PPC-8 w Coimbrze (2005).

Od początku pracy w uczelni Tomasz Goworek dał się poznać jako wybitny dydaktyk. Jeszcze przed obroną doktoratu prowadził wykład z elektroniki i wykład monograficzny ze spektroskopii jądrowej. Uruchomił pierwszą w Lublinie pracownię studencką elektroniki oraz pracownię jądrową. Pomagał w tworzeniu pracowni specjalistycznej. Dużym uznaniem wśród studentów cieszą się jego skrypty z fizyki atomowej i metod doświadczalnych w fizyce ciała stałego. Studencka brać uhonorowała Profesora tytułem „Homo Didacticus”. Laureat wykształcił także liczne grono magistrów i doktorów.

Działając aktywnie na niwie naukowej i dydaktycznej, znajdował także czas na rozwój zainteresowań. Jego pasją od dzieciństwa było lotnictwo. Jest autorem dwóch książek o historii lotnictwa, a ponadto był przez dwie kadencje członkiem Rady Muzealnej Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie. Podczas wielu uroczystości jubileuszowych Uniwersytetu, wystaw i „Pokazów z Fizyki” dał się także poznać jako uzdolniony plastyk i humorysta.

Od początku pracy zawodowej był członkiem Oddziału Lubelskiego PTF, w którym wielokrotnie sprawował funkcję sekretarza.

Wyrazem wysokiej oceny pozycji prof. Goworka w środowisku naukowym zarówno Lublina, jak i całej Polski są odznaczenia państwowe: Złoty Krzyż Zasługi, Krzyż Kawalerski i Oficerski Orderu Odrodzenia Polski oraz medale: Komisji Edukacji Narodowej, Zasłużonego Nauczyciela PRL, Medalu za Zasługi dla Obronności Kraju. Ponadto otrzymał liczne nagrody ministra i rektora UMCS.

Znając ogromny entuzjazm i zaangażowanie Profesora Goworka wiem, że czeka go jeszcze wiele pięknych, pełnych sukcesów lat pracy dla dobra Uniwersytetu i nauki polskiej. Jestem dumna, że podczas moich studiów oraz w trakcie przygotowywania rozpraw doktorskiej i habilitacyjnej mogłam bliżej poznać tak wybitną osobowość.

Elżbieta Jartych  
Instytut Fizyki  
Politechnika Lubelska

## ■ Ewa Gudowska-Nowak

Urodziła się w Krakowie w 1956 r. Studia fizyki ukończyła na Uniwersytecie Jagiellońskim. Po studiach podjęła pracę w Instytucie Fizyki UJ, wiążąc się z międzyzakładową grupą fizyki medycznej i biofizyki teoretycznej prowadzoną przez prof. Andrzeja Hrynkiwicza. Rozprawę doktorską dotyczącą ewolucji nieliniowych układów dynamicznych przygotowywała w Krakowie pod kierunkiem prof. Andrzeja Fulińskiego oraz w Brukseli, współpracując z grupą prof. Ilyi Prigogine'a. Jej rozprawa habilitacyjna (1998) poświęcona była stochastycznemu opisowi reakcji chemicznych i transportu w losowo zmieniającym się środowisku. Tytuł profesora nauk fizycznych otrzymała 21 lutego 2005 r.

Pracowała w Brukseli (Instytut Solvaya, 1985), Paryżu (1989–90), Darmstadt (1996–97), a także w USA (Stony Brook i Brookhaven, 1987–89 oraz 1992–94), zajmując się głównie teorią fluktuacji i zagadnieniami kinetyki biochemicznej.

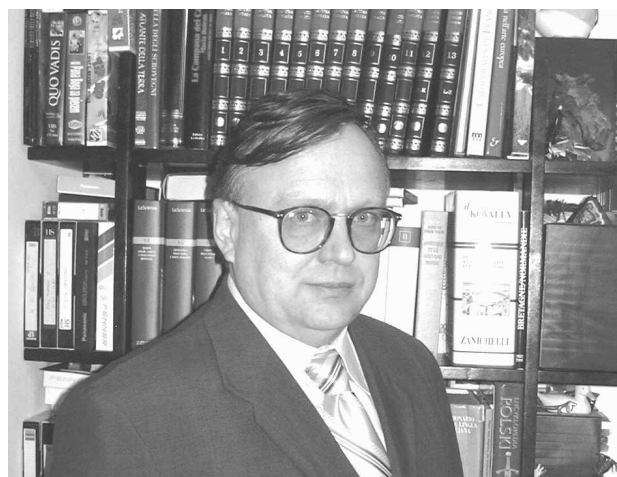


Patronowi IF UJ, Marianowi Smoluchowskiemu, przypisuje wpływ na tematykę jej badań, dotyczących obecnie klasycznej i kwantowej dyfuzji anomalnej, teorii stochastycznych procesów stabilnych oraz ich zastosowań w analizie naturalnych układów złożonych. W zakresie modelowania biologicznego współpracuje m.in. z grupą biofizyczną w GSI Darmstadt, zajmując się metodami analizy uszkodzeń aparatu genetycznego powstałych wskutek promieniowania silnie jonizującego. Jest bardzo zainteresowana praktycznym wykorzystaniem rezultatów tych badań w związku z postępem prac nad budową ośrodków radioterapii hadronowej (m.in. w Heidelbergu), a w odniesieniu do oceny ryzyka radiacyjnego – w związku z planowanymi przez NASA i ESA kolejnymi lotami załogowymi w przestrzeni kosmicznej.

Ma troje niezwykle i rozmaicie utalentowanych dzieci (Krysię, Olę i Jędrka), męża Maćka (fizyk teoretyk, specjalista w dziedzinie chromodynamiki kwantowej) oraz psa Spota (niemiecki wyżeł krótkowłosa). Pasjonuje się historią średniowiecza, lubi kino, jazz i kuchnię myśliwską własnej produkcji.

## ■ Grzegorz Karwasz

Urodził się w 1958 r. w Złotowie na Pojezierzu Krajeńskim. Pochodzi z rodziny o długich tradycjach nauczycielskich. Szkołę podstawową ukończył w Sopocie, a liceum – w Gdyni. Był laureatem Olimpiady Technicznej, lecz najpierw skończył studia na Uniwersytecie Gdańskim w zakresie handlu zagranicznego, interesując się zagadnieniami postępu naukowego. Na Politechnice Gdańskiej uzyskał magisterium z fizyki technicznej (1982). Tematem pracy magisterskiej było rozpraszanie elektronów, którym zajmował się potem z przerwami przez prawie 20 lat na Uniwersytecie w Trydencie. Pracował w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN (1983–89), badając plazmę wyładowania mikrofalowego. Doktorat z fizyki atomowej i cząsteczkowej obronił w Gdańsku (1991, promotor prof. Zenon Zakrzewski), a habilitację z fizyki doświadczalnej uzyskał w Toruniu (1997). Tytuł naukowy otrzymał 18 stycznia 2005 r.



W roku 1990, przebywając w Detroit jako stypendysta Fundacji Kościuszkowskiej, poznał techniki rozpraszania pozytonów w gazach. W latach 1991–95 brał udział w projekcie BRITE-EURAM poświęconym budowie pierwszego na świecie mikroskopu pozytonowego w Trydencie i Monachium. Wykorzystując anihilację pozytonów, analizował m.in. defekty w kryształach krzemu otrzymanych metodą Czochralskiego. Niedawne jego badania rozpraszania pozytonów w gazach doprowadziły do postawienia hipotezy o tworzeniu się tzw. pozytonium wirtualnego.

Kieruje Zakładem Spektroskopii w Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku. W ramach działań popularyzatorskich organizuje m.in. wystawy zabawek – ostatnia z nich odbyła się w 2005 r. w Paryżu, w ramach projektu „Physics is Fun”. Współpracował niegdyś w tym zakresie z nieodżałowanym prof. Krzysztofem Ernstem.

Ma żonę i dwóch dorosłych synów. Miał kiedyś żagłówek, ale teraz nie ma już czasu na inne hobby niż fizyka. Jest honorowym członkiem Studenckiego Stowarzyszenia Przyjaciół ONZ i laureatem Medalu Komisji Edukacji Narodowej.

## Fizyka morza

Jerzy Dera: *Fizyka morza*, wyd. II uaktualnione, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, s. 541.

Monografia prof. Jerzego Dery *Fizyka morza* jest adresowana do pracowników naukowych i studentów kierunków przyrodniczych i politechnicznych zainteresowanych badaniami procesów fizycznych w środowisku morskim i ich praktycznym wykorzystaniem. Autor jest wybitnym uczonym, członkiem rzeczywistym Polskiej Akademii Nauk, a w latach 1990–2002 był dyrektorem Instytutu Oceanologii PAN. Współpracuje z wieloma zagranicznymi ośrodkami naukowymi i uczestniczy w międzynarodowych oceanograficznych przedsięwzięciach badawczych. Na Uniwersytecie Gdańskim prof. Dera prowadził wykłady z zakresu fizyki morza dla studentów i doktorantów.

W drugim wydaniu swojej znakomitej monografii Jerzy Dera zaprezentował nowe wyniki badań procesów zachodzących w morzu, dokumentując je zarówno rezultatami własnych badań jak i dorobkiem naukowym innych autorów, przedstawionym w uaktualnionej w stosunku do pierwszego wydania książki bibliografii. Problematyka fizyki morza została omówiona w ośmiu rozdziałach książki, obejmujących odpowiednio: zarys roli oceanu światowego w fizycznych procesach globalnych, fizyczne i chemiczne właściwości wód morskich, przemiany termodynamiczne w morzu, procesy przenoszenia masy, ciepła i pędu w środowisku morskim, procesy oddziaływania morza z atmosferą oraz właściwości optyczne i akustyczne wód morskich. Monografię uzupełnia spis 870 cytowanych w tekście pozycji literatury, w tym odniesień do kilkunastu obszernych monografii dotyczących badań morza.

Zainteresowania badawcze Jerzego Dery obejmują w pierwszym rzędzie właściwości optyczne wód morskich, w tym m.in. wpływ falowania morza na odbicie i transmisję światła oraz procesy osłabiania światła w morzu, ze szczególnym uwzględnieniem warunków charakteryzujących wody Bałtyku. Jest zatem zrozumiałe, że w *Fizyce morza* poświęcono hydrooptyce szczególnie wiele miejsca (rozdziały 4 i 5, s. 144–338). Jako przykład przedstawionych w recenzowanej monografii wielu wyników własnych badań Autora może służyć ocena wpływu falowania morza na odbicie i transmisję światła przez jego powierzchnię (s. 271 i dalsze). Szczególne właściwości optyczne wód Morza Bałtyckiego zilustrowano w książce licznymi rysunkami i tabelami w rozdziałach 4 i 5. Wyniki te, niezależnie od ich wartości poznawczych, mają także istotne znaczenie praktyczne, m.in. mogą stanowić podstawę naukową monitoringu środowiska morskiego, w tym oceny produkcji materii organicznej w morzu, za pomocą technik satelitarnych.

W tym miejscu można zwrócić uwagę, że wyniki badań innych (poza optycznymi) fizycznych właściwości wód morskich mogą również znaleźć różnorodne zastosowania praktyczne. Dotyczy to m.in. przedstawionych w rozdziale 8 monografii właściwości hydroakustycznych morza, wykorzystywanych w hydrolokacji ławic rybnych i innych obiektów oraz w badaniach zmian oceanu metodami tomografii akustycznej. Z obowiązku recenzenta pragnę jednak podkreślić, że Autor niewiele miejsca poświęcił w monografii eksponowaniu praktycznej użyteczności wyników podstawowych badań oceanologicznych, pozostawiając zainteresowanym czytelnikom ich użytkową interpretację i zadanie znalezienia przykładów potencjalnych zastosowań.

Chociaż recenzowana książka jest jednoznacznie skierowana do środowiska naukowego zajmującego się badaniami morza, może ona także stanowić cenne źródło informacji dla specjalistów z zakresu innych dziedzin nauk o Ziemi, w szczególności dla hydrologów i klimatologów. Współczesne modele klimatu globalnego traktują bowiem w sposób zintegrowany system współzależności między oceanem i atmosferą, gdyż w skali globalnej procesy klimatyczne są w znacznym stopniu sterowane przez wymianę masy i energii między tymi środowiskami. Trudności parametryzacji tych procesów mogą być jedną z przyczyn zawodności globalnych i regionalnych modeli klimatu.

Natomiast lokalne procesy przenoszenia masy, ciepła i pędu w środowisku wodnym, opisane w rozdziale 6 monografii, są przedmiotem licznych badań i zastosowań dotyczących opisu i modelowania śródlądowych ekosystemów wodnych (o czym może m.in. świadczyć cytowana przez Jerzego Derę monografia P.S. Egelsona *Hydrologia dynamiczna*, PWN, 1978). Liczne dalsze przykłady współzależności między badaniami w różnych specjalnościach wchodzących w zakres szeroko rozumianych nauk o Ziemi można znaleźć w cytowanych przez Autora pozycjach literatury.

Ze względu na kompleksowe potraktowanie problematyki fizycznych właściwości środowiska morskiego książka prof. Jerzego Dery stanowi swoiste kompendium wiedzy o fizyce tego środowiska, zwłaszcza w odniesieniu do hydrooptyki i drobnoskalowych procesów oddziaływania morza i atmosfery. Pod względem edytorskim monografia została przygotowana bardzo starannie. Na rynku wydawniczym pojawiła się zatem cenna pozycja, która z pewnością będzie przez wiele lat służyła zarówno doświadczonym badaczom jak i młodym adeptom nauk o morzu.

Zdzisław Kaczmarek  
Instytut Geofizyki PAN  
Warszawa

## ■ Strategia CERN-u

Grupa Strategii, podlegająca Radzie CERN-u, zorganizowała w końcu stycznia 2006 r. w podparyskim Orsay symposium poświęcone przygotowaniu długofalowych planów w zakresie fizyki cząstek. Wyniki dyskusji będą przedstawione Radzie w lipcu. Zamierzeniem organizatorów było poznanie opinii możliwie szerokiego grona fizyków cząstek. W spotkaniu wzięło udział 400 osób, nie tylko z laboratoriów europejskich, lecz także z Ameryki Płn. i Azji.

Rada CERN-u składa się z przedstawicieli rządów państw członkowskich. Powstała w 1954 r. i ma za zadanie zapewnienie współpracy państw europejskich w dziedzinie badań jądrowych o charakterze podstawowym. Grupę Strategii czeka trudna praca – musi wziąć pod uwagę nie tylko opinie laboratoriów CERN-owskich, lecz również wielu innych europejskich ośrodków prowadzących własne badania. Trzeba będzie uwzględnić różnorodność zamierzeń tych ośrodków, ich aspiracje i możliwości techniczne. – Jeśli chcemy ustalić strategię działań dla przyszłości fizyki cząstek w Europie – powiedział Ken Peach, współprzewodniczący Symposium – nie możemy działać w próżni, musimy wiedzieć, czego chce społeczność cząstkowców, a szczególnie jej młodzi członkowie, gdyż to powinna być właśnie ich strategia.

Dyskutowano przyszłość wielkich urządzeń, jak Wielki Zderzacz Hadronów (LHC), możliwość budowy Międzynarodowego Zderzacza Liniowego (ILC) i mniejsze przedsięwzięcia, np. aparaturę do badań podwójnego rozpadu  $\beta$ . Dominowało przekonanie, że planowaniem powinny kierować potrzeby fizyki, a nie aktualne możliwości techniczne.

*CERN Courier* 46, nr 2 (2006)

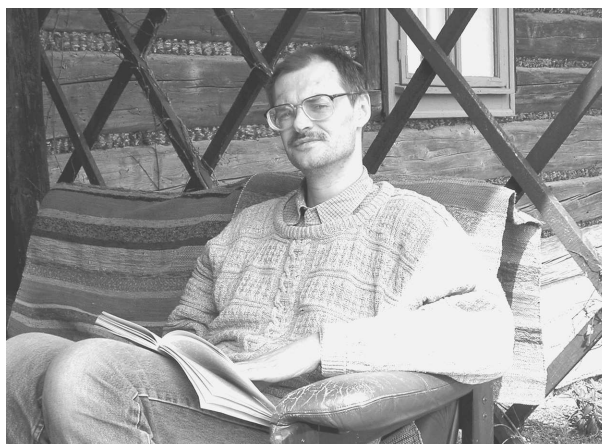
B. W.

## ■ Nagroda im. Mariana Mięśowicza

Polska Akademia Umiejętności w Krakowie przyznaje Nagrodę im. Mariana Mięśowicza poczynając od 1997 r. co dwa lata za wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki wysokich energii. Fundatorami Nagrody są działające w Krakowie instytuty fizyki. Laureatem za rok 2005 został prof. Piotr H. Chankowski z Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego. Formalną podstawą przyznania Nagrody była praca „Renormalization group equation for seesaw neutrino masses” opublikowana w *Phys. Letters* **B316**, 321 (1993).

W pracy tej po raz pierwszy w literaturze światowej zwrócono uwagę na fakt, że masy neutrin (przypomnijmy, że odkrycie ich niezerowej wartości było jednym z największych osiągnięć w fizyce wysokich energii ostatnich lat, uhonorowanym Nagrodami Nobla dla Raymonda Davisa i Masatoshiego Koshiy w 2002 r.) i kąty mieszania neutrin przewidywane przez tzw. mechanizm huśtawki w ramach teoretycznych modeli ekstrapolujących opis oddziaływań cząstek elementarnych do bardzo wysokich energii mogą być znacząco modyfikowane przez poprawki promienne. W pracy tej, napisanej wspólnie ze Zbigniewem Płu-

ciennikiem, podano równania umożliwiające uwzględnienie wiodących poprawek ze wszystkich rzędów rachunku zaburzeń.



Piotr Chankowski

Praca z roku 1993 zapoczątkowała dość szeroki nurt badań nad poprawkami promienistymi do mas i kątów mieszania neutrin oraz nad możliwościami wytłumaczenia przez te poprawki doświadczalnie mierzonych wartości mas i kątów. W badaniach tych aktywnie uczestniczyła także kierowana przez prof. Stefana Pokorskiego warszawska grupa fizyki teoretycznej wysokich energii, wnosząc do nich bardzo wartościowy i doceniany na świecie wkład. W szczególności w pracy Chankowskiego, Wojciecha Królikowskiego oraz Pokorskiego z roku 1999 opisano odkrytą przez autorów niezwykle interesującą własność wspomnianych równań, jaką jest występowanie w nich tzw. punktów stałych. Teoretyczne badania neutrin prowadzone w Warszawie przez Chankowskiego, Pokorskiego oraz Krzysztofa Turzyńskiego dotyczyły także kosmologicznych aspektów fizyki neutrin (badanie możliwości wyjaśnienia barionowej asymetrii Wszechświata przez mechanizm leptogenezy) oraz konsekwencji występowania niezerowych mas neutrin w teoriach supersymetrycznych dla zachowywania w procesach słabych zapachu naładowanych leptonów. Przyznana prof. Chankowskiemu Nagrodę można więc uważać także za wyraz uznania przez polskie środowisko fizyków wysokich energii całokształtu dokonań grupy warszawskiej w dziedzinie fizyki neutrin.

J. G.

## ■ Prestiżowa nagroda EPS

Nagrodę „Agilent Technologies Europhysics Prize”, przyznaną przez Europejskie Towarzystwo Fizyczne za ostatnio opublikowane wybitne prace z dziedziny fizyki materii skondensowanej, otrzymali w 2006 r. Antoine Georges (Ecole Polytechnique, Paryż), Gabriel Kotliar (State University of New Jersey), Walter Metzner (University of California, Los Angeles) i Dieter Vollhardt (Universität Augsburg). W ten sposób uhonorowane zostały ich prace nad rozwię-

ciem i zastosowaniami dynamicznej teorii pola średniego. Głównym osiągnięciem tej teorii jest pełne wyjaśnienie oddziaływań w układach silnie skorelowanych elektronów.

*Europhys. News* 37, nr 2 (2006)

B. W.

## ■ Program NESTOR

Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej prowadzi od 2004 r. stypendialny program NESTOR adresowany do wybitnych polskich uczonych, którzy po przejściu na emeryturę chcą wykorzystać swoją wiedzę i doświadczenie, aby wesprzeć rozwijające się placówki naukowe w innych polskich ośrodkach.

Wśród beneficjentów programu na rok 2006 jest Danuta Frąckowiak, emerytowana profesor Politechniki Poznańskiej. Na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim ma przez 4 miesiące prowadzić wykłady oraz seminaria i udzielać konsultacji.

[www.fnp.org.pl](http://www.fnp.org.pl)

B. W.

## ■ START – stypendia FNP dla młodych uczonych

Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej przyznała, jak co roku, stypendia krajowe dla młodych (do 30 lat) pracowników nauki mających udokumentowany publikacjami dorobek naukowy. W konkursie START przyznano 121 stypendiów. Wśród laureatów jest 11 fizyków, 3 biofizyków, 1 geofizyk i 1 astronom. Fizycy to: Adam Bzdak (UJ), Rafał Demkowicz-Dobrzański (CFT), Krzysztof Głuch (UMCS), Marek Gózdź (UMCS), Karol Horodecki (UG), Wiesław Laszkowski (UG), Michał Matuszewski (UW), Joanna Raczowska (UJ), Krzysztof Turzyński (UW), Wojciech Wasilewski (UMK) i Ireneusz Weymann (UAM). Biofizycy: Magdalena Niziołek-Kierecka (UJ), Maria Pytel (AM, Wrocław) i Remigiusz Worch (UW). Geofizyk: Michał Malinowski (IG PAN, Warszawa). Astronom: Paweł Pietrukowicz (CAMK, Warszawa).

W tym roku stypendium wynosi 20 tys. zł. Uroczyste wręczenie dyplomów odbyło się 25 marca 2006 r., jak zwykle na Zamku Królewskim w Warszawie. Laureatom gratulujemy!

[www.fnp.org.pl](http://www.fnp.org.pl)

B. W.

## ■ Nagroda im. Henryka Niewodniczańskiego

Nagrodę IFJ PAN im. Henryka Niewodniczańskiego za rok 2005 otrzymał dr Paweł Błasiak za cykl artykułów opublikowanych w czasie pracy nad doktoratem. Dotyczą one porządkowania normalnego szerokiej klasy funkcji zależnych od operatorów kreacji i anihilacji.

Paweł Błasiak początkowo zajmował się fundamentalnymi problemami mechaniki kwantowej związanymi z niekanonicznymi schematami kwantowania. Gdy natknął się na problem szukania reprezentacji niekanonicznych algebr, postanowił przyjrzeć się reprezentacji stanów spójnych dla algebry Heisenberga–Weyla, wiążącej się bezpośrednio

z uporządkowaniem normalnym operatorów kreacji i anihilacji. Pod opieką prof. Edwarda Kapuścika i dr. Andrzeja Horzeli opracował metodę pozwalającą na efektywne znajdowanie takich uporządkowanych form dla ogólnych funkcji zależnych od wielomianów jednorodnych w operatorach kreacji i anihilacji oraz funkcji uogólnionych operatorów przesunięcia (tzn. wyrażen liniowych w jednym z operatorów kreacji lub anihilacji). Metody, których użył, opierają się na podejściu kombinatorycznym oraz zastosowaniu tzw. formuł typu Dobińskiego. Zaskakujące i najciekawsze jest to, że liczby, które otrzymuje się w wyniku rozwiązania problemu, mają jasną interpretację kombinatoryczną – są uogólnieniami liczb Stirlinga i Bella, liczących partycje zbiorów. Jest w tym dużo matematyki, choć – jak się okazuje – niezbyt skomplikowanej. Dla fizyki oznacza to opracowanie spójnej metody porządkowania skomplikowanych funkcji operatorowych. Sprawa jest niebagatelna, gdyż cała mechanika kwantowa opiera się na wielkościach nieprzemiennej. Rozważane uporządkowanie normalne jest konieczne do obliczenia elementów macierzowych w reprezentacji stanów spójnych, które są podstawą rachunków np. w optyce kwantowej.



Paweł Błasiak żeglując na Adriatyku ze swoją dziewczyną Martą Zajac (październik 2005 r.)

Laureat studiował na Uniwersytecie Jagiellońskim fizykę teoretyczną, a oprócz tego zaliczył 5 semestrów matematyki. Po egzaminie magisterskim został przyjęty na studia doktoranckie prowadzone w IFJ PAN. W ramach umowy między IFJ i Université Pierre et Marie Curie w Paryżu o wspólnych przewodach doktorskich (franc. co-tutelle) otrzymał stypendium rządu francuskiego na wspólny polsko-francuski doktorat. Jego promotorami byli: prof. Karol A. Penson z UPMC i prof. Kapuścik z IFJ. Obrona pracy odbyła się przed polsko-francuską komisją i w wyniku jej pomyślnego przebiegu Paweł Błasiak uzyskał dwa doktoraty – polski i francuski.

Od sierpnia 2005 r. Paweł Błasiak pracuje w IFJ w zakładzie fizyki teoretycznej. Zainteresowania fizyką odziedziczył po ojcu – profesorze fizyki w Akademii Pedagogicznej w Krakowie. Poza nauką lubi czynny wypoczynek: trenuje aikido i żeglując.

*Małgorzata Nowina Konopka*

## ■ Stypendium im. Maksa Borny

Wrocławskie środowisko naukowe postanowiło uhonorować pamięć pochodzącego z Wrocławia noblisty Maksa Borny przez ustanowienie stypendium naukowego jego imienia. Fundusz tego stypendium utworzony został z darowizn przekazanych w roku 2003 przez dra Mariusza Jaworskiego, prezesa firmy INCOM S.A. z Wrocławia, oraz profesora Anthony'ego J. DeMaria, prezesa The International Society for Optical Engineering. Funduszem, przeznaczonym dla wybitnych doktorantów wrocławskiego środowiska naukowego, dysponuje Kapituła w składzie: rektor Politechniki Wrocławskiej, rektor Uniwersytetu Wrocławskiego oraz wspomniany dr Jaworski i prof. Krzysztof M. Abramski z Politechniki Wrocławskiej. Kapituła ogłasza co roku kolejny konkurs na Stypendium Naukowe im. Maksa Borny dla doktorantów w dwóch dziedzinach: fizyki oraz optyki i optoelektroniki. Aby otrzymać stypendium, trzeba się wykazać udokumentowanym dorobkiem naukowym i zaproponować interesujące zadanie badawcze na bieżący rok studiów doktoranckich. Stypendium, w wysokości 7–10 tys. zł, przyznawane jest na rok.

W roku 2004 Stypendium uzyskali: w dziedzinie fizyki mgr Krzysztof Graczyk (UWr), w dziedzinie optyki i optoelektroniki mgr inż. Marcin Szpulak (PWr) i mgr inż. Dariusz Hreniak (INTiBS PAN). W roku 2005: w dziedzinie fizyki mgr Krzysztof Gofryk (INTiBS) i mgr Wołodymyr Derzhko (UWr), w dziedzinie optyki i optoelektroniki mgr inż. Aleksander Budnicki (PWr). W roku 2006: w dziedzinie fizyki mgr inż. Wojciech Rudno-Rudziński (PWr), w dziedzinie optyki i optoelektroniki mgr Agnieszka Mech (INTiBS).

Dalsze informacje o Stypendium można znaleźć w internecie ([www.mborn-scholar.wroc.pl](http://www.mborn-scholar.wroc.pl)).

*Bernard Jancewicz*

## ■ ITER ma dyrektora

Na stanowisko dyrektora generalnego Międzynarodowego Eksperymentalnego Reaktora Termojądrowego (ITER) został powołany Kaname Ikeda, poprzednio ambasador Japonii w Chorwacji (od 2003 r.).

Ikeda studiował nauki inżynierskie na Uniwersytecie Tokijskim. Zajmował poważne stanowiska państwowe w zarządzaniu nauką i techniką. Dyrekcję ITER-u powierzono mu ze względu na jego doświadczenie w kierowaniu instytucjami naukowymi i organizowaniu wspólnych przedsięwzięć na skalę międzynarodową.

ITER, jak już pisaliśmy, ma być budowany w południowej Francji, w miejscowości Cadarache.

*Phys. Today* 59, nr 2 (2006)

*B. W.*

## ■ Women in Sciences

W większości krajów europejskich wśród osób kończących wyższe studia obserwuje się ostatnio przewagę kobiet nad mężczyznami. Mimo to reprezentacja kobiet pracujących w zespołach naukowych i w ich kierownictwie, a także w ciałach decydujących o polityce naukowej na

wszystkich szczeblach jest stosunkowo niewielka, co może świadczyć o niedocenianiu rzeczywistej roli kobiet prowadzących badania naukowe, jak też o funkcjonowaniu anachronicznego stereotypu kobiety widzianej jako osoba nieposiadająca predyspozycji do pracy naukowej.

Unia Europejska rozpoczęła finansowanie nowego programu BASNET (Baltic States Network) pod tytułem „Women in Sciences and High Technology”. Został on uruchomiony w celu dokonania analizy aktualnego statusu kobiet i mężczyzn w zakresie kariery naukowej i akademickiej oraz podjęcia działań na rzecz jego zrównania. Koordynatorem programu jest Dalia Satkovskiene, profesor Uniwersytetu Wileńskiego.

W dniach 6–7 marca 2006 r. w Wilnie odbyło się pierwsze, organizacyjne spotkanie kobiet-naukowców zaangażowanych w realizację projektu BASNET. W spotkaniu uczestniczyli przedstawiciele Litwy, Łotwy, Estonii, Polski i Rumunii – łącznie 57 pań i 9 panów. Z Polski byłyśmy dwie: kierowniczką naszej grupy – Elżbieta Czerwosch (Akademia Świętokrzyska w Kielcach oraz Przemysłowy Instytut Elektroniki w Warszawie) i niżej podpisana.

Słowa powitania wygłosili: pani Ausrine Burneikiene, rzecznik równych szans w Republice Litewskiej, pan Raimondas Mockeliunas, wiceminister litewskiego ministerstwa oświaty i nauki, pani Birute Bukauskaite, krajowy koordynator programów FP6, oraz pani prof. Birute Pociute, prorektor Uniwersytetu Wileńskiego. W sesji wprowadzającej do dwudniowej roboczej konferencji jako pierwsza wystąpiła prof. Satkovskiene i opowiedziała o historii powstania projektu, który został zainicjowany przez litewskie stowarzyszenie fizyczek. Głównym celem projektu jest koordynacja regionalnych i interdyscyplinarnych przedsięwzięć podjętych w celu uzyskania równego statusu kobiet i mężczyzn w różnych dziedzinach ich aktywności zawodowej. W czasie spotkania w Wilnie padały stwierdzenia, iż ostatnio w naszych krajach nastąpił odpływ kadry naukowej i akademickiej (głównie mężczyzn) do biznesu lub ogólniej do nowo powstałych i znacznie lepiej płatnych miejsc pracy. Obserwowany względny wzrost liczby kobiet zajmujących się nauką wynika zatem głównie stąd, że praca na uczelniach i w instytucjach naukowych jest stosunkowo gorzej płatna.

Prof. Satkovskiene przedstawiła strategiczne zadania i cele projektu, w którym uczestniczą następujące kraje: Estonia (Uniwersytet w Tartu oraz ministerstwo nauki i oświaty), Łotwa (Uniwersytet Łotewski oraz ministerstwo nauki i oświaty), Litwa (Uniwersytet Wileński, Instytut Fizyki Teoretycznej i Astronomii Uniwersytetu Wileńskiego, Politechnika w Kownie oraz ministerstwo nauki i oświaty), Polska (Polskie Towarzystwo Fizyczne), Rumunia (Uniwersytet w Bukareszcie). W dalszej części konferencji zapoznano nas ze stroną organizacyjną i finansową projektu. Ponadto kierowniczki grup z poszczególnych krajów przedstawiły reprezentowane przez siebie instytucje lub organizacje i własne wizje realizacji wspólnego projektu.

Polska grupa, działająca pod auspicjami PTF, jest stosunkowo nieliczna. Naszym celem jest opracowanie istniejących już danych statystycznych, przeprowadzenie na pod-

stawie analizy wyników ankiety opracowanej przez zespół litewskich socjologów własnych badań w odniesieniu do sytuacji w Polsce oraz propagowanie idei równych szans.

Konferencja przebiegała w znakomitej atmosferze. Mimo bardzo bogatego programu, dzięki ulokowaniu konferencji w hotelu, w którym mieszkaliśmy i gdzie spożyliśmy posiłki, można było znaleźć czas na osobiste kontakty z przedstawicielkami uczestniczących w spotkaniu krajów. Ponadto w dniu przyjazdu (5 marca) miałyśmy dostatecznie dużo czasu, aby przejść się po ślicznie odnowionym centrum Wilna i uczestniczyć w tradycyjnych „Kaziukach”. Natomiast na zakończenie konferencji zaproszono nas do pięknego budynku Narodowej Opery i Baletu na przedstawienie współczesnego baletu zatytułowanego *Acid city*, skomponowanego przez litewskiego kompozytora polskiego pochodzenia Mindaugas Urbaitisa.

Aleksandra Kopystyńska

## ■ 75 lat AIP

Amerykański Instytut Fizyki (AIP) kończy w tym roku 75 lat. Został założony w Nowym Jorku w 1931 r., aby ułatwiać publikowanie prac naukowych i oddawać inne usługi fizykom. Początkowo w skład Instytutu wchodziło 5 towarzystw: Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne (APS), Amerykańskie Towarzystwo Optyczne (OSA), Amerykańskie Towarzystwo Akustyczne (ASA), Towarzystwo Reologiczne (SOR) i Amerykańskie Stowarzyszenie Nauczycieli Fizyki (AAPT). Później dołączyły jeszcze inne towarzystwa związane z naukami fizycznymi. Obecnie liczba członków dziesięciu instytucji zrzeszonych w AIP przekracza 100 tys. Amerykański Instytut Fizyki jest jednym z największych na świecie wydawców czasopism fizycznych.

Phys. News Update, nr 766 (2006)

B. W.

## ■ Polscy dziennikarze w CERN-ie

Wizyta polskich dziennikarzy w CERN-ie w pierwszych dniach grudnia 2005 r. została zorganizowana przez dyrektora Departamentu Szkolenia i Informacji Społecznej PAA, dr. Stanisława Łatka. Jej program opracowali wspólnie Polacy przebywający w CERN-ie. Nasi dziennikarze już kilkakrotnie odwiedzali ten ośrodek w większych lub mniejszych grupach. Tym razem grupa była bardzo kameralna – w jej skład wchodził: dziennikarz TVP Wiktor Niedzicki wraz z kamerzystą Pawłem Bondarowiczem, dziennikarka radiowa Dorota Truszczak, red. Łukasz Partyka z *Gazety Wyborczej*, dr Stanisław Latek, będący równocześnie redaktorem naczelnym *Postępów Techniki Jądrowej*, oraz autorka tej relacji reprezentująca Instytut Fizyki Jądrowej PAN, a zarazem korespondentka *Postępów Fizyki*.

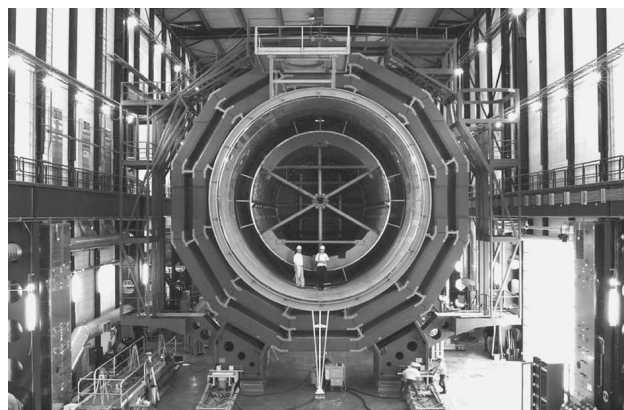
Przez cały czas pobytu, od powitalnego spotkania na lotnisku w Genewie aż do pożegnania w dniu odjazdu, towarzyszyli nam Polacy z CERN-u. O naszej wizycie wiedziały władze CERN-u, a jego wicedyrektor, prof. Jos Engelen, którego żona ma polskie korzenie, zorganizował dla nas 45-minutową konferencję prasową.

W CERN-ie wszystkie wysiłki koncentrują się teraz na budowie wielkiego zderzacza hadronów (LHC), który ma

zostać uruchomiony już w 2007 r. Będą się w nim zderzać wiązki protonów o energii 14 TeV, a wiązki jąder ołowiu – o energii 1150 TeV. Celem projektowanych eksperymentów ATLAS i CMS jest poszukiwanie bozonów Higgsa oraz innych ciężkich cząstek, których istnienie sugerują teorie wykraczające poza Model Standardowy. Ponadto planuje się eksperyment LHCb nastawiony na poszukiwanie antymaterii we Wszechświecie, a ALICE ma odtworzyć w laboratorium warunki Wielkiego Wybuchu.

Budowa zderzacza LHC stanowi olbrzymie wyzwanie pod wieloma względami: technicznym, technologicznym, informatycznym, wreszcie organizacyjnym. Zbudowano już potężne magnesy nadprzewodnikowe, które pozwolą utrzymać wiązki na odpowiednich torach. Kompletną prototypową sekcję akceleratora uruchomiono najpierw (w 1994 r.) na powierzchni ziemi – zadziałała dobrze. Rury akceleratorowe są już zamontowane w podziemnym tunelu po LEP-ie, co mieliśmy okazję zobaczyć na własne oczy. Trwają prace nad sprawdzaniem instalacji. Magnesy nadprzewodnikowe dla dwóch przeciwbieżnych wiązek są wbudowane w jeden blok, co zwiększyło zwartość urządzenia i obniżyło koszty jego budowy.

Detektory ATLAS, CMS, LHCb oraz ALICE będą rejestrować wszystkie ślady cząstek powstających w zderzeniach. Są to ogromne urządzenia, a ATLAS, który ma wysokość 25 m i długość 46 m, jest największym detektorem, jaki kiedykolwiek zaprojektowano na świecie, i może mierzyć ślady cząstek z dokładnością do 10  $\mu\text{m}$ . Różne warstwy detektora będą rejestrować ładunki oraz mierzyć energię cząstek zarówno naładowanych, jak i obojętnych.



Detektor CMS (zdjęcie z archiwum CERN-u)

Podziwialiśmy plac budowy: widok ma niebanalne walory estetyczne. ATLAS wygląda jak paryskie Centrum Pompidou. Lśniące, srebrzyste rury pomalowane w pomarańczowe pasy są połączone niebieskimi sztabami, stwarzającymi gigantyczną konstrukcję o wysokiej symetrii centralnej. Po galeriach i lekkich siatkowych schodach poruszają się zwinnie pracownicy w niebieskich uniformach i hełmach (żółtych, białych lub czerwonych, zależnie od funkcji) wykonujący prace montażowe. Wszystkie urządzenia, nawet dźwigi czy wózki do przewożenia elementów,



mają określony kolor. W detektorze CMS królują barwy żółte i czerwone. Rusztowania są pomalowane na zielono. Kolorowe kable ogromnego solenoidu, misternie splecione na różne sposoby, powodują, że wielka, ważąca ponad 14 tysięcy ton konstrukcja przypomina ażurową rozetę paryskiej katedry Notre Dame. Widzieliśmy wciąż jeszcze pustą komorę, do której CMS zostanie spuszczone, byliśmy w hali konstrukcji i sprawdzania magnesów, w laboratorium elektroniki dla eksperymentu CMS, w laboratorium montażu kabli wielożyłowych. Wszędzie spotykaliśmy pracujących Polaków, przeważnie inżynierów i techników z Krakowa.

Na szczególną uwagę zasługuje CERN-owskie centrum sieci informatycznej Grid. W eksperymentach przy LHC uczestniczy 5000 naukowców z ok. 500 instytucji badawczych i uczelni na całym świecie. Wszyscy oni będą mieli zapewniony pełny dostęp do danych przez cały czas pracy LHC, który szacuje się na 15–20 lat. Szczegółowa analiza 15 petabajtów (15 milionów gigabajtów) danych rejestrowanych rocznie przez wielkie detektory ATLAS, CMS, LHCb i ALICE oraz ich porównanie z symulacjami komputerowymi wymagają olbrzymich pamięci i mocy obliczeniowych setek tysięcy procesorów. Pozornie naturalne scentralizowanie tych urządzeń w jednym miejscu, w pobliżu eksperymentu w CERN-ie, oceniono jako organizacyjnie niemożliwe i nieopłacalne. Utworzono więc dla fizyki cząstek światową sieć rozproszonych mocy obliczeniowych o nazwie LCG-LHC Computing Grid. Oznaczało to konieczność opracowania oprogramowania i zbudowania całej infrastruktury tej sieci.

Dane z eksperymentów przy LHC będą rozprowadzane w systemie czterowęzłowym. Ich pierwotny zapis na taśmach będzie dokonywany w ośrodku komputerowym CERN-u, który będzie stanowił węzeł zerowy LCG – Tier-0, wyposażony w 5000 komputerów. Dane z węzła Tier-0 będą przesyłane do serii węzłów Tier-1 – wielkich centrów komputerowych o dużych zasobach pamięciowych – gdzie będą wstępnie opracowywane i dzielone na mniejsze pakiety. Centra Tier-1 udostępnią dane węzłom Tier-2; każdy z nich będzie się składać z wielu współpracujących układów komputerów, mających wystarczającą moc obliczeniową do analizy przypadków fizycznych oraz duże pamięci dla przechowywania wyników. System Tier-0, Tier-1 i Tier-2 będzie dostępny dla eksperymentów poprzez odpowiednie „organizacje wirtualne”. Indywidualni fizycy będą

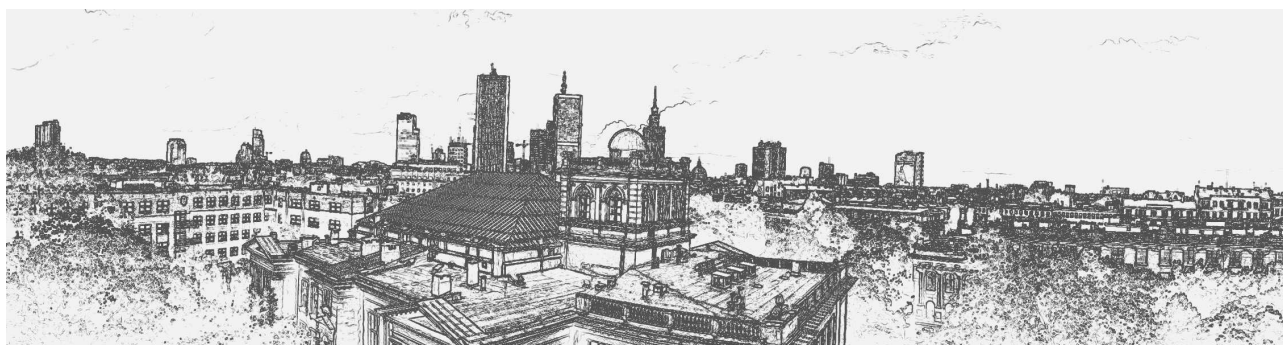
mieli dostęp do danych przez centra Tier-3, które mogą się składać z lokalnych węzłów na wydzielonych uczelnianych lub nawet z indywidualnych pecetów i które mogą być włączone do regularnej bazy LCG. Widzieliśmy węzeł Tier-0 – pomieszczenie, w którym już zainstalowano blisko 4 tysiące komputerów – wrażenie imponujące!

Nasza wizyta zbiegła się z przyjazdem dyrektorów IFJ PAN, prof. Marka Jeżabka i dr. Grzegorza Poloka, w celu parafowania umów między IFJ-em a CERN-em dotyczących rozszerzenia współpracy partnerskiej przy budowie LHC. Zawarte zostały dwie umowy. Umowa dotycząca wykonania prac elektryczno-energetycznych (zespół ELQA) została zawarta na rok 2006 z możliwością przedłużenia na 2007 r. Zgodnie z nią przez cały rok CERN będzie zatrudniać ok. 20 pracowników IFJ (po 10 inżynierów i techników). Polscy specjaliści będą zajmować się zabezpieczeniem jakości obwodów elektrycznych na łuku i we wszystkich sektorach wewnętrznych akceleratora LHC oraz wykonaniem i sprawdzeniem pomocniczych, wieloprzewodowych kabli elektrycznych zasilających magnesy korekcyjne, ogniskujące i rozogniskowujące (będzie do tego potrzebna 23 km kabla 42-żyłowego i 80 km kabla 48-żyłowego). Ponadto będą pomagać załodze CERN-u przy uruchomieniu zderzacza LHC i projektowaniu oraz konstrukcji oprzyrządowania i oprogramowania potrzebnych do działalności zespołu ELQA.

Druga umowa, dotycząca zespołu nadzorującego (Inspection Team) i zawarta na dwa lata (2006–07) zapewnia pracę przy budowie LHC kolejnym 19 osobom, z czego jedną trzecią będą stanowili inżynierowie, a dwie trzecie technicy. Ten zespół będzie sprawdzał połączenia rur próżniowych, rur dla ciekłego helu i azotu, a także wszystkie pozostałe połączenia między poszczególnymi segmentami magnesu LHC (jeden segment ma długość ok. 15 m). Podpisanie całej umowy o rozszerzeniu współpracy nastąpiło 18 grudnia 2005 r.

Przy okazji naszego pobytu zorganizowano spotkanie Polaków przebywających aktualnie w CERN-ie. Przyszła na nie aż setka osób, a i to jeszcze nie byli wszyscy. Przy kufu piwa, w przyjacielskiej atmosferze, dyskutowano o znaczeniu prowadzenia wielkich eksperymentów i dokonywania odkryć w fizyce oraz o powodach zbyt małego zainteresowania nauką w społeczeństwie.

*Małgorzata Nowina Konopka*



## NOWE KSIĄŻKI

- Kerson Huang, *Podstawy fizyki statystycznej*, z jęz. angielskiego tłum. Magdalena Załuska-Kotur; PWN, Warszawa 2006, s. 260.
- Lew D. Landau, Jewgienij M. Lifszyc, *Mechanika*, z jęz. rosyjskiego tłum. Stanisław Bażański; wyd. IV, PWN, Warszawa 2006, s. 202.
- R. Makarewicz, *Wstęp do akustyki teoretycznej*, cz. 1, Wyd. Naukowe UAM, Poznań 2006, s. 132.
- Barry Parker, *Einstein – pasje uczonego*, z jęz. angielskiego tłum. Jan Jakub Marcinkiewicz; Twój Styl, Warszawa 2006, s. 254.
- *Komplementarne metody badań przemian fazowych*, red. Edward Mikuli i Anna Migdał-Mikuli; Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2006, s. 311, cena 29 zł.
- *Fizyka – Encyklopedia szkolna*, red. Krzysztof Ruebenbauer; Wyd. Zielona Sowa, Kraków 2006, s. 794, cena 49,90 zł.
- Andrzej Branicki, *Obserwacje i pomiary astronomiczne dla studentów i miłośników astronomii*, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2006, s. 328, cena 38 zł.

## POSTĘPY FIZYKI W INTERNECIE

Zapraszamy do odwiedzania naszej strony internetowej <http://postepy.fuw.edu.pl>, gdzie można znaleźć:

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

## WKRÓTCE W POSTĘPACH

- *Teksty dalszych wykładów z XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie w 2005 roku*
- *Michał Żurawski i Janusz Kozłowski o zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych w kardiologii*
- *Janusz A. Zakrzewski o Konwersatorium im. Jerzego Pniewskiego*
- *Krzysztof Fiałkowski o Ettore Majoranie*

## WARUNKI PRENUMERATY

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

I. „RUCH” S.A.

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

2. Informacji o prenumeracie ze zleceniem dostawy za granicę udziela Dział Prenumerat i Współpracy z Zagranicą, ul. Jana Kazimierza 31/33, 01-248 Warszawa, tel. 022-5328731, e-mail: prenumerata@okdp.ruch.com.pl, Internet: [www.ruch.pol.pl](http://www.ruch.pol.pl).

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

II. ZARZĄD GŁÓWNY PTF

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

III. ODDZIAŁY PTF

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

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

## INFORMACJE DLA AUTORÓW

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

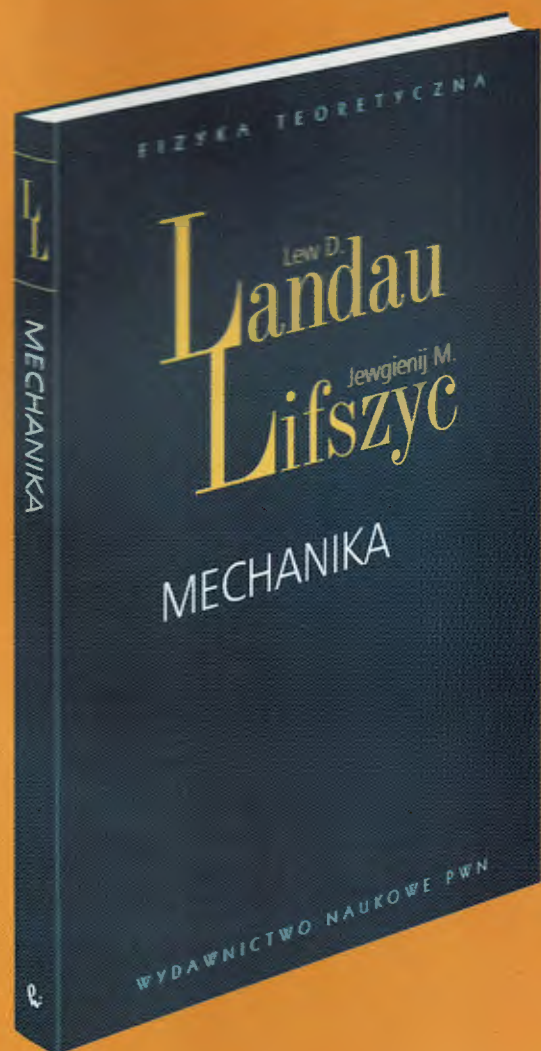
Zapraszamy – szczególnie przedstawicieli producentów aparatury oraz sprzętu i oprogramowania komputerowego, wydawców podręczników i książek naukowych oraz popularnonaukowych – do zamieszczania ogłoszeń reklamowych w *Postępach Fizyki*. Nasze czasopismo dociera do większości polskich fizyków, z których 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 (for details see <http://www.ruch.pol.pl>).



Lew D.  
**Landau**  
Jewgienij M.  
**Lifszyc**

## **L**egendarny podręcznik – nowa edycja!

Seria **FIZYKA TEORETYCZNA**, autorstwa L. D. Landaua i J. M. Lifszycy, to klasyczne podręczniki znane i cenione przez środowiska fizyków na całym świecie.

Książki te zyskały ogromną popularność przede wszystkim dzięki zwięzłej, bardzo klarownej i logicznej prezentacji materiału, tak bardzo charakterystycznej dla Landaua i Lifszycy.

Po latach nieobecności na rynku polskim, w ręce Czytelników trafia *Mechanika* – pierwszy podręcznik z tej serii. Autorzy rozpoczęli wykład od przedstawienia podstawowych pojęć mechaniki. Prezentacja ta jest bardzo oryginalna, ponieważ została dokonana na bazie formalizmu lagranżowskiego.

W książce omówiono:

- zasady zachowania – ich związek z jednorodnością czasu oraz izotropowością i jednorodnością przestrzeni,
- proste przykłady całkowania równań ruchu,
- teorię rozpraszania,
- teorię małych drgań,
- ruch bryły sztywnej,
- formalizm hamiltonowski.

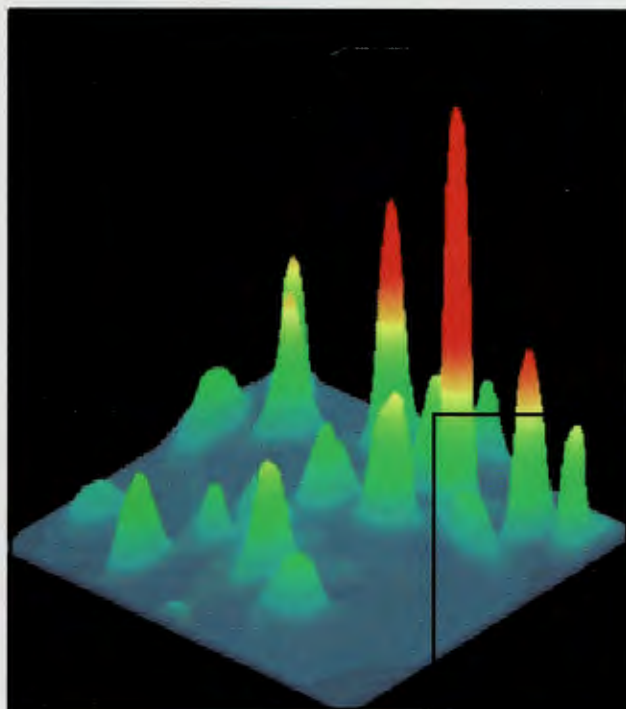
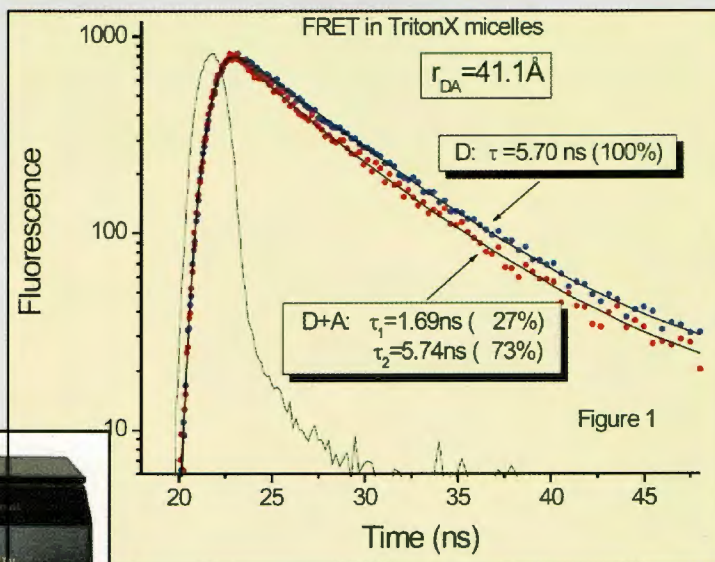
Na uwagę zasługują zadania związane bezpośrednio z głównym nurtem wykładu. Są one podane wraz z rozwiązaniami i komentarzami, co z pewnością ułatwi studentom zrozumienie materiału.

Prosimy o przysyłanie na adres: [pwn@pwn.com.pl](mailto:pwn@pwn.com.pl) sugestii, które tytuły autorstwa L.D. Landaua i J.M. Lifszycy wznowić w pierwszej kolejności; w temacie prosimy wpisać hasło „**Landau – sugestie**”.

# EasyLife LS

Fluorescencyjny spektrometr kinetyczny

wzbudzenie LED: 280 - 540nm  
rozdzielczość: < 100 ps  
bogate oprogramowanie  
cena: \$25 000



## ImageMaster

Mikroskopowy układ do obrazowania fluorescencji i do spektroskopii emisyjnej.

Mierzy fluorescencję i fosforescencję rozdzieloną czasowo i przestrzennie.



**Photon Technology International**

*Eurotek International Sp. z o. o.*

022 843 70 40  
inbox@eurotek.com.pl