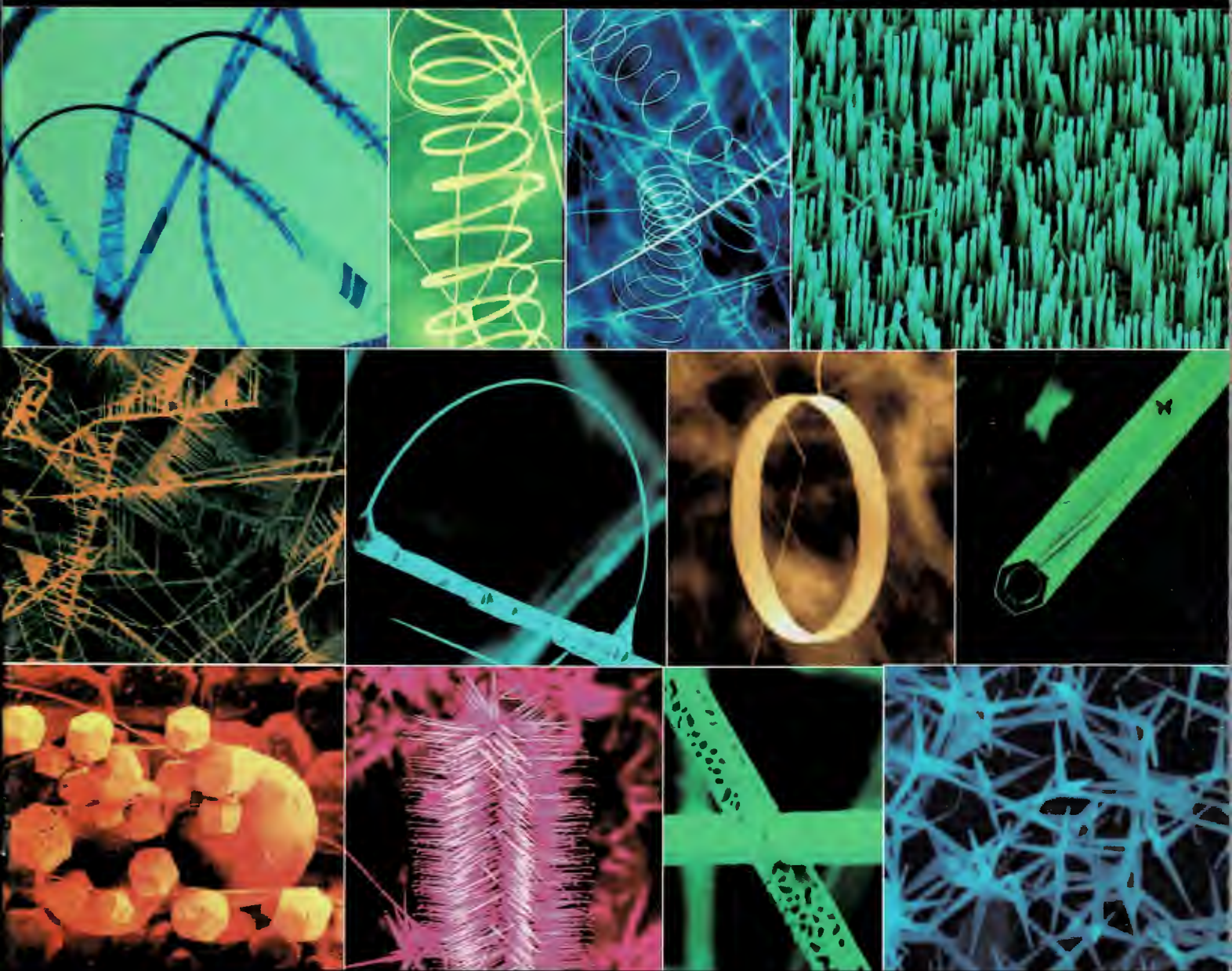


# POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



**Półprzewodniki półmagnetyczne**  
**Rozmiarowe przemiany fazowe**  
**Kopalnia Yukawy**





## DZIEŃ OTWARTY I NOC NAUKOWCÓW W IFJ



Dzień otwarty: debata oksfordzka licealistów na temat energetyki jądrowej w Polsce (fot. Małgorzata Nowina Konopka)



Noc naukowców: odtwórcy głównych ról w przedstawieniu Jerzego Grębosza *Duch fizyki*: z lewej Marek Jeżabek (Kazimierz Jagiellończyk), poniżej Stanisław Kwieciński (Mikołaj Kopernik) i Urszula Woźnicka (Halka, czarownica z Niepołomic, fot. Iwona Lesiak) – patrz notatka Małgorzaty Nowiny Konopki w Kronice



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), Ewa Lipka (sekretarz redakcji), 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), Wojciech Gruhn (Częstochowa), Ryszard Drozdowski (Gdańsk), Roman Bukowski (Gliwice), Jerzy Warczewski (Katowice), Aldona Kubala-Kukuś (Kielce), Małgorzata Nowina Konopka (Kraków), Elżbieta Jartych (Lublin), Michał Szanecki (Łódź), Halina Pięta (Opole), Maria Połomska (Poznań), Małgorzata Pociask (Rzeszów), Małgorzata Kuzio (Słupsk), Janusz Typek (Szczecin), Winicjusz Drozdowski (Toruń), Aleksandra Miłosz (Warszawa), Bernard Jancewicz (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 Jancewicz 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), Józef Zbrozczyk (Częstochowa), Bolesław Augustyniak (Gdańsk), Bogusława Adamowicz (Gliwice), Maciej Maśka (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Stanisław Wróbel (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Bogusław Broda (Łódź), Stanisław Waga (Opole), Roman Świetlik (Poznań), Małgorzata Klisowska (Rzeszów), Włodimir Tomlin (Słupsk), Adam Bechler (Szczecin), Grzegorz Karwasz (Toruń), Mirosław Karpierz (Warszawa), Bernard Jancewicz (Wrocław), Marian Olszowy (Zielona Góra)

REDAKTORZY NACZELNI INNYCH CZASOPISM

WYDAWANYCH POD EGIDĄ PTF

Witold D. Dobrowolski – *Acta Physica Polonica A*, Kacper Zalewski – *Acta Physica Polonica B*, Andrzej Jamiołkowski – *Reports on Mathematical Physics*, Marek Kordos – *Delta*, Zofia Gołąb-Meyer – *Foton*, Zbigniew Wiśniewski (redaktor prowadzący) – *Fizyka w Szkole*

Czasopismo ukazuje się od 1949 r.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Dofinansowanie: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Patronat: Wydział 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

R.R. Gałązka – Fizyka półprzewodników: historia i perspektywy .....	194
P.E. Tomaszewski – Rozmiarowe przemiany fazowe w nanokryształach .....	200
M. Singham – Mity kopernikańskie .....	204
L. Hoddeson – John Bardeen: fizyk nadzwyczajny ....	210
A. Zichichi – Kopalnia złota Yukawy .....	216
LISTY DO REDAKCJI .....	220
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI .....	223
RECENZJE .....	225
PTF .....	230
KRONIKA .....	231

*Drodzy Czytelnicy,*

*Niewątpliwym hitem tego zeszytu jest artykuł prof. Roberta R. Gałązki o fizyce półprzewodników. Jest to nieco rozszerzona wersja wykładu wygłoszonego na XXXIX Zjeździe Fizyków Polskich w Szczecinie w 2007 r. z okazji przyznania Autorowi Medalu Mariana Smoluchowskiego. Znajdą w nim Państwo nie tylko bardzo kompetentny przegląd fizyki półprzewodników od początków dziedziny aż po możliwe kierunki dalszego rozwoju, lecz i bardzo osobisty opis fizyki półprzewodników magnetycznych – działu, który stał się polską specjalnością, w znacznym stopniu dlatego, że prof. Gałązka jest jednym z głównych jego twórców.*

*Wiele piszemy też w tym zeszycie o wybitnych uczonych mniej lub bardziej odległych czasów. John Bardeen jest jedynym, który otrzymał dwukrotnie Nagrodę Nobla z tej samej dziedziny (fizyki). Jak można się dowiedzieć z artykułu Lilian Hoddeson, nie tylko to sprawia, że nazywa się go fizykiem nadzwyczajnym. Antonino Zichichi przekonuje nas z kolei, że Hideki Yukawa – pierwszy laureat Nagrody Nobla w historii japońskiej nauki – swymi koncepcjami stworzył prawdziwą „kopalnię złota” w fizyce cząstek, kopalnię, w której „wydobycie” trwa do dziś. Wreszcie Mano Singham wraca raz jeszcze do dzieła Mikołaja Kopernika i jego odbioru przez współczesnych wielkiego astronoma, dowodząc, że w wielu podręcznikach przewrót kopernikański jest opisany niezbyt wiernie, i wyjaśniając, jak to było naprawdę.*

*Życzę ciekawej lektury,*

*Mirek Łukaszewski*

*Na okładce:*

Kolekcja nanostruktur ZnO zsyntetyzowanych w kontrolowanych warunkach przez termiczne odparowanie proszków; dla większości przedstawionych struktur można uzyskać 100-procentową czystość produktu (ilustracja z artykułu Zhong Lin Wanga „Nanostructures of zinc oxide” w *Materials Today* 7, zes. 6, 26 (2004) przedrukowana za zgodą Autora i Redakcji, copyright © 2004 Elsevier Ltd.)

# Fizyka półprzewodników: historia i perspektywy\*

Robert R. Gałązka

*Instytut Fizyki PAN, Warszawa*

---

## Semiconductor physics: history and outlook

*Abstract:* The most important events from the history of semiconductor physics are described. Current trends and future perspectives are discussed. The close, continuous connection between semiconductor physics, material processing, technological possibilities and applications is underlined.

---

## Wstęp historyczny

Historia fizyki półprzewodników, jak również cała historia fizyki ciała stałego czy materii skondensowanej, sięga prac Alessandra Volty (1745–1827), a potem systematycznych badań Michaela Faradaya (1791–1867), i wiąże się z odkryciem źródeł prądu elektrycznego oraz badaniem procesów i skutków przepływu prądu przez różne substancje.

Oczywiście zjawiska elektryczne, a raczej elektrostatyczne (elektryzowanie bursztynu), oraz magnetyczne (kompas) były znane tysiące lat wcześniej. Podobnie, przez tysiąclecia gromadzono wiedzę dotyczącą metalurgii metali i stopów metali, wytwarzania ceramiki i szkła, obróbki kamienia i wielu minerałów występujących w przyrodzie.

Jeśli jednak mówimy o fizyce we współczesnym rozumieniu tego słowa, to fizyka materii skondensowanej wyodrębniła się jako osobna gałąź fizyki dopiero w latach trzydziestych XX w. po sformułowaniu teoretycznych modeli ciał stałych opartych na mechanice kwantowej (wiele informacji dotyczących historii fizyki półprzewodników zostało zaczerpniętych z książki [1]). Wcześniej, bo już w końcu XIX i na początku XX w. istniały teorie klasyczne opisujące przewodnictwo elektryczne metali (Paul Drude 1863–1906, Hendrik Antoon Lorentz 1853–1928, prawo Wiedemanna–Franza) oraz przewodnictwo cieplne i ciepło właściwe ciał krystalicznych (Albert Einstein, Peter Debye). Jeszcze wcześniej, bo już w połowie XIX w. Faraday, a potem wielu innych badaczy zauważyło, że oprócz dobrze przewodzących prąd elektryczny metali i nieprzewodzących izolatorów, istnieją takie materiały – pierwiastki i związki chemiczne – których przewodnictwo jest nie tylko wyraźnie mniejsze niż metali, ale również silnie i inaczej niż w metalach zależy od temperatury, obecności zanieczyszczeń, a nawet od oświetlenia. Zauważono

również własności prostujące selenu, a później innych materiałów, jak  $\text{Cu}_2\text{O}$ , PbS i Si. Termin „półprzewodniki” (Halbleiter) został prawdopodobnie po raz pierwszy użyty przez J. Königsbergera i J. Weissa w 1911 r., ale jeszcze przez 20 lat nie było ścisłej definicji tej grupy ciał stałych.

Teoretyczny opis struktury energetycznej ciał stałych i ruchu elektronów związany jest z nazwiskami twórców mechaniki kwantowej, takich jak Wolfgang Pauli, Hans Bethe, Werner Heisenberg, Arnold Sommerfeld i in. W 1928 r. Felix Bloch (1905–83) sformułował twierdzenie o funkcji falowej elektronu w periodycznej sieci krystalicznej. Prace Maximiliana J.O. Strutta (1928), Philipa M. Morse’a (1930), Rudolfa Peierlsa (1929), Heisenberga (1931) i Léona Brillouina (1930) doprowadziły do opisu struktury pasmowej ciał stałych i zrozumienia przewodnictwa dziurowego. Dzięki tym pracom została stworzona baza do całościowego opisu ciał stałych z podziałem na przewodniki, półprzewodniki i izolatory, którego podstawą była struktura pasm energetycznych. Taki opis zaproponował w 1931 r. Alan H. Wilson [2] i rok ten dość powszechnie przyjmuje się za datę narodzin fizyki półprzewodników.

Warto dodać, że kilku najwybitniejszych twórców kwantowej teorii ciał stałych, takich jak Bloch, Peierls i Wilson, pracowało w tym czasie w zespole Wernera Heisenberga w Lipsku.

W 1935 r. ukazała się pierwsza książka w całości poświęcona półprzewodnikom. Jej autorem był Rosjanin Abram F. Joffe, a książka we francuskim przekładzie, który ukazał się w 1959 r., nosiła tytuł *Semiconducteurs électroniques*.

Następnym etapem było opracowanie teorii złączy prostujących, wcześniej wykorzystywanych powszechnie w latach 20. w kryształkowych odbiornikach radiowych. Jednym z głównych materiałów wykorzystywanych do tego

---

\*Rozszerzona wersja wykładu wygłoszonego na XXXIX Zjeździe Fizyków Polskich w Szczecinie w 2007 r. z okazji przyznania Autorowi przez PTF Medalu Mariana Smoluchowskiego za rok 2007.

celu był PbS, minerał występujący w przyrodzie pod nazwą galeny. Teorię złączy prostujących opracowali ok. 1940 r. Walter Schottky w Niemczech, Nevill Mott w Wlk. Brytanii i Borys I. Dawydow w Rosji.

W czasie II wojny światowej w wielu laboratoriach prowadzono intensywne prace nad wieloma związkami półprzewodnikowymi, głównie chalcogenidkami ołowiu, ze względu na ich zastosowanie w detekcji promieniowania podczerwonego, co jednak z uwagi na tajemnicę wojskową nie miało odbicia w publikacjach naukowych.

W 1944 r. w *Physics Abstracts* wprowadzono półprzewodniki jako oddzielną kategorię; tylko 3 prace w owym roku zakwalifikowano do tej kategorii, w 1950 r. było ich już 125.

Przełomową datą w rozwoju fizyki półprzewodników jest rok 1948. Właśnie wtedy William Shockley, John Bardeen i Walter Brattain w Bell Telephone Laboratories zbudowali pierwszy tranzystor. Był to germanowy tranzystor ostrzowy. Odkrycie tranzystora, a potem zbudowanie układów scalonych i stworzenie całej elektroniki opartej na półprzewodnikach miało i ma wciąż obecnie ogromny wpływ na kształt naszej cywilizacji.

Szerokie zainteresowanie fizyką półprzewodników po roku 1948 oraz szczodre finansowanie badań spowodowało szybki rozwój tej dziedziny fizyki. Powstały nowe technologie materiałowe, fizyczne metody oczyszczania pierwiastków i związków półprzewodnikowych (topienie strefowe), szybki rozwój teorii i metod doświadczalnych adaptowanych z innych obszarów fizyki (optyki, magneto-optyki, transportu nośników prądu) lub rozwijanych specjalnie dla potrzeb badań materiałów półprzewodnikowych – charakteryzacja i spektroskopia złączy p–n, transport kwantowy, magneto-optyka kwantowa, elektronomikroskopowe metody charakteryzacji materiałów, spektroskopia głębokich stanów domieszkowych (DLTS) i inne.

W roku 1950 wydano dwie podstawowe książki dotyczące półprzewodników: *Electrons and Holes in Semiconductors* autorstwa W. Shockleya oraz *Semiconductors* A.A. Wrighta. W tym samym roku odbyła się pierwsza Międzynarodowa Konferencja Fizyki Półprzewodników (ICPS) w Reading w Wlk. Brytanii. Konferencje takie odbywają się regularnie co 2 lata. W 2008 r. kolejna, 29. ICPS, odbyła się w Rio de Janeiro. Dotychczas dwie konferencje ICPS: 11. (1972) oraz 19. (1988) zorganizowano w Warszawie.

W latach pięćdziesiątych XX w. fizyka półprzewodników ukształtowała się jako odrębna gałąź fizyki ciała stałego z własnymi problemami i metodami badawczymi. Była ona zawsze ściśle związana z materiałami i technologią ich wytwarzania – oczyszczania, krystalizacji, domieszkowania, z procesami otrzymywania struktur, kontaktów itp. oraz zastosowaniem tych materiałów w elektronice, detekcji promieniowania, ogniwach fotowoltaicznych i do innych celów.

Pierwszymi szerzej badanymi półprzewodnikami były sole ołowiu, selen, niektóre tlenki, jak  $\text{Cu}_2\text{O}$ , i niektóre półprzewodniki typu II–VI, jak  $\text{ZnS}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{CdSe}$ ,  $\text{CdTe}$ . Następnym materiałem był Ge. Elektronika półprzewod-

nikowa przez wiele lat była oparta na tranzystorach germanowych, początkowo ostrzowych, a potem polowych. Opracowanie technologii krzemowej – metod oczyszczania i domieszkowania tego pierwiastka oraz zastosowanie metody Czochralskiego do otrzymywania dużych, bezdyslokacyjnych monokryształów Si – otworzyło drogę do masowej produkcji tranzystorów, a potem układów scalonych, diod i detektorów, baterii słonecznych i innych elementów elektronicznych. Światowa produkcja krzemu na potrzeby elektroniki w roku 2007 wynosiła 40 tys. ton, co obrazuje skalę zastosowań tego pierwiastka w elektronice.

Drugi materiał szeroko wykorzystywany w elektronice i optoelektronice to arsenek galu. Diody laserowe z GaAs są stosowane do odczytywania informacji zapisanych na dyskach kompaktowych.

Inne związki i stopy półprzewodnikowe nie są tak szeroko wykorzystywane jak Si i GaAs. Jednak w niektórych zastosowaniach inne materiały mają znaczną przewagę nad Si i GaAs lub też nie mogą być zastąpione przez te półprzewodniki. I tak np. w zakresie widmowym 5–10  $\mu\text{m}$  najlepsze są detektory podczerwieni z  $\text{CdHgTe}$ , a detektory promieniowania jądrowego z  $\text{CdZnTe}$  mają przewagę nad detektorami z Si.

Cała historia fizyki półprzewodników to poszukiwanie nowych materiałów i struktur półprzewodnikowych, które otwierają nowe perspektywy badawcze i kolejne możliwości zastosowań. W latach sześćdziesiątych intensywnie badano półprzewodniki z wąską i zerową przerwą energetyczną; kryształy mieszane typu  $\text{CdHgTe}$ ,  $\text{ZnHgTe}$ ,  $\text{CdHgSe}$  dawały możliwości zmieniania szerokości przerwy w przedziale 0–2,2 eV, a więc niejako tworzenia półprzewodnika o z góry zadanej przerwie energetycznej. Prace polskich fizyków w tej dziedzinie zyskały międzynarodowe uznanie i były szeroko cytowane.

## Półprzewodniki półmagnetyczne

Inną ważną grupą materiałów są półprzewodniki półmagnetyczne (SMS), nazywane też rozcieńczonymi półprzewodnikami magnetycznymi (DMS). Niektóre materiały zaliczane obecnie do tej grupy były badane na długo przed powstaniem nazwy i podaniem definicji tych materiałów, co z kolei bezpośrednio wiązało się ze zrozumieniem ich specyficznych własności, a w szczególności z wpływem na nie pola magnetycznego. Koncepcja półprzewodników półmagnetycznych ukształtowała się na początku lat siedemdziesiątych XX w.

W pewnym uproszczeniu można powiedzieć, że o własnościach półprzewodników decydują zdelokalizowane nośniki prądu – elektrony i dziury. Własności magnetyczne materiałów są związane z wymiennym oddziaływaniem spinowym pomiędzy zlokalizowanymi jonami paramagnetycznymi.

Koncepcja półprzewodników półmagnetycznych była propozycją wprowadzenia do półprzewodników spinowych oddziaływań wymiennych przy zachowaniu typowych półprzewodnikowych własności materiału. Można to zrobić, tworząc odpowiednie stopy czy roztwory stałe zawierające

jony paramagnetyczne, chociaż oczywiście nie zawsze jest to możliwe. Ze względu na charakter wiązań chemicznych, rozmiary atomów, wartościowość pierwiastków itp. tylko niektóre jony paramagnetyczne mogą zastąpić w kryształach półprzewodnikowych jony macierzyste, nie zaburzając istotnie sieci krystalicznej i nie powodując wytrąceń innej fazy. Mimo tych ograniczeń udało się wytworzyć ponad 50 roztworów stałych w postaci litych kryształów oraz co najmniej drugie tyle w postaci cienkich warstw otrzymywanych techniką epitaksji z wiązek molekularnych. Ponieważ w każdym z tych roztworów stałych można zmieniać, w szerszym lub węższym zakresie, zawartość jonów paramagnetycznych, które decydują o własnościach elektronowych i magnetycznych materiału, można mówić o bardzo szerokiej bazie materiałowej półprzewodników półmagnetycznych.

Ponad 30 lat temu, w 1977 r., w *Postęпах Fizyki* [3], opisując ugruntowaną już i opartą na wynikach doświadczalnych koncepcję półprzewodników półmagnetycznych, przewidywałem realistyczną możliwość wytworzenia ponad 100 różnych typów roztworów stałych o własnościach półprzewodników półmagnetycznych, chociaż w tym czasie materiał doświadczalny dotyczył tylko dwu materiałów: HgMnTe i CdMnTe.

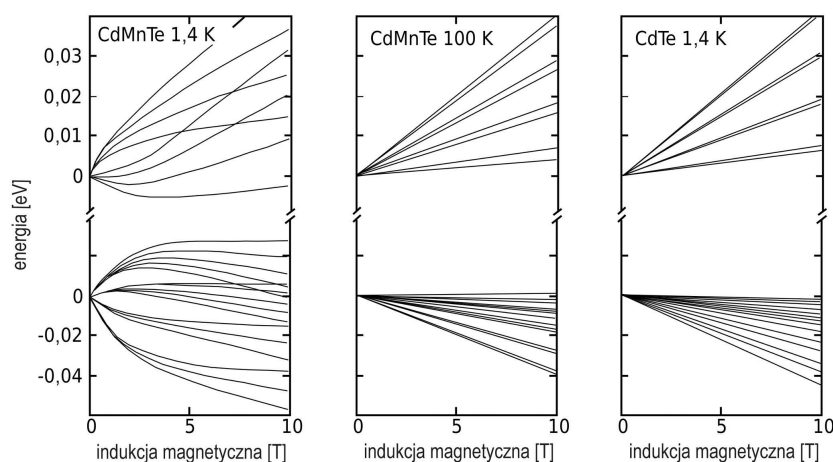
Wprowadzenie do półprzewodnika silnych zlokalizowanych momentów spinowych oznacza nie tylko obecność w półprzewodniku wymiennych oddziaływań spinowych pomiędzy jonami magnetycznymi, ale również, a nawet przede wszystkim, spinowe oddziaływanie wymienne elektronów i dziur z jonami magnetycznymi. Ponieważ cała wymiana charakteryzująca siłę oddziaływań spinowych nośników z jonami magnetycznymi jest w półmagnetykach rzędu 1 eV, tego samego rzędu co inne typowe wartości energii w półprzewodnikach, wpływ oddziaływania wymiennego jest duży i istotnie wpływa na własności materiału. Dzieje się tak jednak tylko w obecności zewnętrznego pola magnetycznego, ponieważ bez pola momenty spinowe jonów są rozłożone przypadkowo i średnia wartość spinu jonów jest równa zero. Bez zewnętrznego pola magnetycznego „półmagnetyki” zachowują się jak zwykły półprzewodnik, przynajmniej w pierwszym przybliżeniu.

Pole magnetyczne w typowym półprzewodniku oddziałuje na ruch orbitalny i spin elektronu, co powoduje kwantyzację pasm energetycznych i rozszczepienie spinowe; oba te zjawiska zależą od masy efektywnej nośników. Oddziaływanie wymienne zależy tylko od wartości spinu i całki wymiany, a nie zależy od masy efektywnej nośników. Tym samym wpływ zewnętrznego pola magnetycznego na półmagnetyk jest inny niż w zwykłych półprzewodnikach. Rysunek 1 pokazuje drastycznie odmienny wpływ pola magnetycznego na strukturę energetyczną półmagnetyka CdMnTe w porównaniu z półprzewodnikiem CdTe.

W półprzewodniku półmagnetycznym istnieją dwa oddziałujące podukłady: elektronowy i magnetyczny, przy czym zarówno własności magnetyczne wpływają na własności elektronowe, jak i własności elektronowe mają wpływ na własności magnetyczne materiału.

Badania półprzewodników półmagnetycznych zaowocowały odkryciem wielu efektów nieobserwowanych wcześniej w półprzewodnikach i magnetykach, jak np. kwantowe termoosycylacje magnetooporu, przecinanie poziomów spinowych, silne wzmocnienie (ponad 50-krotne) fotoluminescencji w polu magnetycznym. Inne efekty, znane wcześniej, zyskały niejako nowy wymiar; są jakościowo i ilościowo inne niż obserwowane wcześniej, jak np. gigantyczny efekt Faradaya, ujemny magnetoopór przekraczający sześć rzędów wielkości, związane i swobodne polarony magnetyczne, słabe i silne lokalizacje nośników oraz związane z nimi przemiany fazowe, ładunkowa supersieć w HgFeSe i inne.

Znaczenie tych badań zostało uznane przez *Nature* za jeden z 23 „kamieni milowych” w fizyce spinu w okresie 1896–1997 [4]. Rok 1978 i mój wykład wygłoszony na zaproszenie na 14. ICPS w Edynburgu uznano za przełomową datę w badaniach półmagnetyków [5]. Dziś nowy impuls w badaniach półprzewodników półmagnetycznych związany jest z rozwojem spintroniki, lecz zarówno od strony bazy materiałowej jak i wiedzy nagromadzonej w badaniach półmagnetyków spintronika szeroko wykorzystuje doświadczenie uzyskane w badaniach półmagnetyków.



Rys. 1. Efekt kwantowego rozszczepienia pasm energetycznych w zewnętrznym polu magnetycznym w  $\text{Cd}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{Te}$  i CdTe. Rozszczepienie poziomów spinowych jest bardzo słabe w CdTe – widoczne są tylko poziomy Landaua. W CdMnTe głównym efektem jest rozszczepienie spinowe, malejące ze wzrostem temperatury. Widoczne jest przecinanie poziomów spinowych zarówno w pasmie przewodnictwa jak i walencyjnym (R.R. Gałązka, *Europhysics News* **18** (6), 90 (1987)).



Badania półprzewodników półmagnetycznych rozpoczęto w Instytucie Fizyki PAN. Na sukces polskich fizyków w tym obszarze badań złożyło się kilka istotnych elementów: 1) precyzyjnie określona koncepcja tych materiałów, 2) baza technologiczna pozwalająca na otrzymanie tych materiałów, często po raz pierwszy na świecie, 3) ścisła współpraca teoretyków i eksperymentatorów. Jeśli przyjąć umownie rok 1978 jako granicę pionierskiego okresu badań półmagnetyków, to w tym okresie polskimi autorami najważniejszych prac i twórcami technologii tych materiałów byli: Witold Giriat, Anna Pajęczkowska, Jerzy Mycielski, Jacek Kossut, Jan Gaj, Michał Nawrocki, Jerzy Ginter, Andrzej Mycielski oraz autor tego artykułu. W następnych latach wielu innych fizyków w Polsce i za granicą zainteresowało się tą tematyką, rozszerzając zarówno bazę materiałową jak i metody badawcze. Nowoczesne metody technologii, jak MBE (epitaksja z wiązek molekularnych), pozwoliły na wytworzenie wielu nowych półmagnetyków oraz struktur epitaksjalnych i niskowymiarowych: studni kwantowych, supersieci, nanodrutów i kropek kwantowych. Również w obszarze badań struktur niskowymiarowych polscy fizycy odnotowali wiele osiągnięć.

## Stan aktualny i perspektywy

W ostatnich 10 latach pojawiły się pewne terminy, które kojarzy się z najbardziej perspektywicznymi kierunkami badań i technologii. Takimi terminami są nanotechnologia (czasem nawet mówi się o nanonauce) i spintronika. Innym terminem, który już nie ma takiej rangi nowości, jest optoelektronika.

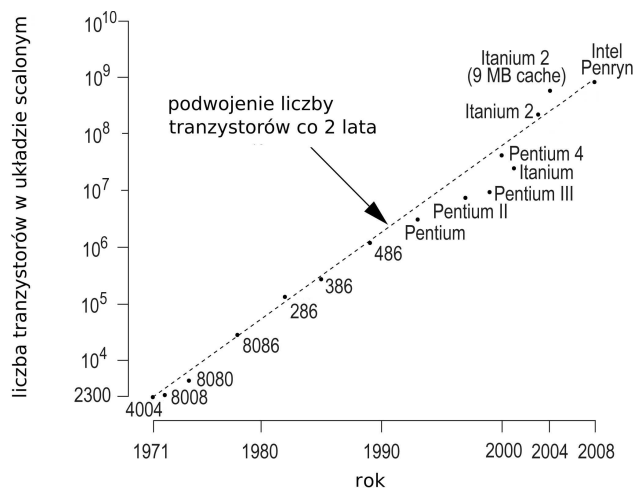
Pojawienie się nowej nazwy sugeruje powstanie zupełnie nowego obszaru badań, czegoś, czego wcześniej nie było. Tak nie jest w żadnym z tych przypadków. Nanotechnologia jest pojęciem szerokim i obejmuje swoim zasięgiem wiele dziedzin techniki i technologii od metalurgii, chemii, fizyki po układy biologiczne. Około 40 lat temu Alfred Y. Cho z Bell Laboratories i Leo Esaki z IBM zbudowali pierwsze urządzenia do epitaksji z wiązek molekularnych – MBE. W urządzeniach tego typu można sterować procesami wzrostu w skali pojedynczych warstw atomowych, tzn. na poziomie ok. 1 nm. Dzięki tej technice można otrzymywać studnie kwantowe, supersieci, jak również struktury jedno- i zerowymiarowe, jak nanodruły i kropki kwantowe. Jest to inżynieria materiałowa w skali atomowej. Również układy scalone, pamięci półprzewodnikowe i magnetyczne działają w skali submikronowej. Nanotechnologia nie jest jednak czymś nowym w technologii półprzewodników.

Zjawiska spinowe badane są od ponad 100 lat (efekt Zeemana, 1896), chociaż wprowadzenie i zrozumienie pojęcia spinu nastąpiło później. Zawdzięczamy je takim postaciom jak Wolfgang Pauli (1925) i Paul Dirac (1928). W elektronice zjawiska spinowe wykorzystywane są w pamięciach magnetycznych od wielu lat, a gigantyczny magnetoopór – typowy efekt „spintroniczny” – wykorzystywany na masową skalę w twardych dyskach, został odkryty w 1988 r. i nagrodzony w 2007 r. Nagrodą Nobla przyznaną Peterowi Grünbergowi i Albertowi Fertowi.

Mimo to jednak wprowadzenie nowych terminów – nanotechnologia i spintronika – ma swoje uzasadnienie. W obu obszarach: dalszej miniaturyzacji i modyfikacji technologii półprzewodnikowych, jak również w badaniach efektów spinowych, osiągnięto nowy poziom technologii materiałowej, powstały nowe problemy i nowe perspektywy zastosowań.

Dotychczasowa technologia struktur półprzewodnikowych, zarówno układów scalonych, jak i studni kwantowych czy supersieci, jest technologią „z góry do dołu” (top-down). Kolejne warstwy nakładają się na siebie czy to epitaksjalnie, czy też dyfuzyjnie. Obecnie w laboratoriach duże zainteresowanie zwrócone jest na technologie „z dołu do góry” (bottom-up). Jest to technologia nanodrutów i kropek kwantowych. Jeśli na odpowiednio przygotowaną powierzchnię półprzewodnika nałożyć małe, o rozmiarach dziesiątków nanometrów, kropki złota (można to zrobić, naporowując na podłoże bardzo cienką warstwę złota, a następnie wygrzewając próbkę, lub też używając nanolitografii nałożyć złoto w zadanych miejscach, a następnie w ściśle kontrolowanych warunkach dostarczać materiału do krystalizacji), to można uzyskać wzrost kryształu tylko pod złotą kropką. Nanodruły czy igły rosną podobnie jak trawa na łące. W czasie wzrostu można te nanodruły domieszkować, tworzyć złącza, heterostruktury, a nawet zamknąć w środku mniejszą kropkę kwantową z innego materiału, np. InAs w GaAs. Możliwości wykorzystania nanodrutów są bardzo duże zarówno w elektronice, nanodetektorach biologicznych, jak i w optoelektronice itp. Nanodruły tworzące określoną, zadaną przez odpowiednie podłoże strukturę mogą komunikować się ze sobą zarówno elektrycznie, magnetycznie, jak i optycznie. Technologia nanostruktur nie ogranicza się tylko do nanodrutów. W odpowiednich warunkach technologicznych można otrzymać również inne struktury – pierścienie, gwiazdy itp. (rys. na okładce). Możliwości tych technologii są dopiero rozpoznawane, a ich wykorzystanie jest trudne do przewidzenia, ale perspektywy są interesujące.

Obecnie istniejące technologie układów scalonych notują ciągły postęp. Prawo Moore’a, sformułowane w 1965 r. i przewidujące podwojenie liczby tranzystorów w jednym układzie scalonym (czipie) co 2 lata, sprawdza się z zadziwiającą dokładnością (rys. 2). Przewiduje się, że prawo Moore’a załamie się po 2020 r., co jest związane z naturalnym ograniczeniem dalszych procesów miniaturyzacji ze względu na rozmiary atomów. Obecnie wymiarem charakterystycznym w technologii większości układów scalonych (długość bramki) jest 90 nm. W roku 2008 Intel wprowadził na rynek nową generację procesorów (Penryn) o długości bramki 45 nm i gęstości upakowania  $0,8 \cdot 10^9$  tranzystorów w jednym układzie scalonym. Zapowiadana jest następna generacja o długości bramki 32 nm i odpowiednio większej gęstości tranzystorów. Promień atomowy Si to 0,1 nm, a długość wiązania w kryształach – ok. 0,3 nm. Dalsza miniaturyzacja to nie tylko problemy technologiczne, to również fizyka układów niskowymiarowych. Efekty kwantowe związane z wymiarowością struktur półprzewodnikowych, np. uni-



Rys. 2. Prawo Moore'a ilustrujące wykładniczy wzrost gęstości upakowania tranzystorów w układach scalonych

wersalne oscylacje kwantowe oporu czy kwantowy efekt Halla, są już bardzo dobrze widoczne w układach submikronowych w niskiej temperaturze. Przy dalszej miniaturyzacji klasyczne prawa fizyki, jak np. prawo Ohma, nie będą obowiązywać nawet w temperaturze pokojowej. Z jednej strony jest to ograniczenie dalszego postępu w miniaturyzacji układów elektronicznych, których działanie korzysta z opracowanych teorii układów trójwymiarowych, a z drugiej strony otwierają się możliwości wykorzystania nowych zjawisk fizycznych związanych z wymiarowością układu fizycznego.

Badania własności układów niskowymiarowych – studni kwantowych, supersieci, kropek kwantowych, a ostatnio nanodrutów i innych nanostruktur – trwają od wielu lat i tworzą podstawy fizyczne dalszego rozwoju nanoelektroniki.

Spintronika jest propozycją wykorzystania spinu elektronu w układach elektronicznych – półprzewodnikowych i hybrydowych. W istniejących systemach komputerowych przetwarzanie i bieżące przechowywanie informacji realizowane jest przez półprzewodnikowe układy scalone, a do zapisywania i przechowywania informacji stosuje się pamięci magnetyczne. Połączenie obu tych funkcji w jednym elemencie jest jednym, ale nie jedynym celem spintroniki. Stosunkowo długi czas relaksacji spinowej elektronów w półprzewodnikach, sięgający 1  $\mu$ s, pozwala na transport spolaryzowanych spinowo nośników na odległość ok. 100  $\mu$ m, a to stwarza perspektywy wykorzystania w przyszłości układów spintronicznych w informatyce kwantowej.

Sterowania spinami nośników można dokonać przez działanie pola elektrycznego, magnetycznego, a także optycznie z użyciem światła spolaryzowanego. Stwarza to szerokie możliwości manipulowania spinami nośników w różnych układach elektronicznych i optoelektronicznych. Teoretyczną propozycję budowy spinowego tranzystora polowego przedstawili w 1990 r. Supriyo Datta i Biswajit Das [6]. Zbudowanie układów spintronicznych wymaga

wytworzenia w półprzewodniku nośników spolaryzowanych spinowo. Taka sytuacja zachodzi w półprzewodnikach ferromagnetycznych, w których silne, wewnętrzne pole magnetyczne rozszczepia spinowo zdegenerowane pasma przewodnictwa i walencyjne. Niektóre półprzewodniki półmagnetyczne, takie jak SnMnTe, GeMnTe i PbSnMnTe [7], są w temperaturach helowych ferromagnetykami. W warstwach epitaksjalnych GaMnAs zaobserwowano ferromagnetyzm w temperaturach poniżej 110 K [8]. Dało to początek szeroko zakrojonym badaniom półprzewodników ferromagnetycznych w temperaturze pokojowej, co otworzyłoby szerokie możliwości zastosowań. Prace teoretyczne Tomasza Dietla i innych [9] przewidywały istnienie takiej sytuacji w takich materiałach, jak GaMnN i ZnMnO silnie domieszkowane na typ p. Dotychczas nie udało się otrzymać półprzewodnika ferromagnetycznego w temperaturze pokojowej, ale prowadzone badania istotnie poszerzyły wiedzę o efektach spinowych w ciałach stałych, nie tylko w półprzewodnikach.

Optoelektronika wkracza w obszar krótkofalowy – fale elektromagnetyczne z niebieskiego i nadfioletowego zakresu widmowego. Niebieskie lasery półprzewodnikowe z azotku galu są już produkowane w skali masowej. Zastosowanie takich laserów w czynniki pamięci magnetycznej pozwala zwiększyć gęstość zapisu informacji co najmniej 4 razy. Duże sukcesy w opanowaniu technologii nanokryształów GaN i produkcji niebieskich laserów, szczególnie laserów dużej mocy, odniósł Instytut Wysokich Ciśnień PAN „Unipress”, który od wielu lat zajmuje się technologią i badaniami tego półprzewodnika. Baza materiałowa rozszerza się obecnie na półprzewodniki z szeroką przerwą energetyczną – azotki i tlenki, przede wszystkim GaN i ZnO oraz SiC. Wysokowydajne diody luminescencyjne są już obecnie używane w ulicznej sygnalizacji świetlnej i w samochodach. W przyszłości również w mieszkaniach panele diodowe mogą zastąpić tradycyjne żarówki i świetlówki, istotnie zmniejszając zużycie energii. Zainteresowanie tymi materiałami to nie tylko perspektywy zastosowań w szeroko rozumianej optoelektronice, to również elektronika wysokotemperaturowa. Diody i tranzystory wykonane z tych materiałów mogą działać w wysokich temperaturach, nawet do 1000 °C. Optoelektronika to nie tylko lasery, diody luminescencyjne i inne źródła światła oraz detektory, to również telekomunikacja światłowodowa i coraz szersze zastosowania wielu układów optoelektronicznych w chemii, biologii i medycynie.

Omówione wyżej obszary badań nie obrazują całości działań w dziedzinie fizyki półprzewodników. Duże zainteresowanie skierowane jest na badanie fulerenów, nanorurek węglowych, a ostatnio grafenu. Grafen jest dwuwymiarową strukturą atomów węgla tworzących sieć heksagonalną o grubości jednego atomu. Duże przewodnictwo elektryczne i cieplne oraz znaczna ruchliwość nośników prądu w temperaturze pokojowej –  $2 \cdot 10^5$   $\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$  – czynią z tego materiału atrakcyjny obiekt dla zastosowań. Grafen jest również niezwykle wytrzymały mechanicznie pod warunkiem, że struktura nie jest zdeformowana. Udało



się już zbudować tranzystor grafenowy, są przewidywania, że po opanowaniu technologii tego materiału może on stać się konkurentem dla Si.

Trwają prace, głównie w laboratoriach przemysłowych, nad polepszeniem wydajności baterii (ogniw) słonecznych. Obecnie stosowane baterie krzemowe osiągają przy dużych wymiarach wydajności 14–15%. Dla złożonych struktur półprzewodnikowych uzyskuje się w laboratoriach wydajności powyżej 35%, ale tylko w niewielkich powierzchniowo ogniwach. Deficyt energii i nacisk na użytkowanie alternatywnych źródeł prądu mogą zwiększyć wysiłek badawczy nad tymi problemami.

Poszukuje się nowych materiałów na wysokowydajne chłodziarki półprzewodnikowe. Bezwymiarowy parametr charakteryzujący wydajność chłodziarki wykorzystującej efekt Peltiera  $ZT = TS^2\sigma/c$  ( $T$  – temperatura,  $S$  – siła termoelektryczna,  $\sigma$  – przewodność elektryczna,  $c$  – przewodność cieplna) nie przekracza 1 w dotychczasowych chłodziarkach. Uzyskanie materiału o wartości współczynnika  $ZT = 2$  lub więcej pozwoliłoby na zastąpienie sprężarek w lodówkach czy klimatyzatorach elementami półprzewodnikowymi.

Wiele prac dotyczy różnego typu detektorów i czujników, od detektorów promieniowania jądrowego do czujników biologicznych i medycznych. W tym ostatnim obszarze miniaturyzacja układów elektronicznych pozwala na monitorowanie organizmów żywych (np. analizę składu chemicznego płynów ustrojowych) za pomocą wszczepionych pod skórę czujników.

W każdym z tych obszarów obserwuje się stały postęp, nowe propozycje wykorzystania półprzewodników w różnych dziedzinach życia. Rzadko są to tak spektakularne odkrycia, jak tranzystor czy laser, ale ciągła, mrówcza praca uczonych i inżynierów zmienia infrastrukturę techniczną naszej cywilizacji z roku na rok, co widać chociażby na przykładzie komputerów, telefonicznych aparatów komórkowych czy cyfrowych aparatów fotograficznych.

## Uwagi końcowe

Przedstawione w poprzednim rozdziale programy badań obrazują, w dużym skrócie, stan aktualny oraz bliskie perspektywy fizyki i zastosowań półprzewodników. Przewidywanie rozwoju tej dziedziny fizyki w dalszej perspektywie czasowej jest nie tylko trudne, ale i ryzykowne. Gdy w 1960 r. zbudowano pierwszy laser rubinowy, a w 1964 r. pierwszy półprzewodnikowy laser z GaAs, wśród wielu futurystycznych prognoz zastosowań laserów nie znalazła się żadna, która by przewidywała użycie lasera w czytnikach pamięci magnetycznej, telekomunikacji światłowodowej czy kasach sklepowych, a jest to przecież obecnie najszerze ich wykorzystanie.

Mimo to można sformułować kilka uwag ogólnych, oczywiście bez gwarancji ich sprawdzalności.

Technologia półprzewodnikowa osiągnęła poziom atomowy, a gęstość upakowania tranzystorów w układach scalonych jest porównywalna z gęstością neuronów w mó-

zgu człowieka ( $10^{11}$  w całej objętości). Tworzenie hybrydowych układów biologiczno-półprzewodnikowych jest technicznie możliwe, chociaż trudne w realizacji, bo organizmy biologiczne z trudem akceptują obecność obcych struktur w swoim otoczeniu, nie mówiąc już o współpracy z nimi. Nie chodzi tylko o mechaniczne protezy sterowane bodźcami z układu nerwowego, co już osiągnięto. Można myśleć o znacznie głębszym ingerowaniu czy wspomaganie układów biologicznych na poziomie sterowania procesami fizjologicznymi pośrednio przez sterowanie dawkami podawanych leków lub bezpośrednio poprzez działanie na układ nerwowy.

Trudno sformułować konkretny program działania, ale niewątpliwie ścisła i szeroka współpraca z biologami, fizjologami i chemikami może przynieść zaskakujące wyniki nie tylko w medycynie, ale i w zrozumieniu procesów sterowania złożonymi, wieloparametrowymi układami. W końcu nasz mózg działa inaczej niż największy i najszybszy superkomputer.

Ścisła współpraca fizyki ciała stałego i chemii, szczególnie chemii organicznej, molekularnej i supramolekularnej, może być bardzo obiecująca.

Na horyzoncie, a może jeszcze za horyzontem są komputery kwantowe, a szerzej informatyka kwantowa. Naturalnym, chociaż nie jedynym kandydatem do realizacji takich zamierzeń są półprzewodniki, szczególnie zjawiska spinowe w tych materiałach.

Głębsze zrozumienie zjawisk spinowych i możliwości sterowania spinami rozwijane obecnie w ramach spintroniki może się też okazać niezwykle przydatne w rozwoju informatyki kwantowej.

Powyższe uwagi mają z natury rzeczy charakter raczej ogólny. Ale i tak w każdej chwili badania mogą przynieść odkrycie jakiegoś nowego zjawiska fizycznego, którego obecnie nie potrafimy przewidzieć, a które wpłynie istotnie na dalsze kierunki badań. Historia fizyki zna wiele takich przypadków. Wiek XXI może być w fizyce wiekiem nie tylko kontynuacji obecnie prowadzonych badań, ale i nowych odkryć oraz nowych idei, których obecnie nie potrafimy nawet nazwać.

## Literatura

- [1] A.K. Wróblewski, *Historia fizyki* (PWN, Warszawa 2007).
- [2] A.H. Wilson, *Proc. Roy. Soc. A* **133**, 458 (1931).
- [3] R.R. Gałązka, *Postępy Fizyki* **28**, 601 (1977); **30**, 537 (1979); patrz także J. Gaj, *Postępy Fizyki* **45**, 125 (1994); **59**, 50 (2008).
- [4] *Nature Phys.* **4**, S16 (2008) (*Nature Milestones in Spin*, patrz [www.nature.com/milestones/spin](http://www.nature.com/milestones/spin)).
- [5] R.R. Gałązka, *Physics of Semiconductors 1978, Proc. 14th ICPS Edinburgh*, red. B.L.H. Wilson, Conf. Ser. 43 (Inst. of Physics, Bristol and London 1979), s. 133.
- [6] S. Datta, B. Das, *Appl. Phys. Lett.* **56**, 665 (1990).
- [7] T. Story, *Optoelectronic Properties of Semiconductors and Superlattices*, red. D. Khokhlov (Taylor and Francis Books Inc., New York, London 2003), t. 18, s. 385.
- [8] H. Ohno, *Science* **281**, 951 (1998).
- [9] T. Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J. Cibert, D. Ferrand, *Science* **287**, 1019 (2000).

# Rozmiarowe przemiany fazowe w nanokryształach

Paweł E. Tomaszewski

*Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, Wrocław*

---

## Size-driven phase transitions in nanocrystals

*Abstract:* Nanosized materials (nanoparticles, nanocrystals, quantum dots) have different properties than their conventional coarse-grained polycrystalline or bulk counterparts. The most characteristic feature of nanocrystals is the existence of the grain size-driven structural phase transitions. The literature data on such phase transitions are collected in the form of database. Different types of phase diagrams „grain size – temperature” are proposed and discussed.

---

## 1. Granice krystalografii i kryształów

Kryształy są materiałami wykazującymi zadziwiająca cechę – mają zbliżoną strukturę i własności fizyczne w zakresie aż dziesięciu rzędów wielkości: od rozmiaru kilku metrów do kilku nanometrów. Dlatego przyjmuje się, że badania wykonane dla małych kryształów dają pełną informację o cechach danego materiału w każdej skali. Oczywiście, ze względów technicznych pewne pomiary warto – lub w ogóle można – wykonać tylko dla małych próbek (o wielkości od 0,1 mm do 1 cm), z kolei dla niektórych materiałów trudno otrzymać wystarczająco duży kryształ. Stąd dążenie do badania coraz mniejszych próbek. Mamy też zarazem wewnętrzne przekonanie, że u granic mikroświata coś musi się jednak zmieniać. Trudno przypuszczać, że te najmniejsze kryształy są nadal takie same jak ich ogromni „bracia”. Gdzieś przecież musi być granica między kryształem a cząsteczką. Ile więc cząsteczek związku jest potrzebnych do utworzenia kryształu? Odpowiedź na to fundamentalne pytanie wymaga zastosowania właściwej definicji kryształu. Współczesna definicja, przyjęta w 1992 r. przez Komisję Kryształów Aperiodycznych Międzynarodowej Unii Krystalograficznej, mówi tak: „kryształem jest ciało stałe dające dyskretne widmo dyfrakcyjne”, czyli ostre maksima lub linie dyfrakcji braggowskiej [1].

W badaniach dyfrakcyjnych (rentgenowskich) na możliwie najmniejszym monokryształe daje się na razie zejść do wielkości  $0,02 \mu\text{m}^3$  (kulka molibdenu o średnicy  $0,33 \mu\text{m}$ ) [2]. Wprawdzie kilka lat później objętość „robocza” monokryształu zmalała do  $0,005 \mu\text{m}^3$ , ale dotyczyło to zdjęć Lauego kawałka złotej folii o średnicy 50 nm oświetlonej promieniowaniem synchrotronowym, a nie pojedynczego ziarna monokryształicznego. Dotychczas jeszcze tylko w jednym eksperymencie przekroczono umowną granicę nanokryształów – dla monokryształicznego drutu bizmutowego o średnicy 42 nm.

Oczywiście, pomiary na mniejszych kryształach są możliwe, ale tylko dla substancji sproszkowanych. Dziś znanych jest kilka wyników badań dyfrakcyjnych nanokryształicznych kropek kwantowych; wielkość ich ziaren oszacowano na 2–6 nm, a więc zawierają one zaledwie 20 komórek elementarnych. W ten sposób docieramy do granic możliwości nie tylko technicznych, ale i fizycznych.

Naturalną dolną granicą wielkości kryształów jest komórka elementarna. Warto zauważyć, że najmniejszą znaną nam komórkę elementarną ma kryształ deuteru  $\text{D}_2$ . Jej objętość to zaledwie  $10,51 \text{ \AA}^3$  przy parametrach sieciowych  $a = 1,964 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,145 \text{ \AA}$  dla symetrii heksagonalnej  $\text{P6}_3/\text{mmc}$ . Kryształ deuteru ma też najmniejszy znany parametr sieciowy –  $1,964 \text{ \AA}$ . Nieco większy parametr ma regularny beryl ( $2,168 \text{ \AA}$ ). Druga na liście jest komórka elementarna magnezu w fazie wysokociśnieniowej opisanej grupą przestrzenną  $\text{Im}\bar{3}\text{m}$  układu regularnego, która ma objętość  $12,09 \text{ \AA}^3$  i parametr sieciowy  $2,295 \text{ \AA}$ . Natomiast w warunkach normalnych najmniejszą komórkę ma kryształ  $\text{BeNi}$  –  $17,82 \text{ \AA}^3$  ( $a = 2,612 \text{ \AA}$  w układzie regularnym), który zajmuje dziewiątą pozycję na liście rekordzistów. Należy jednak zaznaczyć, że cytowane wyniki pochodzą z bazy danych strukturalnych ICSD (Inorganic Crystal Structure Database), a więc dotyczą tylko w pełni rozwiązanych struktur kryształów. Oczywiście, w badaniach niskotemperaturowych lub wysokociśnieniowych można uzyskać nieco lepsze wyniki, a więc mniejsze komórki i mniejsze parametry sieciowe. Nie zmienia to jednak zasadniczego faktu, że jedna komórka elementarna nie stanowi jeszcze kryształu – nie daje widma dyfrakcyjnego, o jakim mówi definicja kryształu. Potrzeba większej liczby komórek. Niemniej granica między cząsteczką i ciałem amorficznym a kryształem leży w zakresie wielkości wyrażanej nanometrami.

Podążając od drugiej strony – teoretycznej – pokazuje, że czytelny obraz dyfrakcyjny uzyskuje się dla wielu

komórek elementarnych. Ilu? Ich liczba zależy oczywiście od rodzaju materiału. Na przykład, dla zeolitu ZMS-5 jest to ziarno o średnicy 2–5 komórek elementarnych, czyli ok. 5–10 nm. W praktyce trudno rozróżnić pomiędzy stanem amorficznym a nanokrystalicznym dla ziaren w próbce polikrystalicznej mniejszych niż 2–3 nm. Poniżej tej wartości mamy już tylko ciało amorficzne niedające ostrego, wyraźnego efektu dyfrakcyjnego.

## 2. Nanomateriały

Od ponad 50 lat wiadomo, że wielkość ziaren materiału krystalicznego ma wpływ na własności fizyczne materiału. Jednak dopiero opracowanie wydajnych sposobów otrzymywania materiałów o krystalitach wielkości ok. 5 nm pozwoliło na podjęcie szeroko zakrojonych badań nanomateriałów. Okazało się wówczas, że takie materiały mogą wykazywać zupełnie nowe i nieznanne własności fizyczne [3], co otwiera nowe perspektywy ich zastosowania w katalizie, optoelektronice, do budowy baterii elektrycznych, ceramicznych błon do rozdzielania faz czy laserów o specjalnych właściwościach. Przyjęto, że materiały krystaliczne o średnicy ziaren poniżej 100 nm nazywane są układami nanometrycznymi, nanomateriałami, nanocząstkami, nanoklastami, nanoziarnami, nanokrystalitami czy kropkami kwantowymi, a nawet sztucznymi atomami.

Nanomateriały dzieli się na 3 zasadnicze grupy [4,5]:

a) materiały objętościowe mające w nanoobszarach strukturę istotnie różną od struktury właściwej dla danego materiału,

b) materiały nanoporowate, czyli materiały objętościowe zawierające pory o wielkościach nanometrycznych,

c) nanokrystały, czyli ultradrobne ziarna proszków; krystality mogą mieć przy tym różne kształty – od kulek przez cienkie płytki do prętów, rurek czy drutów.

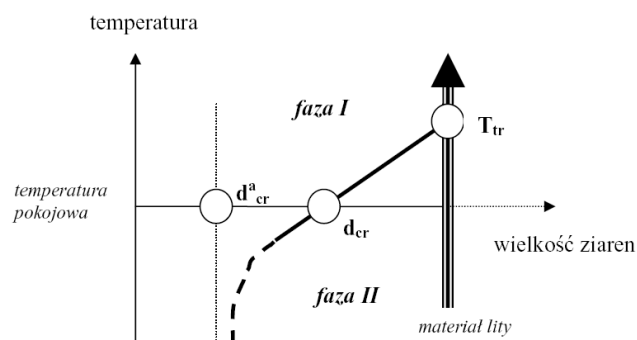
W niniejszym artykule ograniczę się do omówienia materiałów z trzeciej grupy o ziarnach mniej lub bardziej kulistych.

## 3. Przemiany fazowe indukowane wielkością krystalitów

Pojawienie się nowych własności krysztalów w skali nanometrycznej związane jest z wystąpieniem szczególnego rodzaju przemian fazowych. Już w połowie ubiegłego wieku stwierdzono ciekawą własność mikrokrystalicznego ferroelektryka KDP – pojawienie się fazy ferroelektrycznej w małych ziarnach (poniżej pewnej wielkości krytycznej) już w temperaturze pokojowej [6]. Przedtem fazę taką otrzymywano tylko w wysokich temperaturach. Dla nanokrystalitów odkryto takie zjawisko dużo później – w 1974 r. dla  $ZrO_2$  [7], a następnie dopiero w 1988 r. dla  $Fe_2O_3$  [8].

Strukturalne przemiany fazowe wywołane zmianą wielkości ziaren (krystalitów) w próbce, przez analogię do znanych przemian temperaturowych i ciśnieniowych, nazywane są rozmiarowymi przemianami fazowymi lub przemianami fazowymi indukowanymi wielkością krystalitów. W języku angielskim stosowane są m.in.

takie wyrażenia, jak „size-driven phase transition”, „grain size induced phase transition” itp. Skoro mamy już przemianę fazową i nowy parametr – wielkość ziarna, to można budować diagram fazowy „wielkość ziarna – temperatura przemiany fazowej”. Schemat takiego diagramu pokazano na rys. 1. Warto zaznaczyć, że znamy też kilka przykładów podobnych przemian występujących pod działaniem ciśnienia, a więc można dla nich budować diagram „wielkość ziarna – ciśnienie przemiany fazowej”.



Rys. 1. Schemat diagramu przemiany fazowej w nanokrystalach. Oś pozioma opisuje wielkość ziaren w próbce w temperaturze pokojowej. Linie ukośne (ciągła i przerywana) przedstawiają linię przemiany fazowej między fazami I a II. Termicznie indukowana przemiana fazowa zachodząca w kryształach litych w temperaturze  $T_{tr}$  oznaczona została kółkiem na pionowej strzałce z prawej strony wykresu. Kółka na osi poziomej wskazują na rozmiarową przemianę fazową dla ziaren o wielkości krytycznej  $d_{cr}$  oraz wartość pozorną wielkości krytycznej  $d_{cr}^a$ , do której asymptotycznie zbliża się linia przemiany fazowej (linia przerywana).

Linia ciągła na rys. 1 odpowiada linii przemiany fazowej i wskazuje na występowanie tzw. efektu rozmiarowego, a więc zależności temperatury przemiany fazowej od wielkości ziaren w próbce. Warto zauważyć, że oś pozioma na diagramie, odpowiadająca rozmiarowi ziaren w temperaturze pokojowej, ma dwa ograniczenia. Z prawej strony diagramu naturalnym końcem jest rozmiar odpowiadający kryształowi objętościowemu (litemu). Dlatego w tym miejscu pojawia się na diagramie strzałka pokazująca temperaturową zależność występowania faz dla takiego „zwykłego” kryształu. Naturalnym ograniczeniem lewej strony diagramu jest taka wielkość krystalitu, przy której materiał zachowuje jeszcze własności krystaliczne. Poniżej tej wielkości mamy już tylko ciało amorficzne. Wielkość ta jest różna dla różnych materiałów i stanowi ciekawy temat do analizy, kiedy kryształ przestaje być kryształem. Warto zauważyć, że w niektórych pracach autorzy zapominają o tym ograniczeniu i beztrudno podają, że otrzymali nanokrystały o rozmiarach... jednej komórki elementarnej! To już na pewno nie są kryształy.

Jeśli linia przemiany fazowej przecina oś poziomą diagramu, to mówimy o istnieniu w tym miejscu tzw. krytycznego rozmiaru ziarna  $d_{cr}$ , poniżej którego mamy już inną fazę badanego kryształu. Czasami warto rozwa-

zać jeszcze jedną wielkość charakterystyczną – pozorny (apparent) rozmiar krytyczny  $d_{cr}^a$  będący granicznym rozmiarem, do którego w sposób asymptotyczny zbliża się linia przemiany fazowej. Nie każdy materiał może wykazywać istnienie obu tych wielkości krytycznych równocześnie.

#### 4. Diagramy fazowe „wielkość ziarna – temperatura przemiany”

Wyróżnić można kilkanaście typów diagramów fazowych „rozmiar ziaren – temperatura przemiany fazowej” oznaczanych symbolami A1–E3. Różnią się one położeniem linii przemiany fazowej względem osi poziomej – mogą ją przecinać, leżeć powyżej lub poniżej tej osi. Mogą też mieć różne nachylenie (dodatnie lub ujemne). Znane są 44 kryształy wykazujące 51 rozmiarowych przemian fazowych obserwowanych w temperaturze pokojowej i po siedem kryształów z przemianami występującymi w wysokich lub niskich temperaturach. Dwa typy diagramów są najczęściej obserwowane w przyrodzie.

Nie zawsze zmieniając (zmniejszając) rozmiar ziaren, poszukujemy takiej ich wielkości, przy której pojawia się faza znana z innych warunków termicznych (fazy wyżej lub niżej temperaturowe). Czasem pojawiają się dotychczas nieznanne fazy.

Są też szczególne rodzaje diagramów, w których nachylenie krzywej przemian fazowych wyklucza istnienie rozmiarowej przemiany fazowej w temperaturze pokojowej. Dla poprawnego określenia typu diagramu konieczne są w tej sytuacji badania temperaturowe dla próbek o różnych wielkościach ziaren.

Nietypowe zachowanie kolejności faz w nanokryształach (gdy dla małych ziaren mamy fazę znaną dla dużego kryształu w temperaturze pokojowej, a dla większych kryształitów – fazę wysokotemperaturową) można wytłumaczyć istnieniem jeszcze jednej przemiany rozmiarowej, dotychczas nie wykrytej. Poszukiwanie „brakującej” przemiany fazowej może stanowić ciekawy temat do badań.

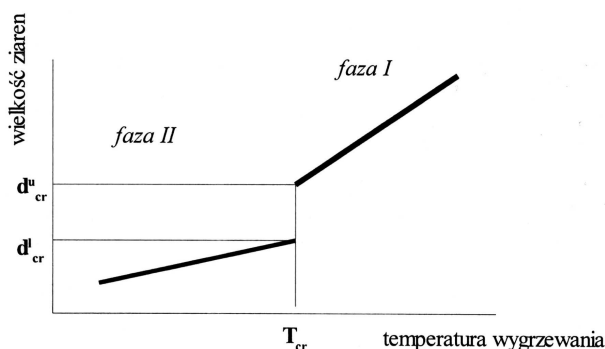
#### 5. Baza danych

Przegląd dostępnej literatury doprowadził do znalezienia 67 rozmiarowych przemian fazowych stwierdzonych w 56 kryształach. Pełna lista opublikowana została w *Ferroelectrics* [3]; znajdzie się też w nowym wydaniu *Bazy strukturalnych przemian fazowych PTDB*, które opracowuje autor artykułu.

Ciekawa jest analiza rozkładu wielkości krytycznych rozmiarów ziaren. Tylko dla sześciu nanokryształów mamy wielkości mniejsze niż 5 nm, cztery dalsze mają rozmiar krytyczny mniejszy od 10 nm. Jeśli jednak spojrzymy na względną wielkość ziaren wyrażoną liczbą komórek elementarnych, to okazuje się, że przemiany fazowe nie występują dla ziaren mniejszych niż rozmiar liniowy odpowiadający siedmiu komórkom elementarnym. Czyżby była to jakaś wielkość materiałowa, krytyczna?

#### 6. Nowy parametr – temperatura wygrzewania

Istnieje też możliwość nieco innego pokazania rozmiarowych przemian fazowych. Otóż duża część materiałów z takimi przemianami fazowymi otrzymywana była metodą Pechiniego [9], w której parametrem regulującym wielkość uzyskiwanych kryształitów jest temperatura wygrzewania próbek. Wiadomo – im wyższa temperatura wygrzewania, tym większe są kryształity i tym bardziej przypominają własnościami materiał lity (objętościowy). Dla wielu materiałów zauważyć można nieciągłość przebiegu krzywej wielkości ziaren w zależności od temperatury wygrzewania występującą dla temperatury krytycznej  $T_{cr}$ . Należy wtedy rozpatrywać dwie krytyczne wielkości ziaren: górną  $d_{cr}^u$  i dolną  $d_{cr}^l$  (rys. 2). Taka zależność „temperatura wygrzewania – wielkość ziaren” dla dwóch kryształitów badanych w naszym laboratorium przedstawiona została na rys. 3 i 4.



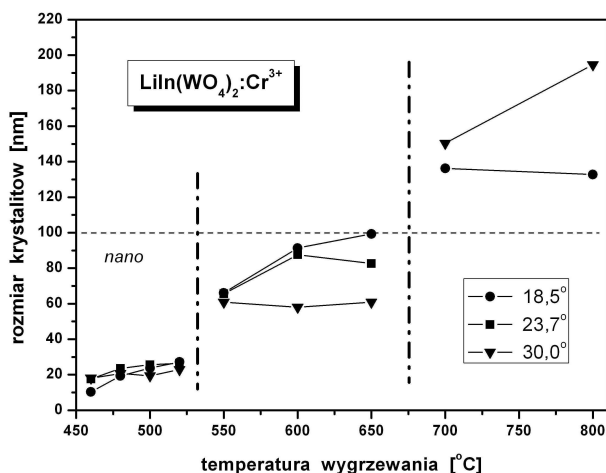
Rys. 2. Zależność wielkości kryształitów od temperatury wygrzewania w metodzie Pechiniego w okolicy rozmiarowej przemiany fazowej. Krytyczne wielkości ziaren i temperatura  $T_{cr}$  opisane są w tekście.

Anomalie występujące na krzywej wielkości kryształitów zostały zaznaczone pionowymi przerywanymi liniami wskazującymi na rozmiarowe przemiany fazowe. Nie zawsze możliwe jest w miarę dokładne określenie temperatury  $T_{cr}$ , dla której obserwuje się zmianę fazy.

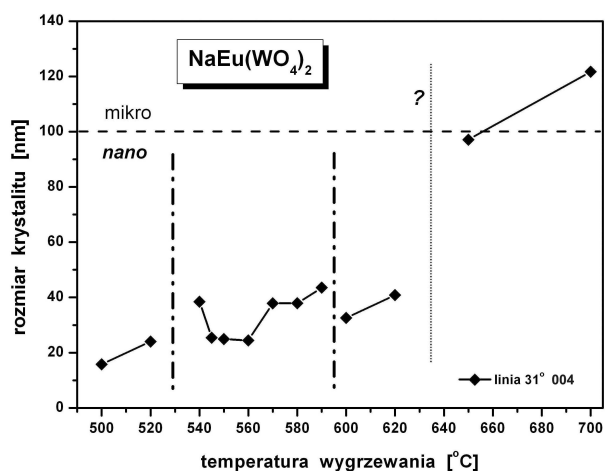
#### 7. Czas wygrzewania próbek i nowy diagram fazowy

Nie należy zapominać o jeszcze jednym parametrze, który ma istotny wpływ na materiał otrzymywany metodą Pechiniego – czasie wygrzewania próbek w określonej temperaturze. W zasadzie im dłuższy czas wygrzewania, tym większe powstają ziarna, a w konsekwencji można uzyskać inną fazę nanokryształiczną danego materiału. Fragmentaryczne dane dla różnych czasów wygrzewania próbek nanokryształów  $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2:\text{Cr}^{3+}$  przedstawione zostały na rys. 5. Mamy tu co najmniej trzy różne fazy kryształiczne. Znaczkę do połowy zaczerpnione występujące w lewej stronie diagramu dotyczą faz o trudnym do zidentyfikowania składzie lub strukturze.

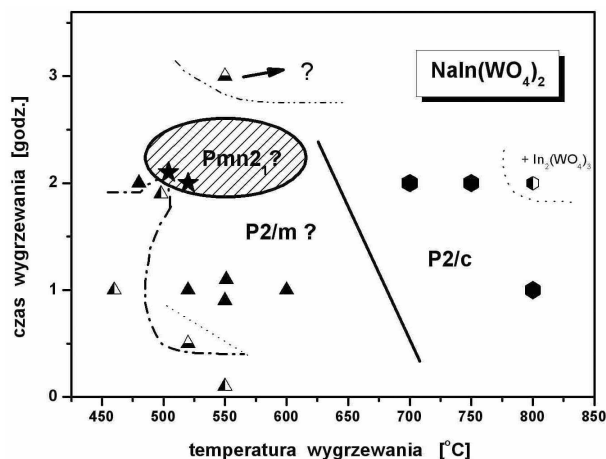




Rys. 3. Wielkość krystalitów nanokryształów  $\text{LiIn}(\text{WO}_4)_2:\text{Cr}^{3+}$  otrzymanych metodą Pechiniego i wygrzewanych w różnych temperaturach. Pionowe linie oznaczają temperatury przemian fazowych indukowanych rozmiarem ziaren w próbce. Obliczenia wielkości ziaren wykonane zostały dla trzech różnych linii dyfrakcyjnych, aby pokazać rosnący stopień anizotropii kształtu ziaren. Trzecia linia dla danych w 700 i 800 °C znajduje się na poziomie ok. 500 nm, wskazując na silną anizotropię kształtu ziaren w tej fazie. Pozioma przerywana linia wskazuje na umowną granicę między nanokryształami (poniżej linii) a mikrokryształami.



Rys. 4. Wielkość krystalitów nanokryształów  $\text{NaEu}(\text{WO}_4)_2$  otrzymanych metodą Pechiniego. Obliczenie wykonano dla linii braggowskiej 004 przy kącie  $2\theta$  równym  $31^\circ$ .



Rys. 5. Diagram fazowy „temperatura wygrzewania – czas wygrzewania” dla nanokryształów  $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2:\text{Cr}^{3+}$ . Znak zapytania dotyczy niepewności położenia znaku graficznego dla próbki poddanej samozapłonowi (gdy temperatura wygrzewania była nieokreślona).

Autor pragnie podziękować Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za finansowe wsparcie prac w ramach grantu nr 1 P03B 078 29.

## Literatura

- [1] B.A. Cipra, *SIAM News* **31**, zes. 1 (1998).
- [2] K. Oshumi, K. Hagiya, A. Ohmasa, *J. Appl. Crystallogr.* **24**, 340 (1991).
- [3] P.E. Tomaszewski, *Ferroelectrics* **375**, 1 (2008).
- [4] S.J.L. Billinge, I. Levin, *Science* **316**, 561 (2007).
- [5] S.J.L. Billinge, *Z. Kristallogr. Suppl.* **26**, 17 (2007).
- [6] C. Jaccard, W. Känzig, M. Peter, *Helv. Phys. Acta* **26**, 521 (1953).
- [7] T. Mitsuhashi, M. Ichihara, U. Taksuke, *J. Am. Ceram. Soc.* **57**, 97 (1974).
- [8] P. Ayyub i in., *J. Phys. C: Solid State Phys.* **21**, 2229 (1988).
- [9] M.P. Pechini, amerykański patent zgłoszony w 1963 r.: US 3 330 697 (1967), DE 1 217 836 (1966), FR 1 434 138 (1966), GB 1 090 361 (1967), NL 6409880 (1965).



Dr PAWEŁ E. TOMASZEWSKI ukończył studia z fizyki na Uniwersytecie Wrocławskim. Pracuje w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu. Zajmuje się krytalografią przemian fazowych, ostatnio badaniami wysokociśnieniowymi. Opracował stale uzupełnianą bazę danych o strukturalnych przemianach fazowych – PTDB. Jest autorem szeregu opracowań o życiu i działalności prof. Jana Czochralskiego.

# Mity kopernikańskie\*

Mano Singham

University Center for Innovation in Teaching and Education, Case Western Reserve University, Cleveland, USA

---

## The Copernican myths

*Abstract:* The real story of how the scientific and religious establishments greeted the Copernican revolution is quite different from the folklore. And it is a lot more interesting.

---

Jedną z najśłynniejszych rewolucji naukowych była związana z działalnością Mikołaja Kopernika (1473–1543). Popularna wersja przebiegu wydarzeń jest następująca.

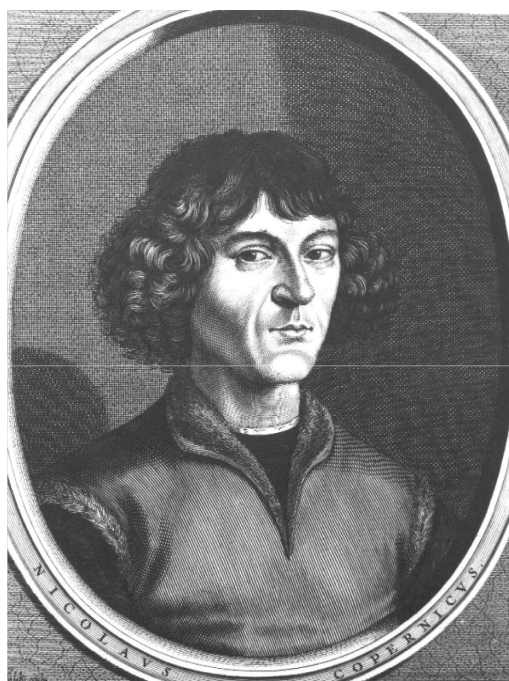
Starożytni Grecy, choć byli wielkimi filozofami i potrafili dobrze opisywać ruchy gwiazd oraz planet, mieli tendencję do tworzenia modeli Wszechświata, na które bardziej wpływały rozważania filozoficzne, estetyczne i religijne niż obserwacje i doświadczenia. Koncepcja, że nieruchoma Ziemia znajduje się w środku Wszechświata, a gwiazdy i planety umieszczone są na obracających się wokół niej sferach, odpowiadała im, ponieważ okrąg i sfera były najdoskonalszymi kształtami geometrycznymi.

W czasach chrześcijańskich model ten podobał się wierzącym, ponieważ dawał istotom ludzkim – szczególnie stworzeniom bożym – poczucie dostojności. Prestiż filozofów greckich, takich jak Arystoteles, był tak wielki, a przywiązanie do doktryny religijnej tak silne, że wielu uczonych uparcie próbowało utrzymać astronomię ptolemejską mimo rosnącej złożoności systemu epicykli, które należało uwzględnić, aby system pracował choćby względnie dobrze.

Tak więc, gdy Kopernik zaproponował poprawny system heliocentryczny, Kościół rzymskokatolicki zaczął ostro sprzeciwiać się jego ideom, ponieważ usunęły one Ziemię ze środka Wszechświata, co było postrzegane zarówno jako degradacja istot ludzkich, jak i sprzeczność z nauką Arystotelesa. Dlatego też Inkwizycja prowadziła śledztwa, torturowała, a nawet zabijała tych, którzy popierali idee kopernikańskie.

Z powodu przywiązania Kościoła do dogmatów filozoficznych i religijnych postęp naukowy opóźnił się o całe tysiąclecie. Dopiero późniejsze prace Tycho Brahe (1546–1601), Johanesa Keplera (1571–1630), Galileusza (1564–1642) oraz Isaaca Newtona (1642–1727) doprowadziły ostatecznie do uznania koncepcji heliocentrycznej.

Różne odmiany tej pełnej animuszu wersji historii Kopernika często spotyka się w podręcznikach [1]. Ile jest w nich prawdy? Poza ostatnim zdaniem poprzedniego akapitu, prawdy jest w nich niewiele. Ale stanowią one dobry przykład tego, jak naukowy folklor może wyprzeć prawdziwą historię.



Mikołaj Kopernik (1473–1543) (dzięki uprzejmości AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Rozpocznijmy od mitu głoszącego, że sprzeciwiano się modelowi kopernikańskiemu, ponieważ zadawał on cios ludzkiej dumie przez detronizację Ziemi z uprzywilejowanej pozycji w środku Wszechświata. Dennis Danielson w znakomitym artykule mówiącym o tych sprawach [2] pokazuje, cytując wybitnego genetyka Theodosiusa Dobzhansky'ego, jak rozpowszechnione są takie poglądy. Dzięki Kopernikowi, stwierdza Dobzhansky, „Ziemia została zdezonizowana z przypisywanego jej centralnego położenia i wyjątkowości”. Carl Sagan opisał system kopernikański jako pierwszą w serii „Wielkich Degradacji (...) które zadały cios ludzkiej dumie”. Astronom Martin Rees napisał: „Upłynęło ponad 400 lat od czasu, gdy

---

\* Artykuł opublikowany w *Physics Today* 60, zes. 12, 49 (2007) został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy. [Translated with permission. Copyright © 2007 American Institute of Physics]

Kopernik zdezonizował Ziemię z uprzywilejowanej pozycji, przyznanej jej przez kosmologię Ptolemeusza”. A Zygmunt Freud zauważył, że Kopernik wywołał furję, uderzając w „nawne samouwielbienie” ludzkości.

### Nędzna sutereka

Danielson wskazuje jednak, że na początku XVI w. środek Wszechświata nie był uważany za atrakcyjne miejsce pobytu. „W większości średniowiecznych interpretacji kosmologii arystotelesowskiej i ptolemejskiej położenie Ziemi w środku Wszechświata nie było uważane za dowód jej ważności lecz (...) jej dużych rozmiarów”.

W rzeczy samej, starożytni i średniowieczni uczeni arabscy, żydowscy oraz chrześcijańscy uważali, że środek jest najgorszą częścią Wszechświata, rodzajem nędznej sutereki, gdzie zbierają się wszelkie nieczystości. Jeden ze średniowiecznych autorów opisał miejsce, w którym znajduje się Ziemia, jako „pokrytą ekskrementami paskudną część niższego świata”. Inny twierdził, że my, ludzie, „tkwimy w brudzie i nieczystościach świata, przykuci do najgorszej jego części, na najniższym poziomie domostwa, najdalej od niebiańskiego łuku”. W roku 1615 kardynał Robert Bellarmine, słynny oskarżyciel Galileusza, powiedział, że „Ziemia jest bardzo odległa od niebios i spoczywa nieruchomo w środku świata” [2].

W *Boskiej komedii* Dantego samo piekło mieści się w najgłębszym rdzeniu Ziemi. Dante mówi również o piekle w sposób zgodny z dynamiką arystotelesowską – nie jako pełnym płomieniem, które zostałyby wypchnięte do góry przez cięższą Ziemię, ale jako zimnym i pozostającym w bezruchu. Natomiast niebo było w górze; im wyżej, im dalej od środka, tym było lepiej. Tak więc Kopernik, umieszczając Słońce w środku, a Ziemię na jego orbicie, w istocie poprawiał sytuację jej mieszkańców, zbliżając ich do nieba.

Kiedy i dlaczego historia uległa zniekształceniu? Danielson nie pokazuje dokładnie, kiedy błędne poglądy wzięły górę. Ale twierdzi, że poczynając od roku 1650 można znaleźć autorów głoszących takie rewizjonistyczne poglądy. Pod koniec XVIII w. zostały one całkowicie zaakceptowane. Na przykład, Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832) pisał: „Być może żadne odkrycie lub wyrażona opinia nie wywarły większego wpływu na ludzkiego ducha niż nauka Kopernika. Ledwie uznano, że Ziemia jest okrągła, a jej powierzchnia ograniczona, a zaraz musiała ona zrezygnować z wielkiego przywileju, jakim było położenie w środku świata”. Goethemu udało się tutaj rozpowszechnić inne jeszcze zniekształcenie: pogląd, że przed Kopernikiem (i Kolumbem) nie wiadomo o tym, że Ziemia jest kulą [3,4].

### Kosmologia Arystotelesa

Nawet Arystoteles nie wierzył w to, że Ziemia jest środkiem Wszechświata. Sądził, że znajduje się ona raczej w jego środku. To subtelne rozróżnienie nie wynikało z dogmatów religijnych lub przekonania o ważności rodzaju ludzkiego, ale z argumentów natury fizycznej: w kosmologii arystotelesowskiej Wszechświat był skończony,

a niebiosa znajdowały się poza jego najbardziej zewnętrzną sferą. Ten Wszechświat miał środek – zdefiniowany jako środek wielkiej zewnętrznej sfery, w której osadzone były gwiazdy – i materia była przyciągana w jego kierunku. W takiej kosmologii pojęcia „góry” i „dołu” były dobrze określone. „W dół” oznaczało w stronę środka Wszechświata, a „w górę” – od środka, w stronę sfery zawierającej gwiazdy.

Żywiołami były ziemia, powietrze, woda oraz ogień i każdy z nich miał naturalną skłonność do znajdowania się w określonym miejscu Wszechświata. Z faktu, że kamienie spadają na Ziemię, miało wynikać, że Ziemia, będąc ciężką, jest przyciągana w stronę środka. Wznoszące się do góry płomienie miały dowodzić, że ogień, jako lekki, jest przyciągany w stronę niebios. Model ten tłumaczył wiele zjawisk, takich jak spadek na Ziemię ciał pozbawionych podparcia, oraz dlaczego powierzchnia Ziemi ma kształt kulisty. Tłumaczył on również, dlaczego Ziemia miała spoczywać nieruchomo w środku. Aby mogła się ona poruszyć z miejsca, musiałaby istnieć przyczyna, która poruszyłaby ją ze środka, a żaden taki czynnik nie był znany.

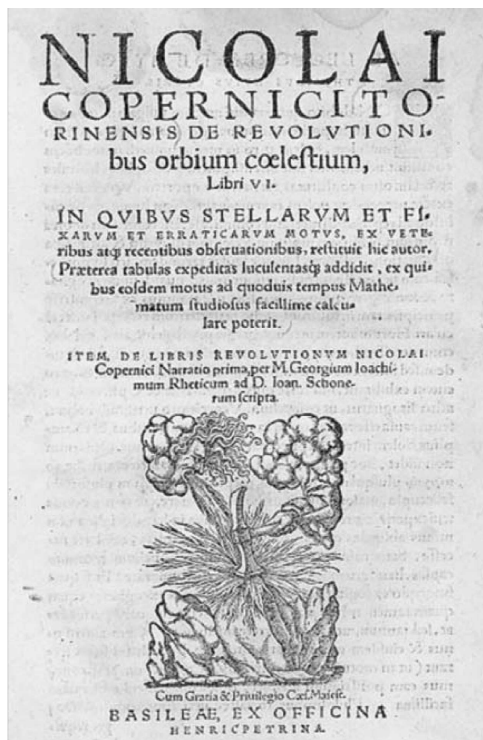
W swej książce *The Copernican Revolution* historyk Thomas Kuhn zauważył, że Arystoteles wyraźnie sądził, że Ziemia znajduje się w środku Wszechświata nie dlatego, że jest szczególnie ważna, ale dlatego, że jest ciężka. „Tak się składa, że Wszechświat i Ziemia mają ten sam środek, gdy ciała niebieskie poruszają się w stronę środka Ziemi, ale jest to okoliczność przypadkowa, ponieważ środek Ziemi pokrywa się ze środkiem Wszechświata” [5].

### Problemy heliocentryzmu

Z drugiej strony, heliocentryczny model Kopernika stwarzał całe mnóstwo problemów. Wymagał, aby Ziemia się poruszała, ale nie tłumaczył, jaka przyczyna powoduje ruch od środka. Jeżeli Ziemia nie spoczywała nieruchomo w środku, ale jej orbita była jedną z wielu orbit planetarnych, to jak wtedy można by zdefiniować kierunki „góra” i „dół”? Dlaczego ciała spadają „w dół”, skoro Ziemia nie znajduje się w środku Wszechświata? Czy obiekty rzucone w górę mogą spaść na to samo miejsce, jeżeli Ziemia nie jest w spoczynku? Ziemię nadal uważano za najbardziej masywny obiekt we Wszechświecie. Jeżeli nie była ona jednak przyciągana do ustalonego punktu w środku, to czy stąd miało wynikać, że Wszechświat w ogóle nie ma środka? Czy mogłoby to oznaczać, że Wszechświat jest nieskończony?

Kuhn twierdzi, że istniały bardzo dobre powody do odrzucenia parweniusza Kopernika i pozostania przy kosmologii arystotelesowskiej i jej realizacji w astronomii ptolemeuszowskiej. Zaakceptowanie modelu Kopernika nie byłoby prostym zastąpieniem jednego modelu astronomicznego przez drugi. Oznaczałoby to również, że cała klasa problemów fizycznych, które uważano za rozwiązane, okazałaby się nagle nierozwiązana. Tak więc wiele początkowego oporu pochodziło raczej ze społeczności fizyków i astronomów niż z Kościoła.

W rzeczywistości znajomość prac Kopernika początkowo była ograniczona do społeczności astronomów. Tylko oni byli zainteresowani poprawą w obliczaniu ruchów planet. Kopernika powszechnie szanowano jako jednego z czołowych europejskich astronomów, a doniesienia o jego pracach, włącznie z hipotezą heliocentryczną, były znane już od roku 1515. Tak więc gdy 28 lat później opublikowano *De revolutionibus orbium coelestium*, nie było ono bynajmniej niespodzianką dla astronomów. Przyjęli je jako najpełniejszy od czasów Ptolemeusza opis ruchów ciał niebieskich.



Strona tytułowa dzieła *De Revolutionibus orbium coelestium* Kopernika z roku 1566 wydanego w Bazylei. Pierwsze wydanie pracy miało miejsce w roku 1543, na kilka miesięcy przed śmiercią autora.

Większość astronomów uważała jednak, że system ptolemejski, choć skomplikowany, może w ostateczności dać dobre wyniki. Tak więc, mimo iż chwalili oni prace Kopernika i używali jego tablic oraz metod, byli sceptycznie nastawieni do zasadniczej idei poruszającej się Ziemi. Odrzucali ją jako sztuczkę *ad hoc* (podobnie jak wiele stuleci później traktowano początkowo hipotezę kwantów Plancka), która okazała się przydatnym narzędziem do prowadzenia obliczeń. Idea, że ruch opisany jakimś sztucznym modelem był wygodną fikcją, nie była niczym nowym. Sam Ptolemeusz twierdził, że nie wszystkie z jego epicykli trzeba uważać za fizycznie rzeczywiste. Niektóre z nich należało jedynie traktować jak narzędzia matematyczne, które pozwalały uzyskać rozsądne wyniki.

W początkowym okresie system kopernikański nie dawał jednak lepszych wyników numerycznych niż pto-

lemejski. Część problemów brała się stąd, że niektóre z istniejących obserwacji astronomicznych były po prostu błędne, co było plagą zarówno dla systemu kopernikańskiego jak i ptolemejskiego. Chociaż lepsze obserwacje niebawem wyeliminowały część tych problemów, inne trwały uparcie przez długi czas. Co więcej, na poziomie dokładności, którym dysponował Kopernik, wprowadzenie orbit eliptycznych zamiast kołowych nic by nie pomogło. Kopernik powinien był, według historyka Owena Gingericha, „traktować Ziemię i Merkurego w taki sam sposób jak pozostałe planety”.

Kuhn pisze o Koperniku: „Jego pełny system był tylko nieznacznie, o ile w ogóle, mniej nieporęczny niż system Ptolemeusza. Oba używały ponad trzydziestu okręgów, a pod względem ekonomii obliczeń żaden z tych systemów nie był lepszy. Żaden z nich nie wyróżniał się dokładnością. Gdy Kopernik zakończył dodawanie okręgów, jego nieporęczny system ze Słońcem w środku dawał wyniki równie dokładne jak system Ptolemeusza, ale nie dawał dokładniejszych. Kopernikowi nie udało się rozwiązać problemu planet” [5].

## Zalety modelu kopernikańskiego

Model kopernikański posiadał pewne zalety estetyczne i jakościowe. Dostarczał on bardziej naturalnych wyjaśnień jakościowych zygakowatego ruchu takich planet jak Mars obserwowanych z Ziemi, oraz udzielał odpowiedzi na niektóre ważne pytania o ich kolejność. Właśnie dlatego ostatecznie przyjął się system heliocentryczny. Jak stwierdza Kuhn: „*De revolutionibus* przekonały kilku następców Kopernika, że astronomia oparta na centralnym położeniu Słońca dostarcza klucza do rozwiązania problemu planet i to ci właśnie ludzie ostatecznie podali proste i skuteczne rozwiązanie, którego poszukiwał Kopernik” [5].

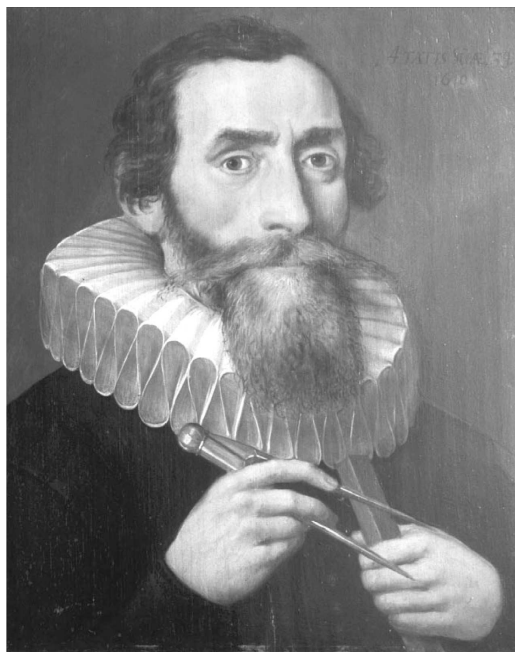
Jest to bardzo ważna uwaga dotycząca rewolucji naukowych. Na początku nowa teoria rzadko daje przekonująco lepsze wyniki niż jej poprzedniczka. Zwykle dzieje się tak dlatego, że jest ona atrakcyjna, często z estetycznego punktu widzenia, co przyciąga innych badaczy do pracy nad nowym modelem. I jeżeli z upływem czasu okaże się on owocny w rozwiązywaniu wielu zagadek, to zyskuje zwolenników [6].

W osiągnięciu sukcesu modelowi kopernikańskiemu pomogły prace duńskiego astronoma Tychona Brahe, zmarłego kilka lat przed wynalezieniem teleskopu. Tycho jest uważany za największego z astronomów prowadzących obserwacje gołym okiem. Jego precyzyjne i różnorodne obserwacje wywarły olbrzymi wpływ na astronomię.

Chociaż czołowa rola Tychona jest powszechnie uznawana, to jednak mniej znany jest fakt, że – podobnie jak większość ówczesnych astronomów – odrzucał on kopernikańską ideę ruchomej Ziemi. Uważał, że podejście to stwarza więcej problemów, niż rozwiązuje. Ale pomimo sprzeciwu Tychona jego obserwacje dostarczyły dwóch ważnych argumentów wspierających model heliocentryczny. Poprawiły one błędne stare dane, które szkodziły modelom wcześniejszym, i w ten sposób pomogły usunąć część



anomalii, których system kopernikański nie umiał wytłumaczyć. Jeszcze ważniejsze jest to, że dokładność danych Tychona dostarczyła zagadek, które umożliwiły Keplerowi, właśnie nawróconemu na system kopernikański, zaproponowanie głównej idei mówiącej, że orbity planet nie są kołowe – jak zakładali Ptolemeusz, Kopernik i Tycho – ale eliptyczne.



Johannes Kepler (1571–1630) w wieku 39 lat (dzięki uprzejmości Obserwatorium Kremsmünster)

W folklorze otaczającym Kopernika wprowadzenie orbit eliptycznych uważane jest słusznie za kluczowy krok, który w ostateczności doprowadził do uznania modelu. O astronomach przedkeplerowskich niesłusznie mówi się, że nalegali na ruch kołowy z powodu rozważań estetycznych, niewolniczego przywiązania do autorytetu Greków i tak dalej. Ale w owym czasie powody przyjmowania ruchu kołowego były całkiem rozsądne. Ponieważ nie istniały wtedy żadne dobre teorie ani grawitacji, ani działających sił, trzeba było jakoś wytłumaczyć zjawisko ruchu. Ruch po okręgu można było wyjaśnić za pomocą pozornych argumentów. Można było powiedzieć, że takie były warunki początkowe – że jeżeli raz nadano obiektowi ruch po okręgu, to gdy nie będzie się mu przeszkadzać, będzie się poruszał tak w nieskończoność.

Bardziej skomplikowane ruchy, takie jak po orbicie eliptycznej, oznaczałyby, że prędkości planet i ich odległości od Słońca nieustannie by się zmieniały. Ale wyjaśnienie tego wymagałoby teorii dynamicznej, która po prostu nie istniała w tych przednewtonowskich czasach. Już samo wprowadzenie idei poruszającej się Ziemi powodowało pojawienie się wielu problemów nierozwiązalnych dla ówczesnych teorii fizycznych. Dodanie ruchu innego niż po kole zwiększyłoby te problemy, dostarczając

jeszcze silniejszych powodów dla odrzucenia teorii Kopernika.

Innowacyjny pomysł eliptycznych orbit Keplera w połączeniu z jego prawem stałych pól pozwolił modelowi kopernikańskiemu pozbyć się nieporęcznych epicykli. Ale jego dokładne *Tablice rudyfńskie* zawierające dane ruchów planetarnych, opublikowane w roku 1627, były trudne w użyciu. Dopiero teorie ruchu i grawitacji Newtona, opublikowane 60 lat później, rozstrzygnęły kwestię na korzyść Kopernika, dając jego modelowi solidne podstawy teoretyczne.



Galileo Galilei (1564–1642) wg rysunku Ottavia Leoniego ok. roku 1624

## Obiekcje kręgów religijnych

Faktyczna reakcja kręgów kościelnych na model heliocentryczny również była inna, niż głosi folklor. Z jednej strony, wydaje się, że Kopernik nie obawiał się opozycji kół kościelnych wobec swoich pomysłów. Przeciwnie sam był szanowanym duchownym, zadedykował nawet swoją książkę papieżowi Pawłowi III, wyrażając w liście skruczę z powodu zaproponowania tak niecodziennego pomysłu – poruszającej się Ziemi. Tłumaczył, że był zmuszony przyjąć tę hipotezę na skutek nieprzydatności systemu ptolemejskiego do sporządzania kalendarzy i przewidywania położenia gwiazd. Wśród tych, którzy nalegali, aby opublikował swą księgę, znajdowali się i kardynał, i biskup. W rzeczywistości, przez 60 lat po śmierci Kopernika, która nastąpiła dwa miesiące po ukazaniu się *De revolutionibus*, księga ta była czytana i przynajmniej częściowo używana do nauczania na czołowych katolickich uniwersytetach.

W roku 1600 Kościół spalił na stosie filozofa Giordana Bruna, zwolennika Kopernika. Ale Bruno został skazany za inne herezje przeciw doktrynie chrześcijańskiej, a nie za bycie kopernikaninem. Jednak fakt, że Bruno był

adwokatem i popularyzatorem heliocentryzmu mógł doprowadzić później do przekonania, że był on pierwszym męczennikiem nowej nauki.



Giordano Bruno, spalony na stosie jako heretyk w roku 1600, został uhonorowany w roku 1887 wzniesieniem widocznego na zdjęciu pomnika, umieszczonego w miejscu egzekucji na rzymskim Campo dei Fiori. Choć Bruno został skazany przez Inkwizycję przede wszystkim za herezje teologiczne, a nie za popieranie heliocentryzmu, jest dziś szeroko uważany za pierwszego męczennika rewolucji naukowej.

Przez wiele lat po opublikowaniu *De revolutionibus*, gdy idee Kopernika znane były wyłącznie w społeczności matematyczno-astronomicznej, autorzy popularnych książek na temat astronomii i kosmologii nie znali jego pracy albo też woleli ją ignorować. Kilku nieastronomów ją wyśmiewało – nie dlatego, że była heretycka, ale z powodu „ewidentnie absurdalnej” idei poruszającej się Ziemi.

Dopiero dzięki popularyzatorom, wśród których byli też poeci, idee Kopernika ostatecznie stały się szerzej znane i zaczęły wywoływać opozycję kręgów kościelnych. Ale i pod tym względem przebieg wydarzeń był zadziwiający. Sprzeciw początkowo pojawił się wśród grup protestanckich, a nie ze strony Kościoła rzymskokatolickiego.

Kuhn sugeruje, że stało się tak dlatego, że Marcin Luter (1483–1546) i inni przywódcy Reformacji podkreślali rolę Biblii jako podstawowego źródła wiedzy chrześcijańskiej i autorytetu. A pomiędzy Biblią a Kopernikiem sprzeczności były wyraźne. Kościół katolicki, koncentrując się raczej na kwestiach doktrynalnych, wykazywał więcej elastyczności wobec nauki.

Luter wypowiadał się przeciwko heliocentryzmowi w roku 1539, twierdząc, że idea Ziemi poruszającej się

wokół nieruchomego Słońca stoi w wyraźnej sprzeczności z zawartością księgi Jozuego mówiącej, że Jozue rozkazał Słońcu się zatrzymać. Bliski współpracownik Lutra, Filip Melanchton, znalazł inne wersety biblijne opisujące Ziemię jako nieruchomą.

Konflikt między Pismem a kopernikanizmem nie ograniczał się do wersetów mówiących o ruchu Ziemi lub Słońca. Rosło przekonanie, że akceptacja kopernikanizmu powodowała także inne głębokie trudności teologiczne. Jak twierdzi Kuhn, liczba problemów narastała.

Gdyby traktować ją poważnie, propozycja Kopernika sprawiała wierzącemu chrześcijaninowi wiele gigantycznych problemów. Skoro np. Ziemia była tylko jedną z sześciu planet, to jak byłoby można utrzymać historie Upadku i Zbawienia wraz z ich wielkim wpływem na życie chrześcijańskie? Skoro istniały inne ciała niebieskie istotnie podobne do Ziemi, to dobroć Boga zapewne spowodowałaby, że byłyby one również zamieszkałe. Ale jeżeli na innych planetach żyliby ludzie, to w jaki sposób mogliby oni być potomkami Adama i Ewy i jak mogliby odziedziczyć grzech pierworodny? (...) I jak mogliby ludzie z innych planet dowiedzieć się o Zbawicielu, który otworzył przed nimi możliwość życia wiecznego? Ponadto, skoro Ziemia jest planetą, a zatem ciałem niebieskim umieszczonym z dala od środka Wszechświata, to co w takim razie dzieje się z pośrednim, lecz bardzo ważnym położeniem człowieka w pół drogi pomiędzy diabłami a aniołami? Jeżeli Ziemia jako planeta uczestniczy w naturze ciał niebieskich, to nie może być zbiornikiem nieprawości, z którego mieszkaniec – człowiek – marzy o wydostaniu się do boskiej czystości niebios. Niebiosa nie mogą również być odpowiednim mieszkaniem Boga, jeżeli uczestniczą w złu i niedoskonałościach, tak jasno widocznych na planecie Ziemi. A co najgorsze, jeżeli Wszechświat byłby nieskończony, jak sądziło wielu późniejszych następców Kopernika, to gdzie mógłby mieścić się Boży Tron? Jak człowiek może znaleźć Boga, a Bóg człowieka w nieskończonym Wszechświecie? [5].

Z upływem czasu idee Kopernika zaczęły być postrzegane jako poważne zagrożenie dla chrześcijaństwa, należało się więc im sprzeciwić. Wkrótce Biblia stała się główną bronią w walce z Kopernikiem. Protestanci oraz katolicy kapłani w XVII w. zaczęli ją przeszukiwać celem znalezienia w niej amunicji. Zwolenników Kopernika zaczęto nazywać niewiernymi oraz ateistami i domagano się poddania ich represjom. Ale nowe kościoły protestanckie nie miały sposobów wywierania nacisku i przymusu, które miał istniejący od dawna Kościół katolicki.

Kuhn twierdzi, że to prawdopodobnie zagrożenie pączkującym protestantyzmem spowodowało, że hierarchia katolicka w roku 1616 gwałtownie przeszła od tolerancji kopernikanizmu do jego zwalczania. „Doktryny kopernikańskie zostały, w rzeczywistości, potępione w czasie kontrreformacji, właśnie wtedy, gdy Kościół z trudnościami wprowadzał wewnętrzne reformy, których celem była odpowiedź na krytykę protestantów. Jak się wydaje, antykopernikanizm był, przynajmniej częściowo, jedną z tych reform. Jeszcze jedną przyczyną zwiększonej wrażliwości Kościoła na kopernikanizm po roku 1610 (rok, w którym Galileusz po raz pierwszy skierował teleskop w niebo) mogło być opóźnione zauważenie wszystkich implikacji teologicznych wynikających z ruchów Ziemi.

W XVI wieku implikacje te rzadko były tak wyraźnie wyrażane” [5].

Idea, że system kopernikański powodował degradację ludzkości, pojawiła się prawdopodobnie ok. roku 1650, długo po tym, gdy społeczność naukowa zaakceptowała heliocentryzm. Kręgi kościelne rozpoczęły to, co właściwie było propagandową wojną przeciwko Kopernikowi. Prawdopodobnie stało się tak dlatego, że gdy model heliocentryczny zdobył solidne podstawy, uznano, iż Słońce znajduje się w pozycji uprzywilejowanej. Tak więc ludzie wprowadzili z powrotem do historii tę nowo odkrytą wspaniałość środka i retrospektywnie przypisali tę wiarę poprzednikom Kopernika. Idea degradacji ludzkości mogła zostać wprowadzona jako część prób mobilizacji ludzi wierzących, niebędących naukowcami, aby zwrócili się przeciwko kopernikanizmowi przez odwołanie się do ich dumy jako istot ludzkich.

Kościół protestancki dość szybko odstąpił od sprzeciwiania się systemowi kopernikańskiemu, gdy stało się jasne, że dowody na rzecz systemu z centralną pozycją Słońca są przytłaczające. Ale Kościół katolicki, będąc instytucją o wiele większą, o wiele bardziej przywiązaną do tradycji oraz bardziej zbiurokratyzowaną, pozostał przy swoich antykopernikańskich poglądach przez długi czas. Zakaz mówienia o Koperniku pozostawał w mocy do roku 1822, a jego dzieło usunięto z indeksu ksiąg zakazanych dopiero w roku 1835. W rzeczywistości dopiero papież Jan Paweł II w roku 1992 zniósł edykt Inkwizycji przeciwko Galileuszowi. Tak więc Kościół katolicki jest dzisiaj powszechnie uważany za główny czarny charakter w prawdopodobnie najgłośniejszym epizodzie historii nauki.

Czegoż możemy nauczyć się z tego wszystkiego? Hi-

storia kopernikańskiej rewolucji pokazuje, że prawdziwa historia nauki często ma niewiele wspólnego z popularnymi wersjami podawanymi w szkole lub college’u albo przedstawianymi w popularnych podręcznikach i mediach. Steven Weinberg nazywa je „historią w konserwie”. Prawdziwa historia jest o wiele bardziej skomplikowana, ale też o wiele ciekawsza.

Składam podziękowania Owenowi Gingerichowi za pouczające dyskusje i wiele pomocnych sugestii.

Tłumaczył *Maciej Górski*  
Instytut Problemów Jądrowych  
im. Andrzeja Sołtana  
Warszawa

## Literatura

- [1] P. Fishbane, S. Gasiorowicz, S. Thornton, *Physics for Scientists and Engineers*, wyd. II (Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 1996), s. 1, 320, 321.
- [2] D.R. Danielson, *Am. J. Phys.* **69**, 1029 (2001).
- [3] M. Singham, *Phi Delta Kappan* **88**, 590 (2007).
- [4] J.B. Russell, *Inventing the Flat Earth: Columbus and Modern Historians* (Praeger, New York 1991).
- [5] T. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Harvard Univ. Press, Cambridge, MA 1957); przekład polski: *Przewrót kopernikański. Astronomia planetarna w dziejach myśli Zachodu*, tłum. Stefan Amsterdamski (Prószyński i S-ka, Warszawa 2006).
- [6] M. Lakatos, *The Methodology of Scientific Research Programmes* (Cambridge Univ. Press, New York 1978).

MANO SINGHAM jest dyrektorem Uniwersyteckiego Ośrodka Innowacji w Nauczaniu i Edukacji oraz profesorem nadzwyczajnym fizyki na Case Western Reserve University w Cleveland w stanie Ohio. Stopień bakałarza uzyskał na Uniwersytecie w Kolombo (Sri Lanka), a magisterium i doktorat w dziedzinie teoretycznej fizyki jądrowej – na Uniwersytecie w Pittsburghu. Jest członkiem Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego. Ostatnio jego zainteresowania badawcze dotyczą edukacji, teorii wiedzy oraz fizyki i filozofii. Jego pierwsza książka *The Quest for Truth: Scientific Progress and Religious Beliefs* (W poszukiwaniu prawdy: Postęp naukowy i wierzenia religijne) została opublikowana przez fundację edukacyjną Phi Delta Kappa w listopadzie 2000 r. Druga, *The Achievement Gap in US Education: Canaries in the Mine* (Nieciągłość w osiągnięciach edukacyjnych w USA: Kanarki w kopalni) zajmuje się różnicami wyników nauczania między białymi a czarnymi studentami i wydana była w 2005 r. przez Rowman and Littlefield Education Press. Książka, która ma się pojawić niebawem, nosi tymczasowy tytuł *From Scopes to Dover: Evolution, Religion, and the Establishment Clause* (Od procesu Scopesa do procesu szkoły w Dover: Ewolucja, religia i klauzula establishmentu) i pokazuje, jak wyzwania stojące przed nauczaniem ewolucji w szkołach amerykańskich zmieniły się pod wpływem wielokrotnych niepowodzeń w sądach.



# John Bardeen: fizyk nadzwyczajny\*

Lillian Hoddeson

*Department of History, University of Illinois, Urbana, USA*

---

## John Bardeen: an extraordinary physicist

*Abstract:* Born 100 years ago, John Bardeen is still the only person ever to have won two Nobel prizes in physics: the first for inventing the transistor, and the second for explaining superconductivity. But despite his unique achievements, Bardeen was a modest man who defied the stereotype of scientific genius.

---

John Bardeen smażył rankiem 1 listopada 1956 r. jajka na śniadanie, gdy usłyszał, że przyznano mu, wspólnie z Williamem Shockleyem i Walterem Brattainem, Nagrodę Nobla za wynalezienie tranzystora. Z wrażenia upuścił patelnię na podłogę. Tegoż dnia wieczorem przeżył kolejną niespodziankę, gdy pod drzwiami jego domu zjawili się koledzy z University of Illinois z szampanem i tradycyjną piosenką „For he’s a jolly good fellow”.

Często przedstawiany jako przeciętny człowiek o prostych gustach i przyzwyczajeniach, jak gra w golfa czy żywe kibicowanie na meczach amerykańskiego futbolu, Bardeen bynajmniej nie był zwykłym naukowcem. Był pierwszym uczonym, który otrzymał dwa razy Nagrodę Nobla z tej samej dziedziny, i jedyną osobą, która dostała obie Nagrody z fizyki.

Praca oddziaływała na Bardeena emocjonalnie w sposób obcy innym fizykom. Na przykład, jego początkowe zaskoczenie i radość, gdy usłyszał o przyznaniu Nagrody, wkrótce zmieniły się w zakłopotanie, częściowo dlatego, że nie był przekonany, iż tranzystor, który uważał raczej za zabawkę niż ważne osiągnięcie naukowe, zasługuje na Nagrodę Nobla. Krępowało go także i to, że jego starsi i szanowani nauczyciele, Eugene Wigner i John Van Vleck, nie otrzymali jeszcze Nagrody za swój fundamentalny wkład w podstawy fizyki. (Obaj zostali noblistami później – jeden w roku 1963, drugi w 1977).

Bardeen krzywił się również, czytając jakoby stworzenie tranzystora było wynikiem pracy zespołowej. Wiedział, że była to co najwyżej tylko częściowa prawda. Brattain i Bardeen istotnie połączyli swe talenty, pracując wspólnie w Bell Telephone Laboratories, badawczym oddziale American Telephone and Telegraph Company (AT&T). Ich szefem był Shockley, który początkowo wnosił znaczny wkład w badania zespołowe, lecz wkrótce praca ta go znudziła i w samym odkryciu już nie uczestniczył. Co więcej, by zapewnić sobie miejsce w dziejach, przedstawiał później historię powstania wynalazku tak,

by kosztem Brattaina i Bardeena podkreślać swój własny w niej udział. Bardeena denerwowało, że Bell Labs początkowo podtrzymywały wersję Shockleya, a że był człowiekiem niezwykle małomównym, prawie nic o tym nie mówił. Jedynie najbliżsi przyjaciele i koledzy mogli zauważyć w jego oczach i głosie wybuchy gniewu, gdy mowa była o Shockleyu i tranzystorze.



John Bardeen (źródło: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

---

\*Artykuł opublikowany w *Physics World* 21, zesz. 4 (2008) został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy. [Translated with permission. Copyright © 2008 IOP]



Termin odebrania Nagrody – rok 1956 – nie był dla Bardeena najdogodniejszy, a to dlatego, że był wówczas zupełnie pewny, że wraz ze swoimi młodymi współpracownikami z University of Illinois – Leonem Cooperem i Robertem Schriefferem – jest u progu wyjaśnienia zjawiska nadprzewodnictwa. Niepokoilo go to, że inni niezwykle uzdolnieni fizycy, a wśród nich Richard Feynman, też są już bliscy rozwiązania tego problemu. Ostatecznie Bardeen, Cooper i Schrieffer na początku lutego 1957 r., kilka tygodni po powrocie Bardeena ze Sztokholmu, rozwiązali zagadkę nadprzewodnictwa. Piętnaście lat później – w 1972 r. – teoria BCS została uhonorowana Nagrodą Nobla z fizyki – już drugą, jaką Bardeen otrzymał.

### Szybka ścieżka szkolna

Bardeen urodził się 23 maja 1908 r. w Madison w stanie Wisconsin w wykształconej rodzinie amerykańskiej, której przodkowie należeli do Plymouth Colony. Jego ojciec, Charles Russell Bardeen, był absolwentem pierwszego rocznika medycyny na Johns Hopkins University oraz założycielem wydziału medycyny na University of Wisconsin. Matka, Althea Farmer, studiowała sztukę i uczyła w liceum prowadzenia gospodarstwa domowego. Gdy poznała Charlesa, miała małą firmę dekoracji wnętrz w Chicago. John i jego rodzeństwo: starszy brat William, młodszy – Thomas, młodsza siostra Helen i najmłodsza siostra przyrodnia Ann, spędzili dzieciństwo w Madison.

Aby John nie nudził się w szkole, Althea załatwiła mu przesunięcie o kilka klas wyżej. W rezultacie skończył ósmą klasę, gdy miał 9 lat, i wstąpił do liceum (University High School w Madison) o pięć lat wcześniej niż rówieśnicy. W trosce o jego wykształcenie w naukach ścisłych ojciec rozwiązywał z nim w czasie wielkiej epidemii grypy w 1918 r. zadania matematyczne oraz kupował różne barwniki organiczne i inne chemikalia, by chłopiec mógł eksperymentować w piwnicy. John, niezwykle cichy i mało mówny, w kontaktach z otoczeniem polegał na ekstrawertycznym starszym bracie Williamie. Podobnie postępował w późniejszym życiu, korzystając z pośrednictwa najbliższych przyjaciół i kolegów, a wśród nich swojej żony Jane, współpracownika z Bell Labs Waltera Brattaina i swego pierwszego doktoranta Nicka Holonyaka.

Althea Bardeen zmarła na raka piersi w kwietniu 1920 r., gdy John nie skończył jeszcze 12 lat. Sześć miesięcy później Charles ożenił się ze swoją sekretarką. Mimo tych przeżyć Johnowi udało się ukończyć liceum w wieku lat 13. Formalnie mógł już wstąpić na uniwersytet, lecz ze względu na młody wiek zdecydował się na dalszą, dwuletnią naukę w Madison Central High School, gdzie uczył się głównie matematyki.

W roku 1923 rozpoczął studia na University of Wisconsin i z zapałem słuchał wykładów Van Vlecka z mechaniki kwantowej. Nie był jednak jeszcze gotów, by zostać fizykiem. Studiował inżynierię elektryczną, a tematem jego pracy magisterskiej była metoda poszukiwania ropy naftowej. W ślad za swoim opiekunem, inżynierem Lee Petersem, zatrudnił się w Gulf Research Laboratories w Pittsburghu, gdzie aż do roku 1933 pracował nad

zagadnieniem poszukiwań geofizycznych metodą elektromagnetyczną. Jednak geofizyka nie zdołała go naprawdę zainteresować. Uczęszczał na seminarium fizyki współczesnej na Uniwersytecie w Pittsburghu, a potem zrezygnował z posady w firmie Gulf i rozpoczął studia doktoranckie z matematyki na Uniwersytecie w Princeton. Na wieczorne pożegnalnym w przededniu wyjazdu z Pittsburgha poznał Jane Maxwell. Ich narzeczeństwo skończyło się po pięciu latach małżeństwem trwającym 53 lata.



Od lewej: John Bardeen w wieku 17 lat i po ślubie z Jane w czerwcu 1938 r. (ze zbiorów rodzinnych)

Studia Bardeena na Uniwersytecie w Princeton dały mu podstawę kariery w dziedzinie fizyki. Podobnie jak jego bliski przyjaciel Frederick Seitz (który zmarł w lutym 2008 r. w wieku 96 lat) został doktorantem Wignera. Wspólnie z trzecim doktorantem Wignera Conysem Herdingiem i małą grupką studentów z MIT Bardeen i Seitz byli pierwszymi fizykami przygotowanymi do stosowania mechaniki kwantowej do rzeczywistych ciał stałych. W roku 1933 Wigner i Seitz opracowali metodę obliczania struktury pasm energetycznych metalicznego sodu. Tu wkładem Bardeena [1], z jego pracy doktorskiej, było obliczenie pracy wyjścia z metali – miary energii potrzebnej do usunięcia elektronu z powierzchni metalu, mające wtedy ogromne znaczenie dla zrozumienia emisji elektronów z włókna lampy próżniowej. Później Bardeen wspominał, że Wigner nauczył go, jak rozwiązywać problemy, redukując je do kwestii zasadniczych.

Wiosną 1935 r. Bardeen przyjął trzyletnie stypendium podoktorskie na Uniwersytecie Harvarda. Otrzymał wtedy propozycję zostania członkiem-juniorem Harvard's Society of Fellows – prestiżowej grupy wybitnie utalentowanych młodych naukowców, i w tak sprzyjającej atmosferze intelektualnej kontynuował badania fizycznych właściwości kryształów. Próbował atakować „zagadnienia wielu ciał”, w których zasadniczą rolę grają oddziaływania między elektronami oraz między elektronami i siecią krystaliczną. Nie bardzo dawał sobie z tym radę, gdyż fizyce brakowało wówczas do opisu tych oddziaływań właściwego narzędzia – kwantowej teorii pola.

### Nadzwyczajne umysły

W czasie swego pierwszego roku na Harvardzie Bardeen poznał Shockleya, który właśnie kończył swoją pracę

doktorską w MIT. Obaj szybko zrozumieli, że łączy ich wspólne zainteresowanie fizyką ciał stałych. W roku 1936 Shockley objął posadę w Bell Labs, a Bardeen dołączył do niego w końcu 1945 r. W Harvardzie Bardeen znalazł się pod wpływem wielkiego eksperymentatora – fizyka Percy’ego Bridgmana, pioniera badań właściwości materiałów pod wysokim ciśnieniem. Bardeen tak zasmakował w stosowaniu mechaniki kwantowej do wyników Bridgmana, że w późniejszych latach starał się, gdy tylko mógł, blisko współpracować z doświadczalnikami, a w szczególności z Brattainem.

Jednym z problemów, które Bardeen starał się (bez powodzenia) rozwiązać w okresie harwardzkim, było wyjaśnienie powstawania nadprzewodnictwa, zjawiska odkrytego w roku 1911, przejawiającego się tym, że opór elektryczny niektórych metali, w szczególności rtęci, znika poniżej pewnej temperatury krytycznej. W latach dwudziestych i na początku lat trzydziestych XX w. było wiele prób stworzenia kwantowej teorii nadprzewodnictwa, żadna jednak zjawiska nie wyjaśniła. Przełom nastąpił w roku 1935, gdy bracia Fritz i Heinz Londonowie stworzyli empiryczną teorię nadprzewodnictwa wyjaśniającą efekt Meissnera. Zjawisko to, zaobserwowane dwa lata wcześniej przez Walthera Meissnera, polega na wypychaniu słabego pola magnetycznego z wnętrza nadprzewodnika, który przez to staje się idealnym diamagnetykiem.

Teoria Londonów wyjaśniała wypychanie pola magnetycznego, lecz nie była wyprowadzona z pierwszych zasad, jak chciał Bardeen. Zrozumiał on, jak ważna jest teza Londonów, że funkcja falowa stanu podstawowego w nadprzewodniku jest nieczuła na zmiany przyłożonego pola magnetycznego i że ta nieczułość jest konsekwencją istnienia przerwy energetycznej między stanem podstawowym i niskimi stanami wzbudzonymi. Bez kwantowej teorii pola nie był jednak jeszcze w stanie użyć tej wskazówki do opracowania udanej teorii nadprzewodnictwa.

Wkrótce po objęciu posady wykładowcy na University of Minnesota, w czerwcu 1938 r., Bardeen ożenił się z Jane Maxwell. Pracował dalej nad teorią nadprzewodnictwa. W jednej ze swoich prób przyjął, że jedynymi elektronami, które dają wkład do nadprzewodnictwa, są elektrony z pobliża powierzchni Fermiego – dwuwymiarowej powierzchni w przestrzeni pędów, która w metalu oddziela obsadzone stany elektronowe od nieobsadzonych. Te elektrony, jak sądził, mogą ekranować przyłożone pole, wywołując słaby diamagnetyzm zaobserwowany w nadprzewodnikach. Wartość przewodności wynikająca z jego teorii różniła się jednak ponad dziesięć razy od obserwowanej, nie opublikował więc swoich obliczeń.

W maju następnego roku urodziło się pierwsze dziecko Bardeenów – James. Drugi syn, William, przyszedł na świat we wrześniu 1941 r. W tym czasie Bardeen przeniósł się już wraz z rodziną do Waszyngtonu, gdzie w czasie II wojny światowej służył swojemu krajowi w laboratorium marynarki wojennej, pracując nad elektromagnetyczną osłoną okrętów. W kwietniu 1944 r. urodziło się trzecie dziecko Bardeenów – Elizabeth. Miało minąć

jeszcze prawie dziesięć lat, zanim Bardeen mógł powrócić do badań nadprzewodnictwa.

## Laboratoria Bella i tranzystor

Bardeen nie czuł się dobrze w laboratorium marynarki, zarówno ze względu na inżynierski charakter pracy (odciągającej go od badań fizycznych), jak i chaotyczną biurokracją wojskową. Gdy skończyła się wojna, nie wrócił na University of Minnesota, lecz przyjął proponowaną mu z inicjatywy Shockleya bardziej korzystną finansowo i ciekawszą pracę w nowo powstałej grupie półprzewodnikowej w Laboratoriach Bella, w której poza dwoma teoretykami – właśnie nim oraz Shockleyem (który był szefem grupy) – było dwóch doświadczalników – Walter Brattain i Gerald Pearson, a także chemik Robert Gibney oraz inżynier elektronik Hilbert Moore.

Jednym z zadań grupy było zastąpienie lamp próżniowych w układach telefonicznych przez półprzewodniki. Lampy próżniowe jako przełączniki i wzmacniacze umożliwiły działanie telefonów na dużych odległościach, co spowodowało szybki rozwój telefonii w latach dwudziestych i trzydziestych XX w. Lampy zajmowały jednak dużo miejsca, były kosztowne i kruche, a ponadto miały małą wydajność i powolny zapłon. Firmie AT&T bardzo zależało na zastąpieniu ich czymś innym, na przykład układami półprzewodnikowymi.

Bardeen rozpoczął pracę nad tranzystorem w kwietniu 1945 r., gdy Shockley polecił mu przeanalizować naszkicowany w jego notatniku projekt wzmacniacza krzemowego, wykorzystującego efekt polowy. Idea polegała na ściągnięciu ładunków na powierzchnię cienkiej płytki krzemowej, przez przyłożenie pola elektrycznego prostopadłego do powierzchni. W cienkiej próbce pole elektryczne miało według Shockleya w sposób zasadniczy zmienić liczbę nośników i w układzie wzmacniacza uzyskałoby się efekt analogiczny do działania siatki w triodzie próżniowej. Brattain próbował sprawdzić taki układ doświadczalnie, ten jednak nie działał. Shockley był w kropce, gdyż wydawało mu się, że w swoim rozumowaniu zastosował najnowsze metody mechaniki kwantowej. Bardeen szybko zdał sobie sprawę, że znaczna liczba elektronów zostaje uwięziona w pułapkach w stanach powierzchniowych i nie może brać udziału w przewodnictwie. Zespół rozpoczął długi okres badań stanów powierzchniowych, ale Shockley stracił już zainteresowanie tym problemem.

W listopadzie 1947 r. rozpoczął się „cudowny miesiąc”, którego kulminacją był przełom w sprawie tranzystora. Brattain, walcząc z magnetycznym wpływem kropli wody kondensującej z powietrza, zanurzał badany przyrząd w różnych cieczach. Zauważył, że efekt fotowoltaiczny – wytwarzanie przez fotony par elektron–dziura, dających wkład do przewodnictwa elektrycznego – był silniejszy, gdy układ zanurzano w elektrolicie. Bardeen wyciągnął z tej obserwacji wniosek, że jony w elektrolicie wytwarzają pole elektryczne silniejsze niż opóźniające pole wywołane przez stany powierzchniowe. Obaj fizycy zajęli się tym problemem i zauważyli, że przyłożone napięcie dodatkowo wzmacnia efekt fotowoltaiczny, natomiast

napięcie ujemne osłabia go, a nawet niszczy. Wskazało to możliwą nową drogę ku zbudowaniu wzmacniacza wykorzystującego efekt polowy.

Przez następnych kilka tygodni ścisłej współpracy zespołu Bardeen grał rolę „mózgu” drużyny, sugerując np. użycie różnych elektrolitów czy materiałów, a Brattain był jej „rękami” – zestawiał aparaturę i wykonywał pomiary. Przełomem była propozycja Bardeena, by zastąpić krzemem bardzo czystym germanem, którego technologia została opracowana w czasie wojny w ramach prac nad detekcją sygnałów radarowych wielkiej częstości. Innym pomysłem było zastąpienie elektrolitu przez warstwę tlenku, Brattain zauważył bowiem, że taka warstwa rośnie na germanie.

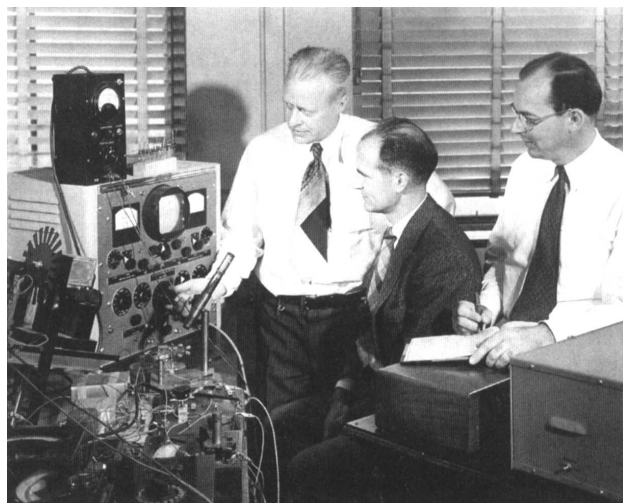
Po wprowadzeniu takich zmian Bardeen i Brattain uzyskali 11 grudnia 1947 r. efekt wzmocnienia, lecz ze zdziwieniem stwierdzili się, że prąd płynie w kierunku przeciwnym niż oczekiwali. Stopniowo zorientowali się, że tlenek się zmył, co spowodowało, że dziury – puste stany elektronowe w pobliżu wierzchołka zapełnionego pasma energetycznego, zachowujące się jak cząstki dodatnie – przechodzą do germanu. W związku z tym przyrząd, który zbudowali (nazwano go później przyrządem ze złączem ostrzowym), działał na innej zasadzie niż przewidywał Shockley w swoim pochodzącym sprzed dwóch lat projekcie układu działającego na zasadzie efektu polowego. Bardeen zaproponował wówczas inną geometrię układu – dwa blisko rozstawione metalowe kontakty liniowe wcisnięte w german, umożliwiające dziurom przepływ bliżej sygnału wejściowego, co miało zapewnić większe wzmocnienie. Doświadczenie takie udało się od razu przy pierwszej próbie i w ten sposób 16 grudnia 1947 r. narodził się tranzystor. Tego wieczoru Bardeen nieomal niedosłyszalnie szepnął do swej żony Jane: „Coś dziś odkryliśmy”.

## Napięta atmosfera

Historyczny wynalazek tranzystora ostrzowego zepsuł nastrój w grupie półprzewodnikowej w Bell Labs. Bardeen i Brattain przeżyli wstrząs, gdy Shockley, zawiedziony, iż przyrząd został wynaleziony bez jego udziału, wystąpił o patent na urządzenie wykorzystujące efekt polowy. Urzędnicy patentowi odkryli jednak, że efekt ten został już opatentowany w roku 1930 przez Juliusa Lillienfelda, Amerykanina polskiego pochodzenia. Gdy plan Shockleya upadł, ten jako szef Brattaina i Bardeena zabronił im pracy nad następną wersją tranzystora półprzewodnikowego – mającym dobre perspektywy komercyjne przyrządem złączowym, w którym zastosowane w pierwotnej wersji niepewne i powodujące szumy elektryczne kontakty punktowe miały być zastąpione przez złącza między krzemem typu n i typu p. Pogorszyło to już napiętą atmosferę w laboratorium, gdyż Bardeen i Brattain, zajęci przygotowaniem wniosku patentowego, obawiali się, że fizycy z innych instytutów ich wyprzedzą.

Tymczasem Shockley w tajemnicy, w zaciszu domowym, pracował nad projektem tranzystora złączowego. 16 lutego 1948 r. inny z doświadczalników pracujących w Bell Labs, John Shive, wykazał, że dziury mogą wędrować poprzez cały kryształ, a nie tylko przy powierzchni,

co praktycznie wyjaśniało zasadę działania przyrządu złączowego. Aby móc rościć prawo do pierwszeństwa i obawiając się, że Bardeen skorzysta z tej nowej wskazówki i pobije go w wyścigu do tego typu tranzystora, Shockley ujawnił nagle swój tworzony w tajemnicy projekt. Brattain i Bardeen byli oburzeni, gdy się dowiedzieli, że ich szef ukrywał przed resztą zespołu swoje badania.



Laureaci Nagrody Nobla z 1956 r. za wynalezienie tranzystora: od lewej Walter Brattain, William Shockley i John Bardeen (źródło: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

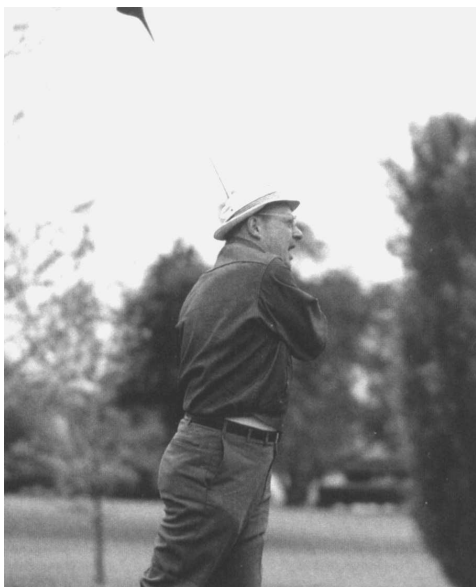
Choć Shockley i jego najbliżsi współpracownicy prowadzili dalej badania nad tranzystorem złączowym, Brattain i Bardeen zostali odsunięci od tych ważnych prac, które niewątpliwie wyrosły z ich wynalazku tranzystora. Po pewnym czasie Bardeen przestał już w ogóle pracować nad tranzystorami i powrócił do zagadnienia nadprzewodnictwa. Nie zajmował się tym od roku 1941, problem jednak nadal pozostawał nierozwiązaną zagadką w fizyce ciała stałego. Nadprzewodnictwo nie leżało wówczas w obrębie zainteresowań Bell Labs, pracował więc sam. 15 maja 1950 r. zatelefonował do niego Bernard Serin, doświadczałnik z Uniwersytetu Rutgersa, i opowiedział mu o pewnym zjawisku związanym z teorią nadprzewodnictwa. Bardeen, którego wciągnęła ta sprawa, nabrał pewności, że potrafi rozwiązać ten problem.

Serin ze swymi współpracownikami stwierdził, że lżejsze czyste izotopy rtęci stają się nadprzewodnikami w temperaturach wyższych niż rtęć o naturalnym składzie. Ten sam efekt izotopowy niezależnie odkrył Emanuel Maxwell w National Bureau of Standards. W swoim notatniku Bardeen zapisał, że ów „efekt izotopowy” wskazuje, iż oddziaływanie elektron–sieć odgrywa rolę w nadprzewodnictwie i stanowi klucz do jego zagadki. W latach trzydziestych, na University of Minnesota, próbował już, stosując jednoelektronowy model kwantowy, wyjaśnić istnienie przerwy energetycznej w nadprzewodniku. Zajmował się również problemem, czy wprowadzenie małej periodycznej deformacji sieci może obniżyć energię i prowadzić do

powstania pasm wzbronionych w pobliżu powierzchni Fermiego.

Pierwsza próba z roku 1950 zastosowania wskazówki o oddziaływaniach elektron–sieć nie uratowała jego dawnej teorii nadprzewodnictwa, ale mimo to – czując, że jest na właściwej drodze – zapewnił sobie pierwszeństwo odkrycia w liście do redakcji *Physical Review*. Działo się to w tym samym mniej więcej czasie, gdy jego kolega Herbert Fröhlich doszedł do podobnych wniosków. Jednak ani Bardeen, ani Fröhlich nie potrafili wykazać, w jaki sposób te oddziaływania mogą do tego stopnia obniżać energię stanu nadprzewodnictwa i czynić go na tyle korzystnym energetycznie, by metal lub stop stały się nadprzewodzące.

Teoria nadprzewodnictwa nadal nie była uważana w Bell Labs za sprawę ważną i Bardeen czuł się tam coraz bardziej wyobcowany. W październiku 1950 r. na konferencji fizyków spotkał Seitz, swego dawnego przyjaciela z Princeton, i spytał go o możliwość pracy na uniwersytecie. Seitz, który właśnie niedawno przeniósł się na University of Illinois, znalazł wkrótce dla niego ofertę pracy jednocześnie na wydziałach fizyki i inżynierii elektrycznej. Bardeen przyjął ją z radością i następnego lata wraz z rodziną przeniósł się do Illinois.



Dla Johna Bardeena najlepszą metodą rozwiązywania trudnych problemów był relaks na polu golfowym (ze zbiorów rodzinnych)

## Na tropie zagadki nadprzewodnictwa

W Illinois Bardeen zajął się problemem nadprzewodnictwa. Przeczytał literaturę na ten temat, pisząc obszerny artykuł przeglądowy opublikowany w roku 1956 w *Handbuch der Physik* [2]. Wspólnie ze swym młodym współpracownikiem Davidem Pinesem, biegłym w nowej kwantowej teorii pola, szybko doszedł do wniosku, że elektryczne sprzężenie kulombowskie między elektronami i drganiami sieci krystalicznej może stanowić mechanizm

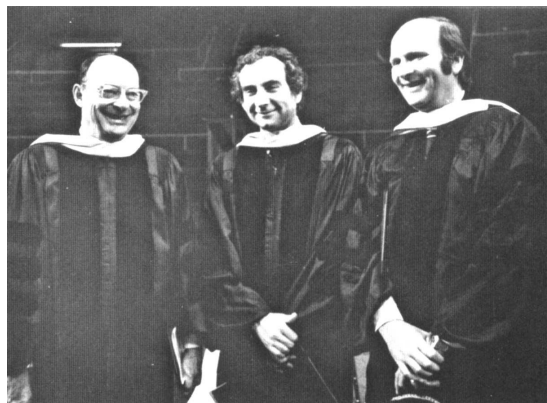
prowadzący do niskoenergetycznego stanu nadprzewodzącego.

W końcu roku 1953 jednym z doktorantów na University of Illinois został Robert Schrieffer, który jako temat pracy u Bardeena wybrał teorię nadprzewodnictwa. Pines wkrótce jednak przeniósł się do Princeton i wówczas Bardeen zaprosił do współpracy Leona Coopera, świeżo upieczonego doktora znającego dobrze kwantową teorię pola.

Pod koniec 1955 r. Cooper wykazał, że jeśli wypadkowa siła między dwoma elektronami, tuż pod powierzchnią Fermiego, jest przyciągająca, to te elektrony utworzą stan związany leżący poniżej normalnego kontinuum stanów i oddzielony od niego przerwą energetyczną. Stało się dla niego jasne, że gdyby cały stan podstawowy nadprzewodnika był złożony z takich par, to stan ten miałby własności jakościowo różne od stanu normalnego i byłby oddzielony od stanów wzbudzonych przerwą energetyczną. Rozwiązanie wieloletniej zagadki nadprzewodnictwa wydawało się bliskie, lecz Bardeen nie był zadowolony, gdyż jego zespół nie potrafił jeszcze sobie poradzić z teorią wielkiej liczby par elektronowych o nakładających się funkcjach falowych w nadprzewodniku. Właśnie podczas tych przełomowych prób nadeszła wiadomość o Nagrodzie Nobla za rok 1956. Bardeen przykazał Schriefferowi i Cooperowi, by dalej pracowali, i pojechał do Sztokholmu odebrać Nagrodę.

Następne ważne wydarzenie nastąpiło w końcu stycznia 1957 r. Schrieffer, jadąc metrem w New Jersey, zapisał wyrażenie na funkcję falową nadprzewodzącego stanu podstawowego. Po powrocie do Urbany pokazał je Bardeenowi, który natychmiast zrozumiał znaczenie tego kroku. Cała trójka weszła teraz w okres intensywnej pracy; gorączkowo obliczali wszystkie ważne wielkości. Opublikowali wstępny komunikat o swej teorii (powszechnie dziś nazywanej teorią BCS) w kwietniu 1957 r. [3], a ich pełna praca z grudnia 1957 r. [4] należy do klasyki nowoczesnej fizyki.

Nagroda Nobla za tranzystor zdziwiła Bardeena, za to od początku wiedział, że zasługuje na nią teoria BCS. Mar-



B, C i S: od lewej John Bardeen, Leon Cooper i Robert Schrieffer, którzy otrzymali wspólnie w 1972 r. Nagrodę Nobla za swą teorię nadprzewodnictwa (źródło: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

twił się, że Szwedzka Akademia Nauk, zgodnie z tradycją, nie przyzna tej samej osobie dwukrotnie Nagrody z tej samej dziedziny, co pozbawiłoby Schrieffera i Coopera zasłużonego zaszczytu. W roku 1972 Komitet Noblowski odstąpił jednak od tej zasady i przyznał całej trójce Nagrodę za ich historyczną teorię BCS.

Z czasem Bardeen stał się guru na wydziale fizyki University of Illinois. Większość czasu spędzał, odpowiadając na pytania kolegów i studentów. Nie był jednak nieomylny i czasami ślepe zaufanie do własnej intuicji stawało go w kłopotliwej sytuacji. Na przykład, w 1962 r. przeciwstawiał się teorii wysuniętej przez 23-letniego doktoranta Briana Josephsona, według której może w zgodzie z mechaniką kwantową zachodzić tunelowanie elektronów przez cienką barierę między dwoma nadprzewodnikami. W owym roku odbywała się w Londynie VIII Międzynarodowa Konferencja Fizyki Niskich Temperatur. Organizatorzy skorzystali z obecności wielkiego Bardeena i zorganizowali dyskusję między nim a nieśmiałym, lecz wybitnym studentem z Cambridge. Bardeen tę debatę przegrał.

### Skromny uczony, który zmienił świat

W latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia Bardeen skupiał się głównie na teorii kwantowej fal gęstości ładunku – zjawisku przewodnictwa w niskich temperaturach wynikającego z okresowych modulacji gęstości elektronowej oraz położenia atomów sieci. Wydawało mu się, że zjawisko to można wyjaśnić w sposób podobny jak nadprzewodnictwo. Fizycy zajmujący się zagadnieniem wielu ciał byli początkowo zaciekawieni teorią Bardeena, ale z czasem stracili to zainteresowanie, bo woleli model oparty na fizyce klasycznej. Mimo to Bardeen nadal wierzył w swą teorię, choć stopniowo czuł coraz większą gorycz wobec braku akceptacji środowiska. W dodatku jego zdrowie zaczęło się pogarszać i coraz trudniej było mu grać w golfa, stanowiącego odtrutkę na stresy i frustracje. A jednak, gdy w 1987 r. świat fizyków zelektryzowało odkrycie nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego, podobnie jak inni zajęli się teorią tego zjawiska. Pracował jeszcze nad pewnymi trudnymi problemami, gdy 30 stycznia 1991 r. wskutek rozległego zawału serca zmarł w Bostonie w wieku 82 lat. Problem nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego nie został do dziś rozwiązany.

Teoria BCS była nie tylko doniosłym krokiem ku opisu ciał stałych i płynów jako olbrzymiego zbioru oddziaływających kwantowo cząstek mikroskopowych. Jej następstwem było także pogłębienie teorii cząstek elementarnych przez wprowadzenie pojęcia samoistnego naruszenia symetrii. Właśnie ono jest podstawą poszukiwania słynnego bozonu Higgsa przy użyciu potężnych akceleratorów, np. Wielkiego Zderzacza Hadronów (LHC), który niedługo zacznie działać w CERN-ie (już zaczął! – red.). A jeśli chodzi o tranzystor, to trudno wyobrazić sobie dziś życie bez niego. Jest podstawowym składnikiem mikroprocesorów, stał się, jak to nazwał w 1949 r. Shockley, „komórką nerwową” nowoczesnej elektroniki – satelitów, komputerów osobistych, telefonów komórkowych, iPodów.

Można więc powiedzieć, że fizyka Bardeena zmieniła współczesny świat. Mimo to słyszało o nim niewiele ludzi poza fizykami ciała stałego. Stało się tak być może dlatego, że nie pasuje on do popularnego obrazu wielkiego uczonego – stereotypowej postaci o nadludzkim talencie, może nieco zwariowanej, która nie musi się szkolić, woli pracować w samotności i która na pomysły wpada w sposób magiczny, bez wysiłku. Wielu spośród fizyków naszych czasów, którzy odnieśli największe sukcesy, a wśród nich Einstein i Feynman, lubiło wchodzić w tę popularną rolę, lecz Bardeen – mimo swoich nadzwyczajnych osiągnięć – chciał uchodzić za zwykłego człowieka.

Tłumaczyła Barbara Wojtowicz  
Warszawa

### Literatura

- [1] J. Bardeen, „Theory of the work function: II. The surface double layer”, *Phys. Rev.* **49**, 653 (1936).
- [2] J. Bardeen, „Theory of superconductivity”, w: *Handbuch der Physik* **15**, 274 (1956).
- [3] J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer, „Microscopic theory of superconductivity”, *Phys. Rev.* **106**, 162 (1957).
- [4] J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer, „Theory of superconductivity”, *Phys. Rev.* **108**, 1175 (1957).

### Lektura uzupełniająca

- J. Bardeen, „Reminiscences of the early days in solid state physics”, *Proc. R. Soc. A* **371**, 77 (1980).
- J. Bardeen, W. Brattain, „Physical principles involved in transistor action”, *Phys. Rev.* **74**, 1208 (1949).
- L. Hoddeson i in., *Out of the Crystal Maze* (Oxford University Press, Oxford 1992).
- L. Hoddeson, V. Daitch, *True Genius: the Life and Science of John Bardeen* (National Academy Press, Washington D.C. 2002).
- N. Holonyak Jr., „John Bardeen and the point-contact transistor”, *Phys. Today* **45**, nr 4, 36 (1992).
- M. Riordan, L. Hoddeson, *Crystal Fire: the Birth of the Information Age* (W.W. Norton, New York 1997).
- F. Seitz, N. Einspruch, *Electronic Genie: The Tangled History of Silicon* (University of Illinois Press, 1997).
- BCS at 50: [www.conferences.uiuc.edu/bcs50](http://www.conferences.uiuc.edu/bcs50).



Autorka artykułu, Lillian Hoddeson, w towarzystwie Johna Bardeena (z lewej) i Edwina Goldwassera (źródło: AIP Emilio Segrè Visual Archives)



# Kopalnia złota Yukawy\*

Antonino Zichichi

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Uniwersytet w Bolonii oraz CERN

---

## Yukawa's gold mine

*Abstract:* In a plenary lecture at the opening session of the symposium to celebrate the centenary of Hideki Yukawa, Antonino Zichichi reviewed the unexpected discoveries that came from Yukawa's prediction of a new particle – the pion – and looked at what we can learn from exploration of the new QCD physics: the quark-gluon-coloured world.

---

W roku 2007 przypadało stulecie urodzin Hideki Yukawy, który w 1935 r. wysunął hipotezę istnienia cząstki znanej obecnie jako mezon  $\pi$  i zwanej krótko pionem. Aby je uczcić, w dniach 3–8 czerwca 2007 r. zorganizowano w Japonii Międzynarodową Konferencję Fizyki Jądrowej; poprzednia odbyła się w tym kraju przed 30 laty, w roku 1977. Uroczystość otwarcia uświetniła obecność pary cesarskiej. W swym przemówieniu cesarz zauważył, że Yukawa – pierwszy laureat Nagrody Nobla w historii japońskiej nauki – jest wzorem nie tylko dla młodych japońskich naukowców, ale dla wszystkich Japończyków. Cząstka Yukawy stała się istną „kopalnią złota” w fizyce związanej z produkcją, rozpadem i wewnętrzną budową pionu. Wydobycie trwa w tej kopalni do dziś. Prace na przodku dotyczą obecnie świata kolorowych kwarków i gluonów (QGCW, quark-gluon-coloured world), którego własności mogą otworzyć nowe horyzonty w zrozumieniu logiki przyrody.

## Produkcja

W swojej pracy z 1935 r. Yukawa zaproponował, by szukać cząstki o masie pośredniej między małą masą elektronu i dużą masą nukleonu (protonu lub neutronu). Wydedukował tę pośrednią masę – źródłosłów nazwy „mezon”, później skróconej do mezonu – z zasięgu sił jądrowych [1]. Dzięki jego pracy w latach trzydziestych XX w. gorącym tematem stało się poszukiwanie cząstek promieniowania kosmicznego o masach większych od masy elektronu, a mniejszych od masy nukleonu.

30 marca 1937 r. Seth Neddermeyer i Carl Anderson donieśli o znalezieniu w promieniowaniu kosmicznym pierwszego doświadczalnego dowodu na istnienie dodatnio i ujemnie naładowanych cząstek cięższych niż elektrony i o większej przenikalności, ale znacznie lżejszych

od protonów [2]. Następnie na zjeździe Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego Jabez Street i Edward Stevenson przedstawili 29 kwietnia tego samego roku wyniki eksperymentu, który dał, po raz pierwszy, wartość masy – 130 mas elektronu ( $m_e$ ) – z niepewnością 25% [3]. Cztery miesiące później, 28 sierpnia, Yoshio Nishina, Masa Takeuchi i Torao Ichimiya posłali do *Physical Review* publikację [4] opisującą wynik doświadczalny świadczący o istnieniu dodatnio naładowanej cząstki o masie między 180  $m_e$  a 260  $m_e$ .



Hideki Yukawa, pierwszy japoński laureat Nagrody Nobla i wybitny uczony (rok 1949, AIP Emilio Segrè Visual Archives)

16 czerwca następnego roku Neddermeyer i Anderson donieśli o obserwacji dodatnio naładowanej cząstki o masie ok. 240  $m_e$ , a 31 stycznia 1939 r. Nishina wraz z kolegami przedstawili odkrycie cząstki ujemnie nała-

---

\*Artykuł, opublikowany w miesięczniku *CERN Courier*, zes. 9/2007, został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy. [Translated with permission]. Artykuł ten jest oparty na wykładzie plenarnym wygłoszonym na symposium obchodów stulecia urodzin Hideki Yukawy podczas Międzynarodowej Konferencji Fizyki Jądrowej w Tokio, 3–8 czerwca 2007 r. Pełny tekst wykładu: [www.ccsem.infn.it/ref/yukawa.html](http://www.ccsem.infn.it/ref/yukawa.html).

dowanej o masie  $(170 \pm 9)m_e$  [6]. W tej pracy autorzy poprawili pomiar masy wykrytej przez nich poprzednio cząstki o ładunku dodatnim i stwierdzili, że uzyskany wynik,  $m = (180 \pm 20)m_e$ , jest w dobrej zgodności z wartością otrzymaną dla cząstki naładowanej ujemnie. Tak więc okazało się, że mezonowa teoria Yukawy dla oddziaływań silnych ma doskonałe potwierdzenie doświadczalne. Jego koncepcja wzbudziła ogromne zainteresowanie własnościami promieniowania kosmicznego w tym „pośrednim” zakresie; to tu miała powstać „kopalnia złota”.

We Włoszech grupa młodych fizyków – Marcello Conversi, Ettore Pancini i Oreste Piccioni – postanowiła zbadać, w jaki sposób ujemne mezotrony są wychwytywane w materii jądrowej. Używając silnego pola magnetycznego do oddzielenia cząstek ujemnie od dodatnio naładowanych, odkryli, że ujemne mezotrony nie oddziałują silnie z materią jądrową [7]. Enrico Fermi, Edward Teller i Victor Weisskopf zauważyli, że czas rozpadu tych ujemnych cząstek w materii jest  $10^{12}$  razy dłuższy od czasu potrzebnego na to, by cząstka Yukawy została pochwycona przez jądro za pomocą sił jądrowych [8]. Wprowadzili też dla mezotronu symbol  $\mu$ , aby podkreślić naturę badanej ujemnej cząstki promieniowania kosmicznego.

Zrozumienie, jaką to żyłę złota odkrył Yukawa, było zasługą – oprócz Conversiego, Panciniego, Piccioniego i Fermiego – także innego włoskiego fizyka, Giuseppe Occhialiniego. Dalszy postęp w tym zakresie wymagał mianowicie techniki emulsji fotograficznych, w której Occhialini był światowym ekspertem. Wraz z Cesarem Lattesem, Hugh Muirheadem i Cecilem Powellem odkrył on, że ujemne mezony  $\mu$  stanowią produkt rozpadu innego mezotronu, „pierwotnego” – stąd jego nazwa  $\pi$  [9]. To właśnie ta cząstka jest wytwarzana przez siły jądrowe, jak zakładał Yukawa, a jej odkrycie ostatecznie dostarczyło „kleju” jądrowego. Ale to jeszcze nie koniec naszej kopalni złota.

## Szereg rozpadów

Odkrycie Lattes, Muirheada, Occhialiniego i Powella umożliwiło obserwację całego szeregu rozpadów  $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ , a to z kolei stało się podstawą zrozumienia prawdziwej natury cząstek promieniowania kosmicznego zaobserwowanych w latach 1937–39, które, jak dowiedli Conversi, Pancini i Piccioni, nie oddziałują siłami jądrowymi z materią. Kopalnia złota zawierała nie tylko mezon  $\pi$ , ale także mezon  $\mu$ . Otworzyło to zupełnie nowe pole badań, świat cząstek zwanych leptonami, którego pierwszym elementem był elektron. Drugi element, mion ( $\mu$ ), nie jest już dziś zwany mezonem, ale – poprawnie – leptonem. Mion ma takie same własności elektromagnetyczne jak elektron, ale jego masa jest 200 razy większa i nie ma on ładunku jądrowego. Jak wspominał Tsung-Dao Lee [10], te niezwykle własności skłoniły Isidora Rabię do zadania słynnego pytania: „Kto to zamawiał?”.

W latach sześćdziesiątych stało się jasne, że gdyby nie mezon  $\pi$ , nie byłoby aż tylu mionów. Gdyby bowiem istniał inny mezon taki jak  $\pi$  w przedziale „dużych” mas, to trzeci lepton – cięższy od mionu – nie powstawałby tak

łatwo w rozpadach ciężkiego mezonu, gdyż mezon ten rozpadałby się w procesach silnych na wiele mezonych  $\pi$ . Niezwykły przypadek  $\pi\text{-}\mu$  był zatem jedyny w swoim rodzaju. Tak więc niewystępowania trzeciego leptonu w wielu stanach końcowych powstających w oddziaływaniach wysokich energii w akceleratorach protonowych w CERN-ie i innych laboratoriach nie należało uważać za nieobecność fundamentalną, ale za następstwo faktu, że trzeci lepton mógł powstawać tylko za pośrednictwem procesów elektromagnetycznych, np. przez czasopodobne fotony (dla których kwadrat czteropędu jest dodatni – red.) w procesach anihilacji  $\bar{p}p$  lub  $e^+e^-$ . Niezwykłość przypadku  $\pi\text{-}\mu$  zainspirowała zatem poszukiwania trzeciego leptonu w odpowiednich procesach produkcji [10].

I znowu nie był to jeszcze koniec kopalni złota, gdyż zrozumienie rozpadu cząstki Yukawy zapoczątkowało badania oddziaływań słabych. Odkrycie świata leptonów otworzyło problem uniwersalnych oddziaływań Fermiego, wokół którego skupiała się społeczność fizyków w końcu lat czterdziestych. Lee, Marshall Rosenbluth i Chen Ning Yang wysunęli hipotezę o istnieniu bozonu pośredniczącego, nazwanego W (jako kwant oddziaływań słabych – weak forces). Cząstka ta okazała się później źródłem łamania symetrii parzystości (P) i sprzężenia ładunkowego (C) w oddziaływaniach słabych.



Hideki Yukawa (po lewej) i Isidor Isaac Rabi na Columbia University (AIP Emilio Segrè Visual Archives)

George Rochester i Clifford Butler w laboratorium Patricka Blacketta w Manchesterze odkryli ponadto inny mezon – później nazwany „dziwnym” – w roku 1947, tym samym, w którym odkryto mezon  $\pi$ . Ten mezon, zwany  $\theta$ , rozpada się na dwa piony. Prawie 10 lat zajęło ustalenie, że  $\theta$  oraz jeszcze inny mezon, rozpadający się na 3 piony, zwany  $\tau$ , o takiej samej masie i czasie życia to nie dwa różne mezony, lecz jedna cząstka – mezon K – rozpadająca się na dwa sposoby. Lee i Yang rozwiązali słynną zagadkę  $\theta\text{-}\tau$  w roku 1956, gdy wykazali, że od strony doświadczalnej nie ma żadnych dowodów na niezmienniczość słabych oddziaływań względem przekształceń P i C; dowody doświadczalne na rzecz słuszności ich tezy pojawiły się wkrótce potem.

Naruszenie symetrii P i C wywołało problem zachowania CP, a więc – przez twierdzenie CPT – także niezmienniczości względem odwrócenia czasu (T). Hipotezę takiej niezmienniczości wysunął Lew Landau, natomiast Lee, Reinhard Oehme i Yang podkreślali brak jej doświadczalnego potwierdzenia. Dowód na to, że od strony doświadczalnej byli na dobrej drodze, pojawił się w roku 1964, gdy James Christenson, James Cronin, Val Fitch i René Turlay odkryli, że mezon zwany  $K_2^0$  też rozpada się na dwa mezony Yukawy. Słynne stwierdzenie Rabiego brzmiało teraz: „Kto zamawiał ten zestaw?”, przy czym „zestaw” oznaczał bogatą zawartość kopalni Yukawy.

Końcowy komentarz na temat „żyły rozpadów” w tej kopalni złota dotyczy rozpadu obojętnego elektrycznie mezonu Yukawy,  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ . Tak powstała anomalia ABJ, słynna anomalia chiralna, nazwana tak na cześć Stevena L. Adlera, Johna Bella i Romana Jackiwa, która ma niezwykle konsekwencje w obszarze sił nieabelowych. Jedną z tych konsekwencji jest warunek braku anomalii, istotna składowa w modelowaniu teoretycznym, która wyjaśnia, dlaczego liczba kwarków wśród podstawowych fermionów musi być równa liczbie leptonów. Umożliwiło to przewidzenie teoretyczne istnienia najcięższego kwarka – kwarka t – oprócz kwarka b w trzeciej rodzinie elementarnych fermionów.

### Struktura wewnętrzna

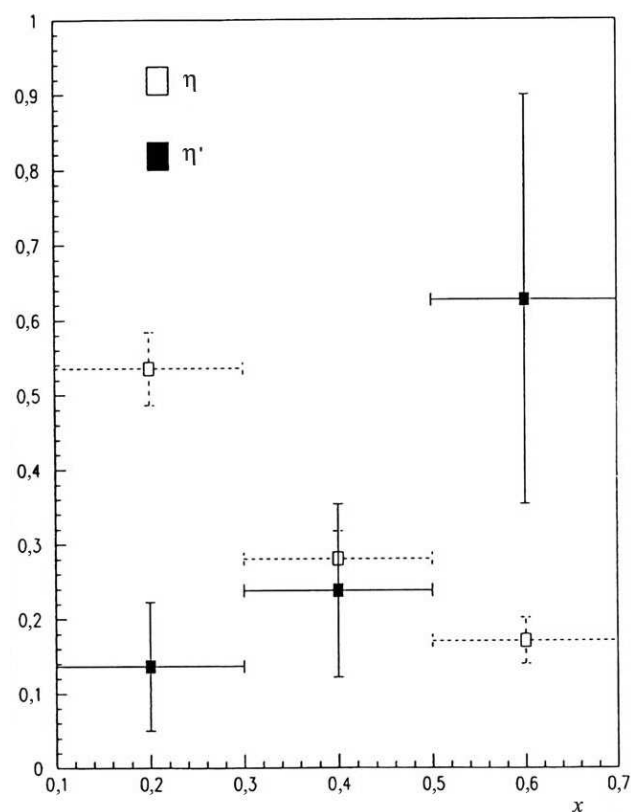
Cząstka Yukawy składa się z pary dwóch najbliższych (o prawie zerowej masie) elementarnych fermionów: kwarka u oraz kwarka d. Pozwala nam to zrozumieć, dlaczego w oddziaływaniach silnych powinna istnieć niezmienniczość chiralna – własność odpowiadająca symetrii globalnej. Spontaniczne naruszenie tej globalnej symetrii wytwarza bozon Nambu–Goldstone’a. Wewnętrzna budowa cząstki Yukawy wymaga istnienia nieabelowej siły fundamentalnej – oddziaływania chromodynamiki kwantowej (QCD) – działającej między składnikami mezonu  $\pi$  (kwarkami a gluonami) i mającej swój początek w zasadzie cechowania. Dzięki niej kwant QCD jest wektorem i nie niszczy niezmienniczości chiralnej.

Aby wytłumaczyć niezerową masę mezonu Yukawy, należało założyć istnienie innej cechy nieabelowych sił QCD: instantonów. Dzięki nim niezmienniczość chiralna może być naruszona także w sposób niespontaniczny. Gdyby tak nie było, mezon  $\pi$  nie mógłby być tak „ciężki”, lecz musiałby mieć masę prawie zerową. Czy może więc istnieć mezon pseudoskalarny o masie tak dużej jak masa nukleonu? Odpowiedź brzmi „tak”: nazywa się on  $\eta'$  i stanowi końcowy produkt kopalni złota zapoczątkowanej odkryciem mezonu  $\pi$ . Jego masa nie jest pośrednia, lecz jest prawie równa masie nukleonu.

Mezon  $\eta'$  jest mezonom pseudoskalarnym, podobnie jak  $\pi$ , i początkowo nosił nazwę  $X^0$ . Tylko nieliczni wierzyli, że może to być pseudoskalar, bo zarówno jego masa, jak i szerokość połówkowa są na to zbyt duże, nie było też oznak jego rozpadu na 2 fotony  $\gamma$ . Brak tego sposobu

rozpadu początkowo przeszkodził uznaniu  $X^0$  za dziewiątego singletowego członka pseudoskalarnego nonetu  $SU(3)$  Murraya Gell-Manna i Yuvala Ne’emana, o składzie kwarkowym uds. Ale późniejsze odkrycie rozpadu na 2 fotony  $\gamma$  było silnym argumentem za pseudoskalarnym charakterem  $X^0$ , a gdy już to ustalono, jego skład gluonowy został przewidziany teoretycznie przy użyciu instantonów QCD.

Jeśli  $\eta'$  ma istotną składową gluonową, to powinniśmy oczekiwać, że zobaczymy typowy nieperturbacyjny efekt QCD: wiodącą produkcję w dżetach gluonowych. Ten właśnie efekt zaobserwowano w produkcji mezonów  $\eta'$  w dżetach gluonowych, a nie ma go w produkcji mezonu  $\eta$  (rys. 1).



Rys. 1. Rozkłady zmiennej Feynmana  $x$  (ułamkowej energii) dla produkcji  $\eta$  oraz  $\eta'$ , pokazujące wiodący efekt  $\eta'$  [11]; na osi rzędnych: różniczkowy przekrój czynny (w jednostkach względnych)

Interesujące jest tu, że – jak się wydaje –  $\eta'$  jest najniższym stanem pseudoskalarnym o największym wkładzie kwantów QCD. Mezon  $\eta'$  jest więc cząstką najbardziej bezpośrednio związaną z pierwotną ideą Yukawy, który opowiadał się za istnieniem kwantu pola sił jądrowych:  $\eta'$  jest cząstką Yukawy ery QCD. Po siedemdziesięciu paru latach od powstania pierwotnej idei Yukawy stwierdzamy, że jego mezon  $\pi$  doprowadził w naszym myśleniu do fantastycznego postępu, którego ostatnim krokiem jest mezon  $\eta'$ .

## Świat kolorowych kwarków i gluonów

Kopalnia złota Yukawy przyniosła nam jeszcze coś: imponujący szereg zupełnie niespodziewanych odkryć. Wspomnijmy o zaledwie trzech z nich: 1) doświadczalnych dowodach na istnienie cząstki promieniowania kosmicznego, jak wierzono – mezonu Yukawy – która jednak okazała się leptonem (mionem); 2) odkryciu, że szereg  $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$  narusza symetrię parzystości i sprzężenia ładunkowego; 3) ustaleniu, że wewnętrzną budową cząstki Yukawy rządzi nowa, fundamentalna siła przyrody – oddziaływanie silne opisane przez QCD.

Jest to w pełni spójne z wielkimi krokami w fizyce: wszystkie były całkowicie niespodziewane. Takie zupełnie nieoczekiwane zdarzenia, nazwane przez historyków efektami typu Sarajewa, charakteryzują „złożoność”. Szczegółowa analiza pokazuje, że doświadczalnie obserwowalne wielkości, które charakteryzują złożoność w danej dziedzinie, istnieją także w fizyce; dowodem na to jest kopalnia Yukawy. Oznacza to, że złożoność istnieje na poziomie podstawowym i że całkowicie nieoczekiwane efekty – których nie można przewidzieć na podstawie obecnej wiedzy – powinny pojawić się w fizyce. Nikt nie wie, gdzie pojawienie się tych efektów jest najbardziej prawdopodobne. Pewne jest jedynie to, że potrzebujemy nowych urządzeń doświadczalnych, takich jak te, które są już w budowie w różnych miejscach świata.

Wraz z uruchomieniem w CERN-ie akceleratora LHC pojawi się możliwość badania własności świata kolorowych kwarków i gluonów (QGCW). Jest on całkiem inny niż nasz świat zbudowany z próżni QCD z „bezbarnymi” barionami i mezonami, ponieważ QGCW zawiera wszystkie stany dozwolone przez grupę kolorową  $SU(3)_c$ . Aby badać ten świat, Yukawa doradziłby nam poszukiwanie szczególnych efektów wynikających z warunku braku bezbarwności. Skoro warunek ten nie jest potrzebny, liczba możliwych stanów w QGCW jest znacznie większa od liczby bezbarwnych barionów i mezonów, które dotychczas uzyskano we wszystkich naszych laboratoriach.

Tak więc pierwsze pytanie brzmi: jakie są tego konsekwencje dla własności QGCW? Drugie pytanie dotyczy problemu lekkich i ciężkich kwarków. Czy masy kolorowych kwarków w QGCW są takie same, jak wartości uzyskane przez nas z faktu, że mezony i bariony muszą być bezbarwne? Może być tak, że wszystkie zapachy kwarkowe (których jest 6) są stowarzyszone z prawie „bezmasowymi” stanami, podobnymi do stanów kwarków  $u$  oraz  $d$ . Innymi słowy, powód, dla którego kwark  $t$  jawi się nam tak ciężki (ok. 200 GeV), może być skutkiem jakiegoś dotychczas nieznanego warunku związanego z tym, że ten stan końcowy musi być bezbarwny w sensie QCD. Wiemy, że uwięzienie daje wartości masy rzędu 1 GeV. Zatem, zgodnie z naszą obecną wiedzą warunek bezbarwności w sensie QCD nie może wyjaśnić dużych mas kwarków. Skoro jednak pochodzenie mas kwarków nadal nie jest znane, nie można wykluczyć, że w kolorowym świecie QCD każdy z sześciu kwarków jest prawie bezmasowy i że warunek braku koloru jest zależny od zapachu. Gdyby

tak było, QCD nie byłaby „nieczuła na zapachy” i to byłby powód, dla którego mierzone przez nas masy są większe od efektywnych mas kolorowych kwarków. W tym przypadku wszystkie możliwe stany generowane przez „ciężkie” kwarki powstawałyby w QGCW w znacznie niższej temperaturze niż w naszym świecie zbudowanym z mezonów i barionów, czyli stanów bezbarwnych w sensie QCD. Tu znowu powinniśmy spróbować zobaczyć, czy da się wykryć jakieś nowe efekty wynikające z istnienia w fizyce QGCW w stosunkowo niskiej temperaturze wszystkich zapachów, łącznie z tymi, które mogą istnieć oprócz sześciu dotychczas odkrytych.

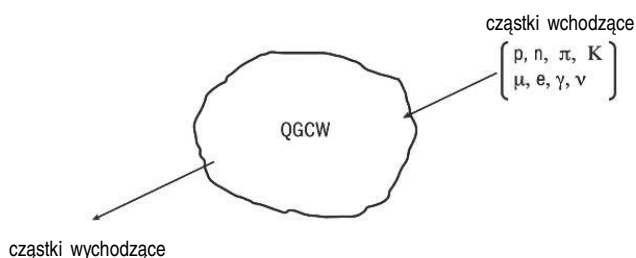
Trzecie pytanie dotyczy termodynamicznych własności QGCW. Czy będą one zgodne z warunkami „ekstensywności”, czy „nieekstensywności”? Przy ogromnej liczbie stanów QCD z otwartym kolorem dozwolonych w QGCW może zajść wiele różnych przejść fazowych i powinna się ujawnić ogromna różnorodność złożonych układów. Własności tego „nowego świata” powinny otworzyć bezprecedensowe horyzonty w badaniu ścieżek logiki przyrody.

Czwarty związany z tym problem polegałby na wprowadzeniu dla QGCW prawa równoważnego prawu Stefana–Boltzmana dla promieniowania. W klasycznej termodynamice związek między emisyjną gęstością energii  $U$  i temperaturą źródła  $T$  ma postać  $U = sT^4$ , gdzie  $s$  oznacza pewną stałą. Natomiast w QGCW odpowiedniość powinna mieć postać  $U = p_T$ , przy czym  $T$  oznacza średnią energię w układzie środka masy, a  $p_T$  – składową poprzeczną pędu. W ramach QGCW produkcję „ciężkich” zapachów można byłoby badać jako funkcję  $p_T$  oraz energii  $E$ . Oczekuje się, że  $p_T = cE^4$ , gdzie  $c$  oznacza pewną stałą; jakiegokolwiek odstępstwo od tej zależności byłoby bardzo istotne. Badanie własności QGCW powinno stworzyć poprawną strukturę matematyczną jego opisu. Ten sam formalizm matematyczny powinien pozwolić nam przejść od QGCW do fizyki barionów i mezonów, a stamtąd do bardziej ograniczonej dziedziny – fizyki jądrowej, w której wszystkie własności jąder powinny ostatecznie znaleźć kompletny opis.

## Ostatnia lekcja Yukawy

Wraz z nadejściem LHC rozwój nowych technologii powinien stworzyć możliwość doprowadzenia do zderzeń między różnymi stanami cząstek ( $p$ ,  $n$ ,  $\pi$ ,  $K$ ,  $\mu$ ,  $e$ ,  $\gamma$ ,  $\nu$ ) i wykorzystania QGCW do badania własności nowego świata. Na rysunku 2 widać przykład takiego badania przy użyciu wiązek znanych cząstek. Specjalny zestaw detektorów mierzy parametry wychodzących cząstek. Stany QGCW powstają w zderzeniu między ciężkimi jonami ( $^{208}\text{Pb}^{82+}$ ) przy największej dostępnej energii, tj. 1150 TeV, i planowanej świetlności  $10^{27} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Aby to osiągnąć, CERN musi poprawić jakość łańcucha iniektorów jonowych, w skład którego wchodzi: Linac3, pierścień jonów o niskiej energii (LEIR), synchrotron protonowy (PS) i supersynchrotron protonowy (SPS). Gdy będą już możliwe zderzenia ołów–ołów, problemem stanie się synchronizacja wiązki „protonowej” z powstałym w ten sposób QGCW.

Ten problem jest obecnie analizowany. Technologia detektorowa też podlega intensywnym badaniom i wdrożeniom, gdyż potrzebna jest bardzo precyzyjna synchronizacja.



Rys. 2. Uproszczony diagram ilustrujący, jak badać świat kolorowych kwarków i gluonów QGCW; nie pokazano specjalnego układu detektorów. QGCW powstaje w zderzeniu ciężkich jonów ( $^{208}\text{Pb}^{82+}$ ) o najwyższej energii.

Jeśli przyroda wykazuje złożoność na poziomie fundamentalnym, to powinny się ujawnić całkiem nieoczekiwane efekty. Ale, podobnie jak w kopalni Yukawy, otwartej przed ponad 70 laty, nowych odkryć dokonamy tylko pod warunkiem, że technika doświadczalna będzie stanowić awangardę naszej nauki. Aby zostały dokonane wszystkie niespodziewane odkrycia związane z cząstką Yukawy, potrzebne były komory mgłowe, emulsje fotograficzne, silne pola magnetyczne i potężne akceleratory cząstek. Oznacza to, że także i dziś musimy być gotowi

z najbardziej zaawansowaną technologią, jeśli chcemy dokonać nieoczekiwanych odkryć. To ostatnia lekcja, jakiej udzielił nam Yukawa.

Tłumaczyła Magdalena Staszal  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Uniwersytet Warszawski

## Literatura

- [1] H. Yukawa, *Proc. Physico-Math. Soc. Japan* **17**, 48 (1935).
- [2] S.H. Neddermeyer, C.D. Anderson, *Phys. Rev.* **51**, 884 (1937).
- [3] J.C. Street, E.C. Stevenson, *Phys. Rev.* **52**, 1003 (1937).
- [4] Y. Nishina, M. Takeuchi, T. Ichimiya, *Phys. Rev.* **52**, 1198 (1937).
- [5] S.H. Neddermeyer, C.D. Anderson, *Phys. Rev.* **54**, 88 (1938).
- [6] Y. Nishina, M. Takeuchi, T. Ichimiya, *Phys. Rev.* **55**, 585 (1939).
- [7] M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, *Phys. Rev.* **71**, 209 (1947).
- [8] E. Fermi, E. Teller, V. Weisskopf, *Phys. Rev.* **71**, 314 (1947).
- [9] C.M.G. Lattes, H. Muirhead, G.P.S. Occhialini, C.F. Powell, *Nature* **159**, 694 (1947); C.M.G. Lattes, G.P.S. Occhialini, C.F. Powell, *Nature* **160**, 454 (1947).
- [10] *The Origin of the Third Family*, red. O. Barnabei i in., World Scientific Series in 20th Century Physics, t. 20 (World Scientific, 1998), s. 14.
- [11] L. Cifarelli, T. Massam, D. Migani, A. Zichichi, *Highlights: 50 Years Later* (World Scientific, 1998).

## LISTY DO REDAKCJI

### Dydaktyczna klęska fizyki

Trudno uwierzyć, że fizyka, która wytycza ós Wszechświata, stała się w Polsce XXI wieku kopcuszkim wśród przedmiotów szkolnych. Zdecydowana większość uczniów jej nie lubi i nie wiąże z nią planów zawodowych. Absolwent liceum słyszał co prawda o Einsteinie i czarnych dziurach, ale na ogół nie rozumie zasad dynamiki Newtona. Oczywiście pod warunkiem, że je zna. Jeśli ktoś uważa, że to czarna wizja, niech ze studentami I roku przedyskutuje zagadnienie: czy pierwsza zasada dynamiki wynika z drugiej? Trawestując znaną sentencję, można powiedzieć: jacy uczniowie, takie i Rzeczypospolite. Nie spotkałem jeszcze wykształconego Polaka, który uważałby, że układ geocentryczny nie jest błędny. Jeszcze bardziej smuci fakt, że za błędny uważa go wielu fizyków. Niewielu ludzi po studiach wie, że zasady Newtona to związki przyczynowe, a nie szkolne regułki. Do kanonu wiedzy inteligenta nie należą też opisujące ogólnie akceptowaną rzeczywistość prawa Keplera. Nie chodzi tu o ich uzasadnienie, ale przynajmniej ich znajomość. A wydawałoby się, że człowiek XXI w. powinien pójść dalej i dowiedzieć się, jak powstaje

promieniowanie elektromagnetyczne oraz dlaczego czasem trzeba stosować mechanikę kwantową. Jakże boleśnie zderza się to z telewizyjną reklamą plastrów, które chronią przed „negatywną energią Wszechświata”. Podczas zajęć odkryłem, że nawet doktoranci politechniki nie do końca wierzą w wektorowy charakter natężenia pola elektrycznego, a przekonanie, że prawo Ohma nie ma nic wspólnego z mechaniką czy że postulaty Bohra to prawa fizyki, jest wśród nich powszechne.

Ten brak wiedzy nie bierze się znikąd, to przecież rezultat nauczania. Twierdzę, że podstawową przyczyną tej klęski jest lekceważenie wykładu z fizyki ogólnej na kierunkach kształcących fizyków. Prawie bezpośrednio wynika ono ze sposobu oceny uczelnianych instytutów fizyki, który w skrócie ujmuje opinia: o poziomie kształcenia fizyki świadczą wyłącznie wyniki naukowe instytutu.

Ta zewnętrzna ocena rzutuje na ocenę pracowników. Teoretycznie działalność dydaktyczna ma w niej 50% udziału. W praktyce część dydaktyczna sprowadza się do stwierdzenia, że wszyscy uczą jednakowo dobrze (!), ot – prowadzą wykłady, ćwiczenia i laboratoria. Część naukowa oceny, podporządkowana zewnętrznym kryteriom, jest wy-



mierzana w punktach i w takiej sytuacji to ona decyduje o ocenie całościowej, awansach, zarobkach i znaczeniu pracownika na uczelni. Prowadzi to do pogoni za specjalistycznymi publikacjami i odsuwania na dalszy plan głębszej analizy fizyki klasycznej i przygotowania własnego, przemyślanego wykładu. Nie twierdzę, że wynik naukowy instytutu nie wpływa na jakość kształcenia, ale to, że tylko on o niej decyduje, jest jedynie półprawdą. Jest prawdą, że wybitni uczeni odgrywają najistotniejszą rolę w kształceniu specjalistycznym, realizowanym na wyższych latach studiów, a nieprawdą, że wszyscy oni potrafią skutecznie nauczyć fizyki. Przykładem są tu *Feynmana wykłady z fizyki*, z których trudno nauczyć się fizyki od podstaw. Po latach od jednego ze współautorów dowiedzieliśmy się, że studenci szybko przestali na te wykłady uczęszczać, a frekwencję zapewniali pracownicy naukowcy. Kurs berkeleyowski nawet po odrzuceniu *Fizyki kwantowej* też wymaga wielkiej modyfikacji. Aby dobrze wyklądać fizykę ogólną studentom, którzy właśnie skończyli liceum, trzeba przez wiele lat, wręcz naukowo, przygotować program od strony dydaktycznej. Nie może być w nim żadnego zagadnienia, poza zasadami, podanego bez wyprowadzenia. Wszystkie wnioski trzeba umieć zilustrować doświadczeniem bądź ogólnie znanym faktem z życia codziennego. Zasady powinny być wprowadzone tak, by słuchacz nie miał wątpliwości, że opisują to, co sam widzi. Program trzeba rozłożyć w czasie i zsynchronizować z nauczaniem matematyki. Oczywiście w początkowej fazie całą potrzebną matematykę należy wprowadzić niezależnie samemu. Fizyka na studiach fizyki zaczyna się od pierwszego semestru, trudno nie zacząć od mechaniki, a więc już wtedy potrzebne są pochodne, całki, proste równania różniczkowe i rachunek wektorowy. Wykład powinien udowodnić, że materia składa się z atomów, i kończyć się wytłumaczeniem „katastrofy w nadfiolecie” oraz obliczeniem czasu życia atomu wodoru z wykorzystaniem postulatów Bohra. Student po ukończeniu takiego kursu powinien dojść do konkluzji: użyłem wszystkich zasad oraz odpowiedniego aparatu matematycznego i nie mogę wyjaśnić faktu, że materia się nie zapada oraz nie emituje zabójczego promieniowania. Jeśli do takiej konkluzji nie dojdzie, to mechanikę kwantową przyjmuje na wiarę, jako nowy początek, a nie kontynuację myśli.

Fizyka ogólna jest przedmiotem wyjątkowym pod względem rozpiętości treści. Nie ma drugiego kursu tak trudnego dydaktycznie. O tym, jak dużo czasu wymaga przygotowanie dobrego wykładu, może świadczyć tworzony od ponad 40 lat i ciągle jeszcze daleki od doskonałości kurs Hallidaya i Resnicka.

To kurs fizyki ogólnej, a nie specjalistyczne kursy kształtują nauczycieli, a oni z kolei decydują o tym, czy na fizykę przyjdą umotywowani i dobrze przygotowani kandydaci, i tak zamyka się koło nie-fortuny.

Drugą co do ważności przyczyną dydaktycznej kłębki jest systematyczne i programowe, szkolne zniechęcanie uczniów do fizyki. Brak logiki wychodzący na egzaminach do gimnazjum, liceum oraz maturalnych i lęk przed przedmiotami ścisłymi to efekt działania szkoły, a nie braku zdol-

ności u dzieci. One myślą logicznie od urodzenia, czego dowodem są umiejętności, jakich nabywają w wieku przedszkolnym. W szkole pierwszym filarem niepowodzenia jest program, a o nim decyduje ministerstwo. Oto wypowiedź jednego z ministrów edukacji: „Podobnie z fizyką. Każdy program zaczyna się od mechaniki Newtona. A potem już nie ma czasu na wszystko, co jest interesujące i nowoczesne, a co powoduje zrozumienie współczesnego świata”.

Tego rodzaju dyrektywy wtoczyły w program liceum, w standardzie nieprzekraczającym 160 godzin, oprócz „przestarzałej mechaniki Newtona” szczególną teorię względności, elektrodynamikę z prawami Maxwella i optyką, termodynamikę z fizyką cząsteczkową, grawitację, fizykę atomu i cząstek elementarnych, fizykę ciała stałego i jeszcze astronomię. Bravo! Niech pan minister przyjdzie i zrealizuje ten program, bo ja bym się nie podjął, chyba że bez wymogu nauczenia kogokolwiek czegokolwiek. Dopóki nie nauczymy, że ruchy rzuconych kamieni i planet są tym samym zjawiskiem, nie wspominajmy o teorii względności i Wielkim Wybuchu. Niech uczeń dowiaduje się o tym ze źródeł pozaprogramowych. Szkoła nie powinna podawać wiedzy niezrozumiałej, tzn. niewyprowadzonej matematycznie lub niezabserwowanej doświadczalnie. „Nowoczesne” słowo „kwark” podane *ex cathedra* niczego nie przybliży ani nie tłumaczy (równie dobre byłoby np. słowo „trom”). Obciąża jedynie pamięć i co gorsza buduje przeświadczenie, że fizyka, podobnie jak biologia, chemia, historia czy „języki”, jest jedną z nauk pamięciowych. Przy takim nastawieniu uczenie się fizyki jest męczarnią i po kolejnych nieudanych próbach rozwiązania zadań – bo tu trzeba być elastycznym, nie wystarczy szablon pamięciowy – marzeniem większości jest uwolnić się od niej.

Trzecią przyczyną kłębki są podręczniki szkolne. W ostatnich latach powstało ich wiele, lecz są bardzo niedopracowane, począwszy od wstępów, gdzie roi się o nieścisłości historyczno-merytorycznych, a skończywszy na głównych treściach, które niejednokrotnie są podane błędnie. Oto fragment jednego – obowiązywał on w szkole, w której uczyłem w zeszłym roku:

Treść pierwszej zasady dynamiki informuje nas, jakie warunki muszą być spełnione, aby ciało pozostawało w spoczynku lub poruszało się ruchem jednostajnym prostoliniowym. W drugiej zasadzie dynamiki sformułowane są warunki, które powodują zmienny ruch ciała.

I zasada dynamiki: Jeśli siły działające na ciało równoważą się (czyli siła wypadkowa ma wartość zero), ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

II zasada dynamiki: Jeśli siły działające na ciało nie równoważą się (czyli siła wypadkowa  $F_w$  jest różna od zera), to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem, którego wartość jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej  $F_w$ . Współczynnik proporcjonalności jest równy odwrotności masy ciała. Kierunek i zwrot przyspieszenia jest zgodny z kierunkiem i zwrotem siły wypadkowej.

$$a = \frac{F_w}{m}$$

III zasada dynamiki: Oddziaływania ciał są zawsze wzajemne. Siły wzajemnego oddziaływania dwóch ciał mają takie

same wartości, taki sam kierunek, przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia (każda działa na inne ciało).

Zasady dynamiki Newtona nie są spełnione w każdym układzie odniesienia. Układy, w których można je stosować, nazywają się układami inercyjnymi i wszystkie nasze rozważania będziemy (na razie) przeprowadzać tylko w takich układach. Dla znacznej liczby zjawisk, które obserwujemy i opisujemy na Ziemi, układ związany z Ziemią można uważać za inercjalny. Wszystkie układy inercjalne są względem siebie nieruchome albo poruszają się względem siebie ruchem postępowym, prostoliniowym i jednostajnym.

Stawiając się w położeniu ucznia, niewiele z tego rozumiem i myślę, że na te słowa nie tylko Newton przewraca się w grobie. Nie ma tu ani jednego zdania wartościowego dydaktycznie.

Weźmy zdanie pierwsze. Pierwsza zasada była zupełnie niepotrzebnym ozdobnikiem w momencie, gdy ustalono się Układ Absolutny. Służyła jako koronny argument przeciw teorii Arystotelesa. To on twierdził, że jeśli przyczyna ustaje, to ustaje też ruch. Ta zasada stała się konieczna, gdy okazało się, że Układu Absolutnego nie ma. Ona nie informuje o warunkach spoczynku czy ruchu ze stałą prędkością, te warunki wynikają z drugiej zasady. I zasada definiuje układ inercjalny, powinna więc zaczynać się od słów: „Układem inercyjnym nazywamy” i kończyć np.: „taki niematerialny układ odniesienia, względem którego odosobniony punkt materialny porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym”.

Zdanie drugie jest nieprawdziwe, gdyż II zasada określa warunki zmiany prędkości w dowolnym ruchu (w tym spoczynku), tylko że w układzie inercyjnym.

I zasada tak sformułowana zawiera się w drugiej, ogólniejszej, a więc jest zbędna. Ponadto zupełnie niepotrzebne jest wtrącenie w nawiasie.

II zasada. Nie ma założenia o stałości masy – to stale się powtarzający, poważny błąd. Jest strasznie rozwleczona. Niepotrzebne jest wtrącenie w nawiasie, a cały tekst po słowach „porusza się” powinien się ograniczyć do tradycyjnego: „z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do siły wypadkowej i odwrotnie proporcjonalnym do masy”. Wszystkie te niepotrzebne ozdobniki zamazują sens nawet tak sformułowanej zasady. Jest też oczywiste, że jeśli myślące dziecko przeczyta takie zdania, to wyciągnie logiczny wniosek, że pierwsza zasada wynika z drugiej.

A przecież można by napisać: w układzie inercyjnym zmiana pędu ciała w ciągu sekundy równa się sile działającej na to ciało.

III zasada. Podany tekst wyraźnie utrudnia jej zrozumienie. Po co zmieniać tradycyjne „Jeśli ciało A działa na ciało B”? Można jedynie dodać w odpowiednim miejscu: „to jednocześnie ciało B”.

Następny akapit, który ma objaśnić pojęcie układu inercjalnego, nie spełnia tego zadania. Jego pierwsze zdanie właściwie zawiera się w drugim, a jeśli drugie jest prawdą, to pierwsza zasada zawiera się w drugiej. To zda-

nie zamyka błędne koło: zasady dynamiki spełnione są w układach inercjalnych, a układy inercjalne to te, w których spełnione są zasady dynamiki, i dalej nie wiemy, jak rozpoznawać te układy. Precyzja trzeciego pozostawia wiele do życzenia. Ostatnie nie ma sensu, jeśli nie zdefiniuje się układu inercjalnego. Poza tym, czy istnieje ruch jednostajny prostoliniowy, który nie jest postępowy?

Czy taki tekst może zachęcić do fizyki?

Czwartą przyczyną klęski są tradycyjnie nieudane egzaminy maturalne. Weźmy ten z roku 2008 na poziomie rozszerzonym. Czyż można sobie wyobrazić mocniejszy policzek wymierzony dobrym nauczycielom fizyki? Jacyż to znawcy i jak długo myśleli, by po raz kolejny dowiedzieć, że prawo Ohma jest jednym z najważniejszych praw fizyki (jedno zadanie z czterech daje mu 25% udziału)? Dlaczego w zadaniach pominięto prawie całą elektrodynamikę i termodynamikę? Treść zadania drugiego prowadzi do wniosku, że główną troską nauczyciela fizyki powinno być nauczanie czytania ze zrozumieniem. Gdyby tego było mało, to w zadaniu z żarówką (trudno o prymitywniejsze) podaje się z wytluszczeniem, że opór wzrósł dziesięciokrotnie, jakby tego nie można było obliczyć na podstawie danych. Zadanie z astronomii to typowa „pamięciówka”. Nauczyciele, którzy przez trzy lata rzetelnie uczyli, zostali tym egzaminem głęboko upokorzeni. Jeszcze raz pokazano im, że lepiej zrobili ci, którzy ograniczyli się do wyuczenia „na pamięć” praw: Ohma, powszechnego ciężenia i Keplera (wynik – 50%). Gdy dorzucić do tego wzór na energię kinetyczną i wzór soczewkowy, wynik ociera się o piątkę i to bez pozostającej od lat w niełasce dynamiki Newtona. Jaką korzyść z takiego egzaminu będą miały uczelnie techniczne? Czy wynik na pięć zapewnia im przygotowanego kandydata? A co zapewnia trójka?

„Wołowej skóry” nie starczyłoby na spisanie wszystkich grzechów szkolnej fizyki. Rezultatem jest ogólna niechęć do fizyki. Nie odwrócą tego piękne inicjatywy w postaci Festiwalu Nauki i popularyzacja w czasopismach. Jeśli chcemy mieć na fizyce studentów i kształcić dobrych nauczycieli, musimy zmienić nastawienie do dydaktyki. Trzeba głęboko przeanalizować programy i podręczniki, od gimnazjalnych aż po studenckie. Trzeba przywrócić ostrość i rzetelność recenzjom, także książek popularyzatorskich. Do komisji programowych i egzaminacyjnych czas już powołać dobrych dydaktyków fizyki. Należy ich intensywnie poszukiwać bardziej obiektywnymi sposobami. Natomiast tych, którzy potrafią nauczyć fizyki ogólnej na uczelniach, wypadałoby zrównać w znaczeniu z publikującymi naukowcami, a nie skazywać na drugoplanowe role i pensje. Być może wtedy odwrócimy tendencję i odzyskamy sympatię społeczną, czego przyszłym pokoleniom fizyków serdecznie życzę.

Jacek Własak

Instytut Fizyki

Politechnika Wrocławska

## Kryształy Molekularne 2008



Trzydzieści lat temu pojawiła się myśl, by spotkać się we Wrocławiu i porozmawiać o kryształach molekularnych. W owych czasach materiały te nie należały do tych z pierwszych stron czasopism naukowych. Kryształ molekularne postrzegane były jako układy

związane słabymi oddziaływaniami międzymolekularnymi, o niezbyt ciekawych właściwościach – nawet ich przewodnictwo elektryczne było małe. Przeczując jednak, że w materiałach molekularnych drzemie wielki potencjał, postanowiliśmy spotykać się systematycznie i dyskutować o tych, jak się później okazało, fascynujących materiałach.

Podczas kolejnych, cyklicznie odbywających się konferencji, gama dyskutowanych zagadnień wzrosła niewspółmiernie, a Ogólnopolskie Konferencje „Kryształy Molekularne” stały się forum dyskusyjnym na niemalże wszystkie tematy związane z fizyką, chemią, technologią i inżynierią molekularną materiałów organicznych. Dziś zakres zainteresowań badaczy uczestniczących w konferencjach tego cyklu rozszerzył się niebywale. Na zakończonej ostatnio XVI Konferencji prezentowane były prace obejmujące wszystkie kierunki fizyki molekularnej, od pojedynczych cząsteczek i materii międzygwiazdowej, przez kryształ o różnych właściwościach i ciekłe kryształ, aż po nanowarstwy, nanotechnologię i fizykę nanoukładów.

Tegoroczna Konferencja zorganizowana została przez Wydział Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej i Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk przy współdziałaniu Komitetu Fizyki PAN. Odbyła się w dniach 8–12 września 2008 r. w Ośrodku Szkoleniowo-Wypoczynkowym w Błaziejewku, letniku położonym w bezpośredniej bliskości Poznania i Gniezna, miejsc historycznych, w których rodziła się polska państwowość. W Konferencji uczestniczyło ponad 110 naukowców reprezentujących niemalże wszystkie ośrodki naukowe zajmujące się fizyką i chemią materiałów organicznych. Cieszy ogromnie, że w znacznej części byli to młodzi badacze, doktoranci, a nawet studenci – można więc z optymizmem patrzeć na przyszłość badań nad organicznym ciałem stałym.

Uczestnicy Konferencji przedstawili wyniki swych badań w 25 komunikatach ustnych i ponad 60 prezentacjach plakatowych. Wielką wartością Konferencji były też wykłady wygłaszane na zaproszenie przez wybitnych specjalistów. Henryk Ratajczak (Wrocław) mówił o roli wiązania wodorowego w generowaniu nieliniowych własności optycznych kryształów molekularnych. Andrzej L. Sobolewski (Warszawa) przykuł uwagę uczestników swymi rozważaniami na temat fotofizyki wiązania wodorowego, a Marek J. Potrzebowski (Łódź) przedstawił spektroskopię NMR jako doskonałą metodę badań kryształów molekularnych. Roman Świetlik (Poznań) przedstawił najnowsze

wyniki badań przewodzących i magnetycznych materiałów molekularnych, a Jerzy Sanetra (Kraków) mówił o działaniu i budowie ogniw fotowoltaicznych. Znakiem czasu jest miniaturyzacja elementów elektronicznych; w ten kierunek wpisywały się doskonale wykłady Tomasza Martyńskiego (Poznań) i Andrzeja Miniewicza (Wrocław). Pierwszy z nich mówił o organizacji warstw Langmuira ciekłych kryształów, a drugi zafascynował słuchaczy osiągnięciami w zakresie fotoniki, prezentując biopolimer pochodny DNA jako matrycę dla nowych materiałów fotochromowych. Z mikroświata do kosmosu przeniósł słuchaczy Jan Fulara (Warszawa), mówiąc o obłokach materii międzygwiazdowej.

Podczas XVI Ogólnopolskiej Konferencji „Kryształy Molekularne 2008” dominowało kilka grup zagadnień, przede wszystkim cienkie warstwy, barwniki wraz z fotowoltaiką i transferem energii oraz ciekłe kryształ. Okazuje się, że przeróżne materiały molekularne ostatnio są najczęściej badane w postaci cienkich warstw. Można właściwie powiedzieć, że tytułowe kryształ molekularne zubożone zostały o jeden wymiar.

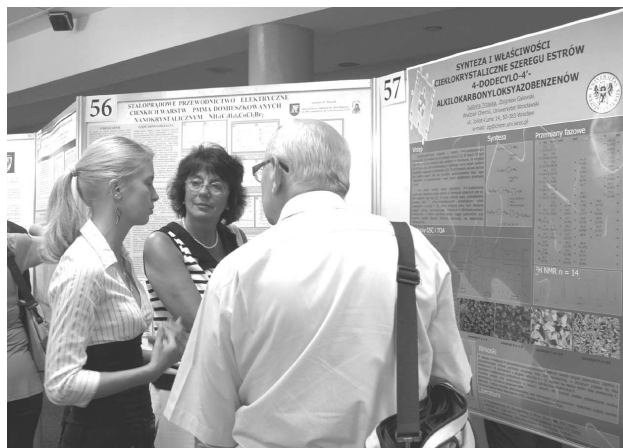
W pierwszej grupie zagadnień, reprezentowanej przez kilkanaście prac, były doniesienia o właściwościach fizycznych i organizacji materiałów molekularnych w postaci cienkich warstw. Jak wynika m.in. z prezentowanych prac grupy Małgorzaty Zagórskiej, jednym z istotnych czynników mogących wpływać na takie właściwości materiałów jak transport ładunku elektrycznego, widma i właściwości optoelektryczne jest organizacja nadcząsteczkowa. Pokazano to na przykładzie właściwości elektrycznych cienkich warstw polianiliny oraz jej mieszanin z polimerami przemysłowymi jak również pochodnych politiofenu domieszkowanego polistyrenem. W laboratorium Jacka Ułańskiego metodą wylewania strefowego, wykonano organiczne tranzystory polowe wykorzystujące pochodne tiafulwalenu. Przedstawione wyniki pokazały, że metoda wylewania strefowego jest odpowiednią techniką do otrzymywania uporządkowanych, cienkich warstw półprzewodników organicznych na elastycznych podłożach, co można wykorzystać do budowy różnych molekularnych układów elektronicznych. W ośrodku poznańskim natomiast zajmowano się warstwami Langmuira i Langmuira–Blodgett (LB) barwników, ciekłych kryształów i ciekawych układów dwucząsteczkowych: chromofor organiczny–fuleren – wszystkie te badania ukierunkowane są na zastosowania.

Druga, bardzo licznie reprezentowana grupa zagadnień to badania procesów fotochemicznych i fotofizycznych, najczęściej w cienkich warstwach, ale nie tylko. Na przykład, w grupie Bolesława Kozankiewicza bada się widma wzbudzenia fluorescencji przestrzennie rozdzielonych pojedynczych cząsteczek terylenu w kryształach p-terfenylu i naftalenu – są to unikatowe badania wzbudzeń wibronowych w pojedynczych cząsteczkach. W grupie Jana Godlewskiego intensywnie bada się prądy fotoindukowane nie tylko w warstwach węglowodorów aromatycznych, ale i w barwnikach, np. w porfirynach. Te ostatnie są też przedmiotem szeroko zakrojonych badań w grupie Danuty Wró-

bel. Ostatnio jej współpracownicy z Instytutu Fizyki WFT PP wraz z kolegami z Instytutu Fizyki Molekularnej PAN zajmują się nie tylko badaniami wzbudzeń i transferu energii w barwnikach różnych typów, ale też organizacją cienkich warstw barwników oraz adduktów zbudowanych z chromoforów organicznych i fulerenów. Wszystkie te prace zmierzają ku nowym, ekologicznym źródłom energii.

W końcu trzecia grupa zagadnień – badania nowych substancji ciekłokrystalicznych, ich właściwości, a przede wszystkim uporządkowanie – były również przedmiotem prezentacji i dyskusji. Nie chodziło oczywiście o uporządkowanie molekuł w objętościowej próbce ciekłego kryształu, lecz najczęściej o organizację cienkiej warstwy typu Langmuira lub LB, o orientację cząsteczek ciekłego kryształu, często domieszkowanego barwnikiem. Nasuwa się pytanie: dlaczego barwnikiem? Odpowiedź znajdujemy w kilku prezentowanych plakatach, w tym w pracach grupy Danuty Bauman. Już w latach 80. ubiegłego wieku stwierdzono bowiem, że niektóre barwniki mają doskonałe właściwości dichroiczne i mogą być stosowane jako barwne domieszki w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych. Kilku lat temu zauważono, że pochodne pewnego naftalimidu mogą tworzyć stabilne warstwy LB, co daje możliwość zastosowania tych związków jako warstw czynnych w organicznych diodach luminescencyjnych. Jak się wydaje, diody takie staną się w niedługim czasie silną konkurencją dla wyświetlaczy ciekłokrystalicznych.

Podczas sesji plakatowych swoje prace przedstawiali przede wszystkim najmłodszy uczestnicy Konferencji. Znaczna część plakatów miała bardzo wysoki poziom naukowy. Wyróżniono 5 spośród nich, biorąc pod uwagę przede wszystkim ich wartość merytoryczną, ale również formę prezentacji, przejrzystość i stronę graficzną plakatu. Równorzędnymi wyróżnieniami zostali uhonorowani: Waldemar Kulig z Wydziału Chemii UJ, Kornelia Lewandowska z Wydziału Fizyki Technicznej PP, Tomasz Marszałek z Ka-



Danuta Wróbel i Jacek Ułański w dyskusji z autorką plakatu Justyną Trzaską (fot. Andrzej Biadasz)

tedry Fizyki Molekularnej PŁ, Grzegorz Próchniak z Wydziału Chemicznego PWR i Justyna Trzaska z Wydziału Chemii UWr.

Powracając myślami do zakończonej właśnie Konferencji trzeba podkreślić, że organizatorzy: B. Barszcz, A. Biadasz, A. Bogucki, A. Dudkowiak, J. Goc (sekretarz KO), A. Graja, I. Hanyż, M. Kozielska, K. Lewandowska, A. Łapiński, B. Olejarz, I. Olejniczak, A. Piechowiak i R. Świetlik, pod wodzą niezmordowanej i pełnej inwencji Danuty Wróbel (przewodniczącej KO) starali się, by pobyt w Błażewjku był mile wspomniany przez uczestników, a XVI Ogólnopolska Konferencja „Kryształy Molekularne 2008” kojarzyła się z ciekawym i pożytecznym spotkaniem naukowym.

*Andrzej Graja*

Instytut Fizyki Molekularnej PAN  
Poznań



Grupa uczestników Konferencji KM 2008 podczas zwiedzania Muzeum-Pracowni Literackiej Arkadego Fiedlera w Puszczykowie k. Poznania przy replice (w skali 1:1) żaglowca Krzysztofa Kolumba Santa Maria (fot. Andrzej Biadasz)

## Matematyka dla przyrodników i inżynierów

Donald McQuarrie: *Matematyka dla przyrodników i inżynierów*, przekład Anna Zatorska-Goldstein i Paweł Goldstein, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005–06, t. I – s. 554, t. II – s. 390, t. III – s. 274.

Książka Donalda A. McQuarriego *Matematyka dla przyrodników i inżynierów* została wydana w Polsce w trzech tomach przez Wydawnictwo Naukowe PWN w latach 2005–06. Na tylnej okładce książki możemy przeczytać: „Doskonały podręcznik matematyki dla studentów kierunków przyrodniczych i technicznych”, a dalej: „Jest to znakomite, trzytomowe kompendium wiedzy matematycznej”. Z częścią tych stwierdzeń można się zgodzić, choć nie bez pewnych zastrzeżeń. Przede wszystkim, moim zdaniem, książka nie jest typowym podręcznikiem matematyki. Napisana jest w sposób nieco nieformalny, nie znajdziemy tu ulubionych przez matematyków i często wytłuszczanych nagłówków, takich jak „definicja”, „twierdzenie”, „dowód”. Oczywiście definicje, twierdzenia i dowody też tu występują (w umiarkowanej obfitości), ale w większości wypadków wtopione są w tekst. Definicje (pojęcia) wyróżnione są na ogół kursywą. Niektóre twierdzenia, też podane kursywą, pojawiają się we wciętych akapitach. Zresztą sam styl książki odbiega od standardów matematycznych (w tym wypadku w pozytywnym tego słowa znaczeniu) i jest nieco gawędziarski, o ile jest to w przypadku matematyki w ogóle możliwe. Między innymi z tych powodów nie jest to kompendium. Czymże zatem jest dzieło McQuarriego? Moim zdaniem książka jest czymś pośrednim pomiędzy nieco niestandardowym (z powyżej przytoczonych względów) podręcznikiem a poradnikiem, z naciskiem na to pierwsze. Należy podkreślić, że książka nie zawiera żadnego systematycznego kursu analizy matematycznej (jak rozumiem, z założenia) i powinna być merytorycznie dostępna dla studentów kierunków matematyczno-fizycznych i inżynierskich dopiero po podstawowym wykładzie z analizy matematycznej (do całek włącznie). Ewentualne zastosowanie książki w roli podręcznika widzę na starszych latach kierunków przyrodniczych i technicznych. Warto w tym miejscu zacytować samego Autora. Pierwsze zdanie Wstępu brzmi: „Książkę tę napisałem z myślą o studentach, którzy są zaledwie po rocznym czy trzyletnim wykładzie rachunku różniczkowego i całkowego”.

Dzieło McQuarriego może oczywiście pełnić funkcję poradnika matematycznego w naukowej bibliotece każdego przyrodnika lub technika. Jednak rasowy fizyk może poczuć się usatysfakcjonowany chyba tylko w zakresie klasycznej analizy matematycznej. Mimo tytułu, mogącego sugerować różne działy matematyki, książka koncentruje się jedynie wokół szeroko rozumianej analizy. Nieco miejsca poświęcono też probabilistyce i statystyce matematycznej. Algebry, i to „bardzo klasycznej”, jest jak na lekarstwo, a geometrii nie ma w ogóle. Nie ma też w książce metod

numerycznych, choć są odniesienia do obliczeń symbolicznych (pakiet Mathematica).

Przejdziemy teraz do krótkiego omówienia treści książki. Na początku każdego z trzech tomów na jednej stronie znajduje się skrócony spis treści całej książki, który hasłowo oddaje jej zawartość. Ponadto sam Autor poświęcił ponad jedną stronę Wstępu na przedstawienie swojej wersji streszczenia całej książki. A oto moja wersja streszczenia dzieła McQuarriego. Rozdział 1, „Funkcje jednej zmiennej”, przypomina czytelnikowi elementarne pojęcia analizy matematycznej oraz omawia całki niewłaściwe i jednostajną zbieżność całek. Rozdział 2, „Szeregi nieskończone”, poza dalszymi standardowymi zagadnieniami analizy, takimi jak kryteria zbieżności i szeregi potęgowe, wyjaśnia pojęcie rozwinięcia asymptotycznego. Rozdział 3, „Funkcje zdefiniowane jako całki”, poświęcony jest głównie kilku ważnym funkcjom specjalnym (funkcja gamma, funkcja błędu, całka wykładnicza, całki eliptyczne i inne). Trochę nieoczekiwanie pojawia się tu również podrozdział o delcie Diraca. Kolejny, 4. rozdział, zatytułowany „Liczyby zespolone i funkcje zespolone”, wprowadza pojęcia liczby zespolonej i płaszczyzny zespolonej, a następnie przechodzi do funkcji zespolonych. W szczególności omawia funkcje elementarne argumentu zespolonego. „Wektory” są tematem następnego, 5. rozdziału. Autor poświęca kolejne podrozdziały na omówienie algebry wektorów i funkcji wektorowych w 2 i 3 wymiarach, kończąc krzywymi i powierzchniami w przestrzeni trójwymiarowej. Rozdział 6, „Funkcje wielu zmiennych”, dotyczy standardowej analizy matematycznej funkcji wielu zmiennych: różniczkowania, metody mnożników Lagrange’a, całek wielokrotnych. Kontynuacją tematyki rozdziałów 5 i 6 jest rozdział 7, „Analiza wektorowa”, poświęcony analizie pól wektorowych. Są tu standardowe wektorowe operatory różniczkowe, całki oraz twierdzenie Stokesa. Rozdział 8, „Współrzędne krzywoliniowe”, omawia różne układy współrzędnych, zaczynając od układu biegunowego, a kończąc na układzie sferoidalnym. Pozostała część tomu 1 poświęcona jest standardowym zagadnieniom algebry. Rozdział 9, „Algebra liniowa i przestrzenie liniowe”, zaczyna się od wyznaczników i macierzy, a kończy na przestrzeniach liniowych z iloczynem skalarnym. Kontynuacja wątku algebraicznego w rozdz. 10, „Macierze i ich wartości własne”, prowadzi nas do zagadnienia diagonalizacji macierzy oraz form kwadratowych.

W tomie 2 powracamy do analizy matematycznej. „Równania różniczkowe zwyczajne” to temat rozdz. 11. Mamy tu przede wszystkim równania (i układy) liniowe oraz kilka innych typów równań zwyczajnych. „Rozwiązania równań różniczkowych w postaci szeregów” omówione są w rozdz. 12. Znajdziemy tu m.in. równania Legendre’a oraz Bessela. Natomiast „Jakościowa teoria nieliniowych równań różniczkowych”, będąca tematem rozdz. 13 i prowadzona w formalizmie płaszczyzny fazowej, poświęcona jest głównie analizie punktów krytycznych, a kończy się krótkim omówieniem układów chaotycznych. W rozdziale 14 omówione są „Wielomiany ortogonalne i zagadnienia Sturm–



–Liouville’a”. Znajdziemy tu m.in. wielomiany Legendre’a oraz funkcje Greena. Tematem rozdziału 15 są „Szeregi Fouriera”. „Równania różniczkowe cząstkowe” – równanie Laplace’a, równanie falowe, równanie przewodnictwa cieplnego oraz równanie Schrödingera – są omawiane bardziej szczegółowo w kolejnym, 16 rozdziale. Rozdział 17, „Transformaty całkowe”, poświęcony jest transformatom Laplace’a i Fouriera oraz ich zastosowaniom do rozwiązywania równań różniczkowych.

Tom 3 rozpoczynają „Funkcje zmiennej zespolonej”. Rozdział 18, „Teoria”, prezentuje podstawy analizy funkcji zmiennej zespolonej i prowadzi do pojęcia residuum. Natomiast w rozdz. 19 przedstawiono zastosowania funkcji zmiennej zespolonej do różnych praktycznych obliczeń (odwrotna transformata Laplace’a, całki, szeregi, zera funkcji) oraz do odwzorowań konforemnych. Kolejny, 20 rozdział, „Rachunek wariacyjny”, omawia kilka najbardziej typowych zagadnień, poczynając od równania Eulera do zastosowań w fizyce i zagadnienia wariacyjnego z więzami. Dwa ostatnie rozdziały poświęcone są rachunkowi prawdopodobieństwa i statystyce matematycznej. Rozdział 21, „Teoria prawdopodobieństwa i procesów stochastycznych”, omawia zmienne losowe, funkcje charakterystyczne oraz procesy stochastyczne wraz z ich zastosowaniami. W ostatnim, 22 rozdziale, „Statystyka matematyczna”, pojawiają się takie podstawowe pojęcia statystyki matematycznej, jak przedziały ufności, regresja, korelacja oraz trzy kluczowe rozkłady prawdopodobieństwa używane w testach statystycznych: rozkład normalny, rozkład  $\chi^2$  i rozkład Studenta (rozkład  $t$ ). Swoistymi przerywnikami, wplecionymi między rozdziałami, są biografie znanych matematyków (blisko 40) oraz 3 noty historyczne poświęcone geometrycznej interpretacji liczb zespolonych, wymiarowi fraktalnemu i liczbom pozaskończonym. Ponadto książka zawiera kilka tysięcy zadań do samodzielnego rozwiązania i kilkaset przykładów.

Z całą pewnością książka opracowana jest w sposób nowoczesny i oryginalny. Wydanie tej właśnie pozycji na naszym krajowym rynku wydawniczym uznaję za celowe, bo nie znam podobnej książki w języku polskim. Dzieło McQuarriego nieco mi przypomina wydaną ćwierć wieku temu książkę Kornów *Matematyka dla pracowników naukowych i inżynierów*. Jednak tamta książka ma zdecydowanie bardziej poradnikowy charakter i napisana jest tradycyjnym, formalnym językiem. Natomiast najmocniejszą stroną dzieła McQuarriego jest jego barwny, nieformalny styl i atrakcyjna forma prezentacji materiału. Dobór treści w ramach założonych działów matematyki jest zdecydowanie trafny. Za pewną wadę można ewentualnie uznać brak szerszego potraktowania działów matematyki spoza klasycznej analizy matematycznej, ale do ilu tomów urosłoby wtedy dzieło?

Książka zawiera nieco (drobnych) błędów i terminologicznych niezgrabności. Na szczęście nie utrudniają one korzystania z niej. Listę najważniejszych błędów oraz zalecanych zmian zamieszczam na końcu recenzji.

Warto wspomnieć, że Autor książki jest zarówno doświadczonego (emerytowanego) pracownikiem naukowym,

chemikiem teoretykiem, jak i autorem kilkunastu książek z chemii, chemii fizycznej, fizyki statystycznej i metod matematycznych. Natomiast żona Autora, Carole, jako uzupełnienie omawianego tu dzieła męża wydała zbiór rozwiązań zadań z jego książki: *Solutions to Accompany McQuarrie’s Mathematical Methods for Scientists and Engineers*. Z kolei na stronie internetowej [www.uscibooks.com/mcqmmps.htm](http://www.uscibooks.com/mcqmmps.htm) można znaleźć dodatkowe materiały do książki.

Tłumaczenia anglojęzycznej wersji książki, wydanej przez University Science Books w roku 2003 (tytuł oryginału: *Mathematical Methods for Scientists and Engineers*), dokonali Anna Zatorska-Goldstein i Paweł Goldstein. Pomijając wzmiankowane już niezgrabności terminologiczne, które są do usunięcia w następnym wydaniu i które były nie do uniknięcia przy takiej objętości materiału, wysoka jakość tłumaczenia nie budzi zastrzeżeń.

Przejdźmy teraz od treści do formy. Jest to, co prawda, sprawa gustu, więc nieco subiektywna, ale ja nie będę szczędził pochwał. Wygląd typowej strony dzieła cieszy wzrok. Krój i rozmiar czcionki, rysunki i cała reszta stanowią bardzo harmonijny układ. Wielomiesięczne obcowanie z książką było dla mnie miłym obowiązkiem i sprawiało mi przyjemność również z tego punktu widzenia.

Podsumowując, przy założonych z pewnością przez Autora i nieuniknionych, wzmiankowanych wcześniej ograniczeniach, dzieło McQuarriego uważam za bardzo udaną pozycję na naszym rynku wydawniczym.

#### Lista najważniejszych błędów oraz zalecanych zmian

Tom 1

- s. 107, 1 wzór (bez numeru): w wykładniku powinny być zmienne  $z$  oraz  $x$
- s. 265, początek wiersza przed wzorem (5.9): jest „ciśnienia”, powinno być „objętości”
- s. 274, opis rysunku: jest „kolorowe”, powinno być „szare”
- s. 290, 3 wiersz pod wz. (9.2): jest  $da_i$ , powinno być  $dx_i$
- s. 308, 1 wiersz po 1 wzorze bez numeru: jest „W elektromagnetyzmie”, lepiej „W elektrostatyce”
- s. 324, zdanie przed rysunkiem: jest „prostej”, lepiej „zwykłej”
- podrozdz. 7.4–7.5: lepiej nie używać symbolu grad zamiast  $\nabla$  do tworzenia operatora dywergencji lub rotacji
- s. 353, lewa strona ostatniego wzoru: jest  $n$ , powinno być  $dr$
- s. 354, 2 wiersz po wz. (5.7): jest „przepływ cieczy”, powinno być „strumień cieczy”
- s. 409, akap. 2, wiersz 6: jest „uzupełniona”, lepiej „uzupełniona (rozszerzona)”
- s. 411, 6 wiersz: jest „rzędu”, lepiej „wiersza”
- s. 424, 1 wiersz po 1 wzorze bez numeru: jest „uzupełnioną”, lepiej „uzupełnioną (rozszerzoną)”
- s. 469, akap. 2, wiersz 3: lepiej usunąć „lub symetrii”
- s. 469, akap. 2, wiersz 4: jest „rzędy”, lepiej „wiersze”
- s. 474, 2 wiersz po 1 wzorze: jest „rząd”, lepiej „wiersz”
- s. 475, 2 wiersz: jest „symetrią”, lepiej „symetrią odbicia”
- s. 520, wz. (6.22) i następny: nietypowe oznaczenie jakobianu

- s. 524, nowy akapit: jest „dodatnio (ujemnie) półokreślona lub słabo dodatnio (ujemnie) określona”, lepiej „nieujemnie (niedodatnio) określona”

## Tom 2

- s. 48, ostatni wiersz: jest (6.3), powinno być (6.2)
- s. 70, 1 wiersz poniżej 1 wzoru ostatniego akapitu: jest „całkowitą”, powinno być „rzeczywistą”
- s. 101, prawa strona 1 wzoru: jest  $B_n(t)$ , powinno być  $B_n(x)$
- s. 114, dwa ostatnie wzory: brak  $\omega^2$  przed  $x^2$
- s. 123, opis rysunku: jest „właściwy”, powinno być „nie-właściwy”
- s. 185, 1 wiersz pod rysunkami: jest 4.11, powinno być 14.11
- s. 247, 1 wiersz po 2 wzorze: jest „jako stany stacjonarne”, lepiej „jako energię stanów stacjonarnych”
- s. 256, 1 zdanie rozwiązania przykładu: jest „(patrz tablica 8.2)”, lepiej „(patrz tablica 8.2 lub wklejka na końcu tomu)”
- s. 257, opis rys. 16.9: jest „jednostajnym”, powinno być „jednorodnym”
- s. 264, 1 wzór: jest  $\phi$ , powinno być  $\phi_n$
- s. 296, ostatni człon wzoru (6.9): jest  $\beta \sin \theta Y$ , powinno być  $\beta \sin^2 \theta Y$
- s. 312, wzór między wzorami (1.1) i (1.2): jest  $2/s^2$ , powinno być  $2/s^3$
- s. 330, przedostatnie zdanie, oraz s. 331, opis rys. 17.8: jest „pod ciężarem”, lepiej „pod własnym ciężarem”
- s. 343, wzór (5.5): znak wykładnika powinien być przeciwny
- s. 345, przedostatnie zdanie: jest „prawdopodobieństwo”, lepiej „amplitudę prawdopodobieństwa” (2 razy)
- s. 355, zdania 1, 2 i 4 po przykładzie: jest (16.7), powinno być (6.7)

## Tom 3

- s. 2, 8 wiersz od dołu: jest 4.27, powinno być 4.26
- s. 18, ostatni wiersz, oraz s. 19, 2 wiersz: jest „skurczyć”, lepiej „ściągnąć”
- s. 28, ostatni akapit: jest „Do obu stron równania dodajmy”, powinno być „Od obu stron równania odejmijmy”
- s. 30, 3 wiersz po 1 wzorze nowego akapitu: jest  $f(z)/(z-a)^3$ , powinno być  $f(z)/(z-a)^2$
- s. 35, 1 wiersz nowego rozdz.: jest 18.2, powinno być 2
- s. 64, wzór (2.6): jest  $f(x)$ , powinno być  $F(x)$
- s. 121, prawa strona wzoru: jest  $y'$ , powinno być  $y'^2$
- s. 122, 2 wiersz po 2 wzorze: jest „ekstremalną”, powinno być „stacjonarną”
- s. 123, koniec wzoru (1.3): jest  $Y'(x, \varepsilon, x)dx$ , powinno być  $Y'(x, \varepsilon, x)dx$
- s. 127, wiersz przed ostatnim wzorem: jest  $2d$ , powinno być  $2b$
- s. 139, 1 wiersz po wzorze (3.3): jest „nierozwiązane”, powinno być „niezwiązane”
- s. 153, rysunek: oś pionowa to  $u$
- s. 167, 1 wiersz po przykładzie: jest „losowe”, lepiej „przypadkowe”

- s. 175, 2 wiersz 1 wzoru (w rozwiązaniu), prawa strona: jest  $(b-a)/2$ , powinno być  $(b+a)/2$
- s. 178, 3 wiersz po wzorze (2.22): jest (6.21), powinno być (6.18)
- s. 179, wzory (2.25) oraz (2.29), prawe strony:  $\sqrt{|A|}$  powinno być w liczniku, nie w mianowniku
- s. 183, 1 wiersz 2 akapitu: jest „skośności”, lepiej „skośności (asymetrii)”
- s. 187, 2 wiersz wzoru (3.15): jest  $is(x_1 + \dots + x_n)/n$ , powinno być  $\exp[is(x_1 + \dots + x_n)/n]$
- s. 200, 4 wiersz po wzorze (4.21): jest (4.21), powinno być (4.20)
- s. 200, 2 wiersz przykładu 5: jest „W przykładzie 4”, powinno być „W przykładzie 3”
- s. 200, symbole pod osią poziomą rysunku: jest  $t, \omega$ , powinno być  $\tau, \omega$
- s. 205, wzór nad wzorem (5.10): przed wykładnikiem brak znaku równości
- s. 208, prawa strona 1 wiersza wzoru (5.24): jest  $t$ , powinno być  $T$
- s. 211, 2 wiersz zad. 6: jest  $O(z^2)$ , powinno być  $O(z^3)$
- s. 235, środkowa linia między numerowanymi wzorami: jest  $\mu$ , powinno być  $\bar{X}$
- s. 237, zdanie przed wzorem (3.5): jest „Z poprzedniego podrozdziału”, powinno być „Z podrozdziału (21.1)”
- s. 242, wzór (4.1): nie wyjaśniono, że  $o_j$  oznacza częstość
- s. 247, 1 komórka tabeli: w polskiej literaturze naukowej jednostki miar należy podawać w nawiasach kwadratowych, a nie po ukośniku
- s. 248, ostatni wzór przed przykładem: zbędne [3pt]
- s. 251, 2 wiersz rozwiązania przykładu: powinno być  $b = 0,007135$
- s. 251, 2 wiersz kroku 1: jest (10), powinno być (9)
- s. 256, 1 wiersz zad. 19, oraz s. 257, opis tablicy: jest „w torrach”, powinno być „w torach”

Bogusław Broda  
Uniwersytet Łódzki

## Wstęp do optyki kwantowej

C.C. Gerry, P.L. Knight: *Wstęp do optyki kwantowej*, przekład Mirosław Łukaszeński, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, s. 307.

Autorzy *Wstępu do optyki kwantowej*, Christopher Gerry i Peter Knight, to znani w świecie specjaliści w dziedzinie optyki kwantowej, którzy wnieśli znaczny wkład w rozwój tej dziedziny. Jak sami piszą, książka powstała z wykładów, które prowadzili w londyńskim Imperial College (Knight) oraz w Graduate Center of the City University of New York (Gerry). Autorzy pracowali oraz nadal pracują w różnych miejscach i wykłady prowadzili dla różnych studentów, a jednak w pewnym momencie postanowili napisać wspólną książkę, która została wydana przez Cambridge University Press w 2005 r., a jej polskie tłumaczenie ukazało się w PWN w roku 2007. Już sam tytuł mówi, czym

jest ta książka – jest to wstęp do optyki kwantowej, który ma wprowadzić czytelnika w problematykę tej dziedziny fizyki, zajmującej się kwantową naturą światła i jego oddziaływaniem z materią. Autorzy w sposób możliwie przystępny starają się wyjaśnić nie tylko zjawiska tradycyjnie zaliczane do optyki kwantowej, ale także zjawiska związane z optycznym przetwarzaniem informacji kwantowej, które stały się przedmiotem intensywnych badań w ostatnim dziesięcioleciu. Fotony, będące przedmiotem zainteresowania optyki kwantowej, są znakomitymi kubitami nadającymi się do testowania i praktycznej realizacji kwantowych protokołów przetwarzania informacji. Stąd obecnie optyka kwantowa to w dużym stopniu informatyka kwantowa. Ten fakt znalazł odbicie w doborze materiału do recenzowanej książki, której znaczną część stanowi ta aktualna dzisiaj tematyka.

Osobiście z zadowoleniem przyjąłem pojawienie się tej książki na rynku polskim, bo od wielu lat prowadzę wykłady z optyki kwantowej na Wydziale Fizyki UAM i brakowało mi podręcznika w języku polskim, który mógłbym polecić studentom. Ostatnia książka z optyki kwantowej ukazała się w 1981 r. (L. Allen, J.H. Eberly, K. Rzążewski, *Rezonans optyczny*, PWN, Warszawa 1981) i obecnie jest niedostępna na rynku. Aby złagodzić nieco ten deficyt, sam opracowałem skrypt do moich wykładów, który jest dostępny na mojej stronie internetowej (<http://zon8.physd.amu.edu.pl/~tanas/optkwant.pdf>) i cieszy się dużą popularnością. *Wstęp do optyki kwantowej* w jakimś stopniu wypełni istniejącą w polskiej literaturze lukę. W języku angielskim jest dostępnych kilka dobrych książek z optyki kwantowej i można się zastanawiać, czy wydanie po polsku akurat tej książki było właściwym wyborem. W mojej ocenie był to wybór trafny ze względu na szeroki zakres i aktualność materiału oraz przejrzysty sposób jego prezentacji. Nie bez znaczenia jest tutaj fakt, że tłumaczenie polskie ukazało się już w dwa lata po wydaniu wersji angielskiej, a więc po czasie bardzo krótkim.

Tematyka książki skupia się wokół kwantowego opisu samego światła oraz jego oddziaływania z ośrodkiem materialnym. Autorzy zaczynają od krótkiego wstępu historycznego. Po nim następuje 10 zasadniczych rozdziałów książki. Na końcu każdego rozdziału znajduje się zestaw zadań do samodzielnego rozwiązania oraz starannie dobrana literatura. Na końcu książki umieszczono cztery dodatki, do których przeniesiono opisy niektórych pojęć mających charakter ogólniejszy. Książka wyposażona jest w skorowidz ułatwiający odnalezienie w tekście najważniejszych pojęć.

Zasadniczą część książki rozpoczyna rozdział drugi poświęcony kwantowaniu pola elektromagnetycznego, w którym Autorzy prezentują sposób kwantowania pola, rozpoczynając od najprostszego przypadku pojedynczego modu pola, a następnie uogólniając go na pola wielomodowe. Przy tej okazji dyskutują też istnienie kwantowych fluktuacji próżni oraz wprowadzają kwantowy operator fazy. Kolejny, trzeci rozdział książki poświęcony jest stanom spójnym pola, sposobom ich wytwarzania, ich własnościom oraz opisowi pola w przestrzeni fazowej. W na-

stępnym, czwartym rozdziale przedstawiony jest kwantowy opis oddziaływania światła z atomem, a w szczególności zjawiska emisji i absorpcji światła. Rozdział piąty jest poświęcony kwantowemu opisowi spójności światła. Kolejny, szósty rozdział to kwantowy opis działania płytki światłodzielącej oraz interferometrów optycznych, w szczególności zaś opis interferencji z udziałem pojedynczego fotonu. Rozdział siódmy poświęcony jest nieklasycznym stanom pola oraz przejawom tej nieklasyczności obserwowanym jako ściskanie stanów pola, antykorelacja fotonów czy też istnienie tzw. kotów Schrödingera. Następny, ósmy rozdział to opis dysypacji i dekoherencji w układach kwantowych. Rozdział dziewiąty poświęcony jest optycznym testom mechaniki kwantowej; można w nim znaleźć opis kluczowych eksperymentów wykonanych w ostatnich latach, a także twierdzenie Bella i jego konsekwencje. Kolejny rozdział poświęcony jest przedstawieniu eksperymentów w rezonatorach optycznych (*cavity QED*) oraz eksperymentów z jonami w pułapkach. Wreszcie ostatni, jedenasty rozdział poświęcony jest zastosowaniom kwantowego splątania do przetwarzania informacji kwantowej. W szczególności chodzi o zastosowania w kryptografii kwantowej, kwantowej teleportacji czy konstruowaniu bramek logicznych komputera kwantowego.

Zarówno dobór materiału jak i sposób jego prezentacji stanowią o wyjątkowym charakterze recenzowanej książki. Z jednej strony Autorzy dobrali materiał w taki sposób, aby obok materiału tradycyjnie już wchodzącego w zakres optyki kwantowej (rozdziały 2–7) umieścić materiał nowszy, wchodzący już bardziej w zakres informatyki kwantowej (rozdziały 8–11), chociaż nadal będący przedmiotem zainteresowania optyki kwantowej. Dzisiaj zresztą trudno byłoby rozdzielić te dwa zakresy, gdyż wielu specjalistów z dziedziny optyki kwantowej zajmuje się obecnie problematyką, którą często przypisuje się także informatyce kwantowej. Z drugiej strony Autorzy dołożyli wielu starań, aby wybrany materiał przedstawić w możliwie prosty sposób, bez nadmiernie rozbudowanego aparatu matematycznego, z przejrzystymi ilustracjami ułatwiającymi zrozumienie omawianego tematu. Pod tym względem książka ta wyróżnia się spośród książek z optyki kwantowej dostępnych w języku angielskim. Można więc od niej zacząć studiowanie optyki kwantowej. Trzeba jednak zarazem przestrzec czytelnika, że dla zrozumienia tej książki niezbędna jest znajomość podstaw mechaniki kwantowej, a więc książka jest przeznaczona raczej dla studentów starszych lat, doktorantów, pracowników naukowych, a także entuzjastów informatyki kwantowej, którzy chcą osiąść rzetelną wiedzę.

Niestety, muszę jednak stwierdzić, że Autorzy angielskiego oryginału niezbyt starannie wykonali korektę wzorów i w wielu wzorach natrafimy na błędy typograficzne. Na stronie angielskiego wydawcy można obecnie znaleźć dosyć długą listę poprawek, która jednak nadal nie uwzględnia wszystkich błędów. W polskim wydaniu książki część usterek poprawiono, ale mimo to znajdujemy tutaj jeszcze sporo błędów typograficznych. Udało mi się wychwycić ponad 40 błędów i usterek:

- wzór (2.73): w liczniku powinno być  $\omega_k^2$  zamiast  $\omega^2 k$ ;
  - wzory (2.91) i (2.92): po lewej stronie powinno być  $\kappa$  zamiast  $k$ ;
  - wzór (2.121): należy usunąć  $\epsilon_{k_s}$  przed nawiasem kwadratowym;
  - wzór (2.142), drugi wiersz: powinno być  $\exp(-\hbar\omega/k_B T)$  zamiast  $\hbar\omega/k_B T$ ;
  - wzór (2.167): należy usunąć znak minus;
  - wzór (2.170): powinno być  $\ln$  zamiast  $\log$ ;
  - wzór (2.183): brakuje nawiasów w wykładnikach;
  - wzór (2.200): po prawej stronie powinno być  $-\hbar$  zamiast  $i$ ;
  - wzór (3.18): niepoprawna prawa strona, powinno być tak, jak we wzorze (7.1);
  - wzór (3.20): po prawej stronie powinno być  $\frac{1}{2}|\langle \hat{C} \rangle|$  zamiast  $\frac{1}{4}\langle (\hat{C})^2 \rangle$ ;
  - wzór (3.28): należy usunąć  $e^{-|a|^2/2}$  po lewej stronie;
  - wzór (3.46): po prawej stronie brakuje  $\exp(-\xi^2/2)$ ;
  - wzór (3.53): należy usunąć znak minus;
  - wzór (3.55): zamienić gwiazdki przy  $u(t)$ ;
  - wzór (3.56): dodać gwiazdkę przy  $u(t)$  z lewej strony, a po prawej stronie dodać  $i/\hbar$ ;
  - wiersz powyżej wzoru (3.83): zamienić  $\alpha^2$  na  $\alpha^*$ ;
  - wzór (3.94b): całkowanie po  $\alpha$  zamienić na całkowanie po  $u$ ;
  - wzór (3.95), drugi wiersz: w wykładniku zamienić  $u$  na  $\alpha$ ;
  - wzór (3.99): dodać znak całki po ostatnim znaku równości;
  - wiersz po wzorze (3.117): usunąć lewą pionową kreskę we wzorze;
  - wiersz po wzorze (3.125): powinno być „odwrotną transformatą Fouriera” zamiast „transformatą Fouriera”;
  - wzór (3.133): w wykładniku powinno być  $\lambda^* \alpha - \lambda \alpha^*$  zamiast  $\lambda \alpha^* - \lambda^* \alpha$ ;
  - drugi wiersz po wzorze (4.1) brakuje  $\hbar$  przed  $\nabla$ ;
  - wzór (4.14), drugi wiersz: należy usunąć znak minus po drugim znaku równości;
  - wzór (4.20): powinno być  $|k\rangle$  zamiast  $|\rangle$ ;
  - wzór (4.80): w pierwszej linii po prawej stronie powinien być znak minus, podobnie w drugiej linii w wykładniku;
  - wzór (5.7): zamiast  $K_1 K_2$  powinno być  $K_1^* K_2 / |K_1| |K_2|$ ;
  - wzór (5.21): po prawej stronie brakuje  $(1/T)$ ;
  - s. 130, zad. 1: odwołanie powinno być raczej do wzoru (5.67), a nie (5.66);
  - s. 136, wiersz 5 nad wzorem (6.13): powinno być  $\hat{a}_2^\dagger$  i  $\hat{a}_3^\dagger$  zamiast  $\hat{a}_2$  i  $\hat{a}_3$ ;
  - s. 141, wiersz pod wzorem (6.29): powinno być  $D_1$  zamiast  $D_2$ ; dwa wiersze niżej powinno być  $D_2$  zamiast  $D_1$ ;
  - wzór (6.34): po prawej stronie powinno być  $(1 - e^{i\theta})$  zamiast  $(e^{i\theta} - 1)$ ;
  - wzór (7.12), drugi wiersz: drugie  $\hat{a}^\dagger$  po prawej stronie należy zamienić na  $\hat{a}$ ;
  - wzór (7.97): po prawej stronie powinno być  $\langle \hat{a}^\dagger \hat{a} \rangle$  zamiast  $\langle \hat{a}^\dagger \hat{a} \rangle^2$ ;
  - wzór (7.106): w liczniku po prawej stronie powinno być  $\langle \hat{a}^\dagger \hat{a} \rangle$  zamiast  $\langle \hat{a}^\dagger \hat{a} \rangle^2$ ;
  - według listy poprawek podanej przez angielskiego wydawcę, należy także usunąć przypis u dołu s. 214;
  - s. 228, wiersz 5 poniżej rys. 9.15: powinno być  $\eta_A$  i  $\eta_B$  zamiast  $\eta_A$  i  $\eta_A$ ;
  - s. 238, ostatni wiersz: powinno być (4.90) zamiast (4.87);
  - wzór (11.1): należy usunąć drugi znak równości;
  - wzór (A.33), drugi wiersz: sumowanie powinno być po  $l$ , a nie  $k$ ;
  - dodatek D: brak spójności co do układu jednostek (cgs czy SI?).
- Dostrzeżone błędy pochodzą w większości z oryginału angielskiego i na ogół są łatwe do wykrycia przez uważnego czytelnika. Jeśli chodzi o błędy polskiego przekładu, to znalazłem kilka nieistotnych literówek, powtórzenie wyrazu „odpowiada” na s. 241, oraz jeden błąd rzeczowy: na s. 267; na początku rozdziału 11.7 powinno być Komputery klasyczne zamiast Komputery kwantowe.
- Jeśli pominąć błędy typograficzne we wzorach, książka wydana jest bardzo starannie, druk jest czytelny, a ilustracje – dobrej jakości. Podoba też mi się grafika umieszczona na okładce. Słowem, szata graficzna książki zachęca do sięgnięcia po nią.
- Szczególne uznanie należy się Tłumaczowi, który bardzo starannie dobierał polskie odpowiedniki dla angielskich terminów naukowych używanych powszechnie w optyce kwantowej. Mamy więc „stany spójne”, a nie „stany koherentne”, czy też „równanie główne”, a nie „równanie master”. Należy docenić próby ustalenia polskiej terminologii naukowej, wszak „Polacy nie gęsi”, chociaż w dobie internetu i literatury naukowej zdominowanej przez język angielski większe szanse na przetrwanie mają, jak się zdaje, terminy zbliżone do swych angielskich odpowiedników.
- W mojej opinii *Wstęp do optyki kwantowej*, pomimo wielu błędów typograficznych to dobra książka wprowadzająca w tematykę współczesnej optyki kwantowej. Dobrze się ją czyta i można ją polecać studentom chcącym bliżej zapoznać się z optyką kwantową, z zastrzeżeniem jednak, że powinni sprawdzać wzory. Uważam, że dobrze się stało, że książka ta ukazała się w języku polskim.

Ryszard Tanaś  
Wydział Fizyki UAM  
Poznań



## Nagrody PTF za rok 2008

Nagrody otrzymali:

- ▶ Medal im. Mariana Smoluchowskiego – **prof. Józef Bar-naś** z Instytutu Fizyki UAM za osiągnięcia z zakresu teorii magnetyzmu ciała stałego, a w szczególności za wyjaśnienie zjawiska gigantycznego magnetooporu;
- ▶ Nagrodę im. Wojciecha Rubinowicza – **dr hab. Arkadiusz Wójs** z Instytutu Fizyki PWr za prace teoretyczne dotyczące cieczy kwantowych o ułamkowej statystyce kwazicząstek;
- ▶ Nagrodę I stopnia im. Arkadiusza Piekary za wyróżniającą się pracę magisterską – **mgr inż. Bartłomiej Biedroń** za pracę „Zależność widm hadronów od rapidity w modelu termalnym relatywistycznych zderzeń ciężkich jonów” wykonaną pod kierunkiem prof. Wojciecha Broniowskiego (IFJ) na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej;
- ▶ Nagrodę II stopnia za wyróżniającą się pracę magisterską – **mgr Justyna Chojnacka** za pracę „O ujemnym załamaniu fal” wykonaną pod kierunkiem dr. hab. Mirosława Bylickiego, prof. UMK w Instytucie Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK;
- ▶ Nagrodę III stopnia za wyróżniającą się pracę magisterską – *ex aequo* **mgr Marcin Jarosik** za pracę „Obserwacje radioastronomiczne Słońca. Budowa i działanie odbiornika VLF” wykonaną pod kierunkiem dr. Radosława Szczęśniaka w Instytucie Fizyki Politechniki Częstochowskiej oraz **mgr Dawid Kucharski** za pracę „Pupłapki jonowe. Oddziaływanie jonów z polem EM w pupłapce Paula o niedoskonałej geometrii” wykonaną pod kierunkiem dr. Gustawa Szawioły na Wydziale Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej;
- ▶ Medal i nagrodę im. Krzysztofa Ernsta za popularyzację fizyki – **dr Stanisław Bajtlik** z CAMK za wszechstronną i pełną pasję działalność popularyzatorską;
- ▶ Medal i nagrodę I stopnia im. Grzegorza Białkowskiego dla wyróżniających się nauczycieli – **mgr Marek Golka**, nauczyciel z Zespołu Szkół Ogólnokształcących w Radomiu, za wkład w rozwój polskiej fizyki poprzez pracę z uzdolnioną młodzieżą i wybitne osiągnięcia uczniów na arenie międzynarodowej i krajowej;
- ▶ Nagrodę II stopnia dla wyróżniających się nauczycieli – **mgr Jerzy Mucha**, nauczyciel z V LO w Krakowie, za pracę z uzdolnioną młodzieżą i wybitne osiągnięcia uczniów na arenie międzynarodowej i krajowej;
- ▶ Nagrodę III stopnia dla wyróżniających się nauczycieli – *ex aequo* **mgr Jadwiga Fojt-Jasińska**, nauczycielka z Zespołu Szkół Katolickich w Zielonej Górze, za aktywną pracę na rzecz poprawy jakości nauczania fizyki w gimnazjum, oraz **mgr Emilia Misch**, nauczycielka z III LO w Poznaniu, za rozwijanie twórczych form pracy z uzdolnioną młodzieżą;

- ▶ Wyróżnienia dla nauczycieli – **mgr Robert Stasiak**, nauczyciel z XIV LO w Warszawie, za zaangażowanie w pracy z młodzieżą i świetne wyniki uczniów w Olimpiadach Fizycznych, **mgr Agata Błahut**, nauczycielka z I LO w Rzeszowie, za pasję i twórcze przekazywanie wiedzy z fizyki, **mgr Włodzimierz Nawrocki**, nauczyciel z XXXV LO w Łodzi, za niezwykle zaangażowanie w pracy z młodzieżą i świetne wyniki uczniów w konkursach fizycznych, oraz **mgr Ewa Królczyk**, nauczycielka z Gimnazjum nr 1 w Zielonej Górze, za rozbudzenie zainteresowań fizyką wśród uczniów gimnazjum.

Uroczyste wręczenie nagród odbędzie się 7 lutego 2009 r. o 10.30 w Sali Dużej Doświadczalnej Wydziału Fizyki UW (Warszawa, Hoża 69) podczas Zebrania Plenarnego Zarządu Głównego PTF.



## Oddział Zielonogórski

W ramach działalności statutowej Oddział Zielonogórski Polskiego Towarzystwa Fizycznego zaprosił do wygłoszenia seminarium prof. Wojciecha Nawrocika (UAM). Wykład „Fizyka – nauczanie, badania i... pieniądze” wygłoszony 3 czerwca 2008 r. cieszył się bardzo dużym zainteresowaniem. Burzliwą dyskusję i niemałe kontrowersje wywołał temat finansowania nauki polskiej, w szczególności nauk ścisłych i przyrodniczych.

W dniach 8–9 czerwca 2008 r. Uniwersytet Zielonogórski po raz piąty zorganizował Festiwal Nauki pod hasłem „Nauka jutro”. Czynny udział wzięli w nim członkowie Oddziału, którzy pod szyldem Wydziału Fizyki i Astronomii UZ wygłosili wykłady oraz zaprezentowali ciekawe eksperymenty i doświadczenia fizyczne. W ramach otwartych wykładów w pierwszym dniu Festiwalu dużym zainteresowaniem cieszył się temat „Sztuczne życie w skali nanometrów”, wygłoszony przez dr. hab. Mirosława Dudka



W trakcie corocznego Festiwalu Nauki wszystko jest możliwe – nawet wbijanie gwoździ bananem (fot. autorka notatki)



(UZ). Tematem wykładu był świat nanourządzeń, których elementy mają rozmiary rzędu nanometra, omówiona została m.in. koncepcja nanorobota.

Na zielonogórskim deptaku odbyły się tego samego dnia następujące pokazy:

► „Magia czy fizyka – eksperymenty z gazami i cieczą” – pokaz adresowany głównie do dzieci i młodzieży, który bawił również dorosłych (dr inż. Marian Olszowy, UZ);

► „Lewitujący pociąg”, w którym wykorzystane zostało zjawisko nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego (mgr Sebastian Żurek);

► „Wierszobot – program do układania wierszy” – zabawa dla każdego, w której do tworzenia wierszy tematycznych wykorzystano pojęcie potencjału (dr Joanna Borgensztajn, UZ).

Ponadto szkoły gimnazjalne z województwa lubuskiego przedstawiły doświadczenia i eksperymenty przygotowane pod kierunkiem nauczycieli przez uczniów tych szkół.

W drugim dniu Festiwalu w salach i laboratoriach Instytutu Fizyki UZ odbyły się następujące wykłady:

► „Jak chodzić po suficie?” – prof. Piotr Rozmej omówił od strony fizycznej zjawisko poruszania się po pionowych powierzchniach i sufitach przez zwierzęta (np. muchy, chrząszcze, pająki i gekony);

► „Rola światła w rozwoju fizyki” – dr hab. Van Cao Long omówił wpływ zrozumienia natury światła i związanych z nim zjawisk na stworzenie dwóch „filarów” fizyki współczesnej: teorii względności i mechaniki kwantowej;

► powtórzony został również wykład „Sztuczne życie w skali nanometrów”.

Specjalnie dla uczniów z zaproszonych szkół gimnazjalnych i liceów zostały przygotowane proste, łatwe do zrozumienia eksperymenty fizyczne z wykorzystaniem ciekłego azotu oraz helu gazowego, wyświetlane były również filmy edukacyjne (dr Olszowy).

Joanna Borgensztajn

## KRONIKA

### ■ Tytuły profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej otrzymali w dniu 23 lipca 2008 r.: Piotr Bojarski (UG), Krzysztof Doroba (UW), Zygmunt Adam Lalak (UW), Tadeusz Andrzej Lesiak (IFJ PAN) oraz Tadeusz Wosiński (IF PAN).

<http://isip.sejm.gov.pl>

### ■ Nowy skład Rady FNP

Od 1 września 2008 r. rozpoczyna się kadencja na lata 2008–12 Rady Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. Jej nowy skład powołała prof. Barbara Kudrycka, Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Spośród dotychczasowych członków Rady w jej skład wchodzi profesorowie: Tomasz Jasiński, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza (nauki humanistyczne), Andrzej Członkowski, Warszawski Uniwersytet Medyczny (nauki medyczne) i Maciej Grabski, Politechnika Warszawska (nauki techniczne); z kandydatów wskazanych przez ustępującą Radę – profesorowie: Marek Z. Świtoński, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (nauki rolnicze, o środowisku i żywności) oraz Irena E. Kotowska, Szkoła Główna Handlowa (nauki społeczne); spośród członków Rady Nauki – profesorowie: Henryk Koroniak, UAM (nauki ścisłe) oraz Andrzej Jerzmanowski, Instytut Biochemii i Biofizyki PAN (nauki przyrodnicze).

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

B. W.

### ■ Niemiecka Akademia Nauk

Na terenie Niemiec działa wiele akademii nauk bądź literatury. Już od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku trwały dyskusje niemieckich organizacji naukowych, czy

powołać jedną ogólnonarodową akademię nauk i czy ma to być zupełnie nowa instytucja, czy też tę funkcję ma pełnić któraś z istniejących akademii. Decyzję utrudniało stanowisko Towarzystwa Maksa Plancka obawiającego się, że w razie utworzenia ogólnokrajowej akademii straci ono swoją pozycję na forum międzynarodowym. Przeszkodą były także różne stanowiska ministrów nauki 16 krajów związkowych co do podziału kosztów. Ostatecznie w lutym 2008 r. zapadła decyzja, by utworzyć ogólnoniemiecką akademię i by była nią Leopoldina w Halle. Nadano jej nazwę Deutsche Akademie der Wissenschaftler Leopoldina.

Leopoldina jest najstarszą akademią niemiecką; powstała w 1652 r., a w 1677 r. cesarz Leopold I nadał jej statut (stąd nazwa). Jednym z przywilejów było zwolnienie wszystkich wydawnictw akademii od cenzury. Obecnie Leopoldina ma 28 sekcji, a wśród 1250 jej członków jedna czwarta to uczeni z krajów innych niż niemieckojęzyczne.

Leopoldina reprezentuje więc na forum międzynarodowym ogół niemieckich uczonych.

*Phys. World* 21, nr 8 (2008)

B. W.

### ■ ERC Advanced Grants

Europejska Rada Badań Naukowych (European Research Council, ERC) w końcu lipca 2008 r. rozstrzygnęła konkurs w zakresie nauk fizycznych i inżynierskich na tzw. Advanced Grants, które mają umożliwić uznanym naukowcom stworzenie grup badawczych w swoich instytucjach znajdujących się na terenie Unii Europejskiej i krajach stowarzyszonych, jak Izrael, Szwajcaria i Turcja.

Na konkurs wpłynęło 997 wniosków, przyznano 105 grantów, w tym jeden polski – dla Tomasza Dietla (IF PAN). Prof. Dietl będzie kierował tematem „Functionalisation of

diluted magnetic semiconductors". Wysokość grantu wynosi ok. 2,3 mln euro, płatne przez 5 lat.

<http://erc.europa.eu>

B. W.

## ■ Polski synchrotron

Porozumienie o utworzeniu „Krajowego Konsorcjum Polski Synchrotron” zostało podpisane przez 32 uczelnie i instytuty naukowe w dniu 18 marca 2008 r. Koordynatorem jest Uniwersytet Jagielloński. Celem Konsorcjum jest budowa i eksploatacja synchrotronu o obwodzie 250 m i energii elektronów 3 GeV. Koszt inwestycji (budynek, akcelerator, pierścień akumulacyjny, 7 linii pomiarowych) przewidziany jest na 130 mln euro, a uruchomienie ma nastąpić w 2013 r.

*Forum Akademickie* 15, nr 5 (2008)

## ■ Nagroda EPS za prace nad grafenem

Nagrodę Oddziału Materii Skondensowanej Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (EPS Europhysics Prize) dostali w roku 2008 Andre Geim i Kostja Novoselov za pionierskie badania nad jednoatomowymi warstwami węgla (grafen), odkrycie i wyodrębnienie pojedynczej warstwy, wyjaśnienie jej zadziwiających właściwości elektronicznych. Ich prace stały się inspiracją badań podejmowanych w wielu laboratoriach światowych.

Andre Geim jest członkiem Royal Society i dyrektorem Manchester Centre for Mesoscience and Nanotechnology (MCMN). Kostja Novoselov jest pracownikiem naukowym w MCMN.

EPS Europhysics Prize przyznawana jest za wybitne osiągnięcia w fizyce materii skondensowanej.

[www.eps.org](http://www.eps.org)

B. W.

## ■ Międzynarodowy Zderzacz Liniowy

Komisja Europejska przyznała w swoim 7. Programie Ramowym sumę 5 mln euro na szczegółowe prace koncepcyjne nad stworzeniem Międzynarodowego Zderzacza Liniowego (International Linear Collider, ILC), który ma być następnym europejskim wielkim narzędziem po uruchomionym w CERN-ie Wielkim Zderzaczem Hadronów (LHC). W konsorcjum ILC biorą udział naukowcy z CERN-u, z francuskich Narodowej Rady Badań i Komisji Energii Atomowej, z DESY w Niemczech, włoskiego Instytutu Badań Jądrowych oraz z Uniwersytetu Oksfordzkiego. Przedmiotem prac koncepcyjnych ma być wybór miejsc dla ILC, plan zarządzania i organizacji badań, a także konstrukcja wnęk przyspieszających elektrony zbudowanych z nadprzewodzącego niobu.

*Phys. World* 21, nr 8 (2008)

B. W.

## ■ Nagrody IUPAP dla młodych cząstkowców

Międzynarodowa Unia Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP) ustanowiła nagrody dla młodych naukowców pracujących w dziedzinie doświadczalnej lub teoretycznej fizyki cząstek. Pierwszymi laureatami w roku 2008 zostali

Yasaman Farzan z Instytutu Badań Podstawowych w Teheranie i Kai-Feng Chen z Narodowego Uniwersytetu Tajwanu w Tajpej.

Yasaman Farzan została nagrodzona za swój wysoko oceniony wkład w fizykę teoretyczną neutrin i leptonów. Natomiast Kai-Feng Chen wniósł wiele innowacji w analizie rozpadu mezonu B, m.in. w ważny pomiar naruszenia symetrii CP zależnej od czasu w przejściach b–s oraz pomiarach polaryzacji rozpadów B.

*CERN Courier* 48, nr 6 (2008)

B. W.

## ■ Międzynarodowe projekty doktoranckie

Fundacja na rzecz Nauki Polskiej otworzyła nowy program pod nazwą „Międzynarodowe Projekty Doktoranckie”. Celem programu jest podniesienie poziomu badań naukowych prowadzonych w Polsce przez młodych naukowców w okresie przygotowywania przez nich prac doktorskich. Program adresowany jest do konsorcjów naukowych złożonych z co najmniej jednej instytucji polskiej i co najmniej jednej zagranicznej. W pierwszej edycji tego konkursu przyznano finansowanie trzem projektom, w tym Wydziałowi Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Jest to projekt z zakresu nanonauki, a koordynatorem tego konsorcjum jest dr hab. Bartłomiej Szafran. Wartość przyznanej sumy – 4298 tys. zł.

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

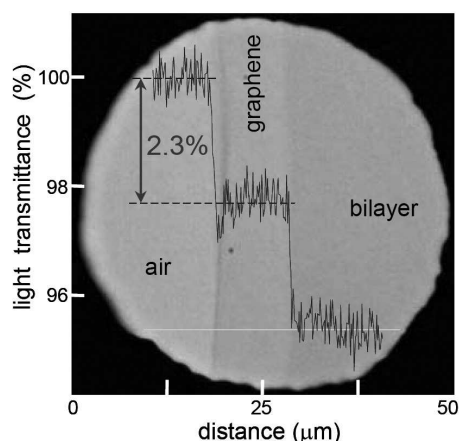
B. W.

## ■ Nowe makroskopowe zjawisko kwantowe

Wszystkie właściwości materii mają źródło w prawach mechaniki kwantowej. Niewiele jest jednak sytuacji, gdzie właściwości obiektu makroskopowego wyznaczone są wyłącznie przez stałe fundamentalne, jak stała Plancka  $h$ , prędkość światła  $c$  czy ładunek elementarny  $e$ . Przykładami są: kwantowanie strumienia magnetycznego w nadprzewodnikach i efekcie Aharonova–Bohma, momentu pędu w nadciekłym helu, przewodnictwa elektrycznego w wielu zjawiskach (m.in. kwantowym efekcie Halla), a także uniwersalny stosunek napięcia do częstości w złączu Josephsona. Od wiosny 2008 r. do tej elitarnej listy należy dodać absorpcję światła w grafenie.

Grafen to dwuwymiarowa płaszczyzna atomów węgla o strukturze plastra miodu. Z płaszczyzn takich zbudowany jest kryształ grafitu, ale dopiero przed kilku laty udało się wytworzyć monowarstwę grafenu i mierzyć ich własności (patrz np. artykuł B. Trauzettela w *PF* 6/2007). Na wiosnę ukazała się praca R. Naira i in. (*Science* 320, 1308 (2008)) donosząca, że absorpcja światła przechodzącego przez grafen wynosi  $2,3 \pm 0,1\%$ . Wykonanie pomiaru stało się możliwe dzięki uzyskaniu względnie dużych jednorodnych warstw grafenu, które były podtrzymywane przez brzegi otworów o średnicach do 50  $\mu\text{m}$  w metalowej folii o grubości 20  $\mu\text{m}$  (rys.).

Zmierzona wartość jest w granicach niepewności pomiaru równa iloczynowi liczby  $\pi$  oraz stałej struktury subtelnej  $\alpha$ . Przypomnijmy, że  $\alpha = e^2/hc = 1/137\,036$  to bezwy-



Fotografia przedstawia otwór o średnicy 50  $\mu\text{m}$ , zakryty częściowo przez pojedynczą i podwójną warstwę grafenu. Nałożony wykres pokazuje pomiar natężenia światła wzdłuż jasnej linii u dołu rysunku. Reprodukacja za zgodą autorów cytowanej pracy.

miarowa stała, będąca miarą „siły” oddziaływań elektromagnetycznych. Wzór ten podawany jest w literaturze zwykle w układzie CGS; by uzyskać wzór w układzie SI, należy symbol  $e^2$  zastąpić przez  $q_e^2/(4\pi\epsilon_0)$ ,  $q_e = 1,6022 \cdot 10^{-19}$  C. Stała struktury subtelnej  $\alpha$  jest podstawową stałą elektrodynamiki kwantowej, niemniej warto zauważyć, że jej wartość wyprowadzić można z modelu Bohra jako stosunek prędkości elektronu na pierwszej orbicie do prędkości światła.

Jak można zrozumieć to zjawisko i dlaczego występuje tylko w grafenie? W standardowej teorii własności optyczne materii wyprowadza się z dynamicznej przewodności elektrycznej  $G$ , zależnej m.in. od efektywnej masy nośników prądu. Wyjątkowość struktury pasmowej grafenu polega na tym, że jest to materiał o zerowej przerwie energetycznej oraz liniowej relacji dyspersji w pobliżu poziomu Fermiego. Elektrony w grafenie zachowują się zatem jak cząstki relatywistyczne z zerową masą spoczynkową. Dla dwuwymiarowego gazu swobodnych relatywistycznych fermionów można obliczyć przewodność dynamiczną  $G = e^2/4\hbar$ , a z niej, dla prostopadłego kierunku padania, współczynnik transmisji  $T = (1 + (1/2)\pi\alpha)^{-2}$ . Przez rozwinięcie w szereg wzoru na  $T$  uzyskuje się współczynnik absorpcji  $(1 - T) \approx \pi\alpha$ .

Niepewność pomiaru jest znaczna i uzyskanie „metrologicznej” dokładności nie jest możliwe. Niemniej, jak piszą autorzy w ostatnim zdaniu artykułu „jest godne uwagi, że stała struktury subtelnej może być dostępna tak bezpośrednio, praktycznie gołym okiem”.

Adam Rycerz, Andrzej Zięba

## ■ Terahercowy laser w temperaturze pokojowej

Grupa Federico Capasso na Uniwersytecie Harvarda zbudowała mały, poręczny laser promieniujący w zakresie teraherców w temperaturze pokojowej. Znane lasery tego typu pracują w temperaturze poniżej 200 K. Grupa har-

vardzka zbudowała tzw. kwantowy laser kaskadowy składający się z wielu (ok. 100) stopni kropek kwantowych o identycznej grubości. Elektrony są wstrzykiwane do różnych stopni; emitują wtedy fotony przy spadaniu na niższy poziom energii. Każdy elektron pobudza więc co najmniej jedną kaskadę fotonów. Przy wzbudzeniu długościami fali 8,9 i 10,5  $\mu\text{m}$  laser z materiału nieliniowego emituje fale o dwóch długościach, z których jedna to 60  $\mu\text{m}$ , a więc w zakresie teraherców.

Laser ten ma rozmiary kilku milimetrów i w temperaturze 250 K ma moc 1  $\mu\text{W}$ , a w 300 K – ok. 300 nW. Nadaje się do badań materiałowych oraz do kontrolowania pasażerów na lotniskach.

Phys. Journal 7, nr 7 (2008)

B. W.

## ■ Zmiana nazwy i nie tylko

Od czerwca 2008 r. berliński Hahn-Meitner Institut (HMI) ma nazwę Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie. Nastąpiła fuzja HMI z berlińskim źródłem promieniowania synchrotronowego BESSY, którego budowa ma być zakończona do stycznia 2009 r. Użytkowanie reaktora badawczego BER2 oraz BESSY stwarza możliwość łącznego wykorzystywania źródeł promieniowania synchrotronowego i neutronów. Nowa nazwa instytucji ma podkreślić rozszerzenie działalności badawczej.

Phys. Journal 7, nr 7 (2008)

B. W.

## ■ Dziesiąty Dzień i Pierwsza Noc w IFJ PAN

26 września 2008 r. w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN odbyły się dwie imprezy popularnonaukowe: Dzień Otwarty – dla młodzieży szkół ponadgimnazjalnych – oraz Noc Naukowców, skierowana zarówno do dorosłych jak i do młodzieży (patrz zdjęcia na II s. okładki – red.).

Specyfiką Dni Otwartych w IFJ PAN jest przedstawianie aktualnie prowadzonych badań. Nie mamy bowiem, jak jednostki uczelniane, zbiorów doświadczeń pokazowych ilustrujących wykłady kursowe z fizyki. Zapraszamy młodzież do laboratoriów, pokazujemy aparaturę, objaśniając jej działanie, a na podstawie modeli lub symulacji komputerowych przybliżamy obraz badanych zjawisk. Nasze projekty badawcze trwają zwykle kilka lat, więc też trudno za każdym razem pokazywać coś zupełnie nowego. Ale staramy się, żeby nawet wielokrotnie przychodzący do Instytutu goście znaleźli zawsze coś interesującego. W tym roku 9, czyli jedna trzecia, z 27 przygotowanych, to prezentacje zupełnie nowe. Wśród nich głównym tematem były eksperymenty na niedawno uruchomionym w CERN-ie zderzaczu hadronów LHC, a także anihilacja pozytonów, plazma termojądrowa i energetyka przyszłości oraz jonowe metody formowania powierzchni. Wszystkie inne prezentacje zostały uatrakcyjnione, nie tylko na reklamujących je ulotkach!

Sesję popularnonaukowych wykładów tworzyły następujące referaty: 1) „Fizyka w walce z rakiem” – doc. Paweł Olko, 2) „LHC – klucz do mikroświata” – prof. Barbara Wosiek, 3) „Promienie kosmiczne: ciekawostka, czy wielka

nauka” – prof. Henryk Wilczyński, 4) „Szybciej od światła? Co jeszcze ukrywa szkolna fizyka?” – doc. Andrzej Horzela, 5) „Czy fizyka jądrowa rozwiąże problemy energii dla przyszłych pokoleń?” – prof. Urszula Woźnicka.

W programie Dni Otwartych staramy się aktywizować młodzież. Kilkakrotnie przygotowaliśmy dla nich różnego rodzaju warsztaty, np. komputerowe czy fizyki cząstek. W tym roku zaprosiliśmy licealistów do debaty oksfordzkiej. Rozważana teza dotyczyła słuszności wprowadzenia w Polsce energetyki jądrowej. Debatę prowadził dyrektor III Społecznego LO w Krakowie mgr Iwo Wroński, który również zadbał o przygotowanie do niej uczniów dwóch krakowskich liceów: I LO im. B. Nowodworskiego i VIII LO im. St. Wyspiańskiego. Jury złożonemu z ekspertów z IFJ przewodniczył dyrektor Departamentu Szkolenia i Informacji PAA dr Adam Sołtan (Państwowa Agencja Atomistyki była jednym ze sponsorów Dnia Otwartego). Oceniano wartość argumentów oraz sposób ich prezentacji. Zwycięska drużyna z VIII LO – w składzie: Paweł Stobiecki z IIIG, Michał Kozień i Bartłomiej Sury z IIIJ – została nagrodzona cyfrowymi aparatami fotograficznymi, a wszyscy uczestnicy otrzymali dyplomy. Zainteresowanie debatą okazało się ogromne. Młodzież kibicująca uczestnikom wypełniała po brzegi aulę IFJ PAN. Oba zespoły były znakomicie przygotowane. Wykład prof. Woźnickiej dał merytoryczną odpowiedź na tezę debaty.

Atrakcją Dnia Otwartego stanowiła też gościnna prezentacja Wydawnictwa ZAMKOR (które w części sponsorowało imprezę). W jego ofercie znalazły się nie tylko podręczniki szkolne, ale i filmy dydaktyczne oraz zestawy pokazów doświadczeń fizycznych. Te ostatnie wzbudziły szczególne zainteresowanie tak wśród gości Dnia Otwartego, jak i pracowników Instytutu.

Podczas Nocy Naukowców widzowie mogli poznać przede wszystkim ludzi uprawiających fizykę. Pokazano, jak toczą się najpoważniejsze dla nich spory naukowe. Pod kierunkiem Piotra Zielińskiego dyskutowali: fizyk teoretyk – Andrzej Horzela, fizyk eksperymentator – Bogdan Fornal i Wojtek Kwiatek – reprezentant fizyki stosowanej. Andrzej Horzela przekonywał, że wszystko zaczyna się od teorii i tylko badania teoretyczne mogą dać prawdziwy opis świata. Bogdan Fornal stanowczo bronił wartości eksperymentów, bo każda teoria musi znaleźć potwierdzenie doświadczalne. Natomiast Wojtek Kwiatek podkreślał, że dopiero zastosowanie badań pokazuje ich głęboki sens i przydatność dla człowieka. Był to prawdziwy *talk-show*. Na początku salę zaległy ciemności, w których odezwały się tajemnicze dźwięki splecione w niepokojącą fugę, ta z kolei ustąpiła miejsca płomieniom ogarniającym model reakcji łańcuchowej, z największym trudem utrzymywanej pod kontrolą. W pewnym momencie z głośników rozległy się dźwięki pieśni neapolitańskiej, dziwnie przypominające arcykrakowskie „Jak długo na Wawelu” – symbol związku IFJ PAN z kulturą europejską. Każdy z dyskutantów podpierał się mocnymi argumentami wziętymi bądź z historii nauki, bądź też z rezultatów badań prowadzonych w IFJ PAN. Pomagali w tym eksperci przedstawiający różne doświadczenia „na żywo”, wzmacniając racje poszczególnych

dyskutantów. Czasami włączała się publiczność. Animator Piotr Zieliński podsyczał dyskusję, zadając kłopotliwe pytania. Pointa należała do dyrektora IFJ PAN Marka Jeżabka. Wyznał, że nie jest trudno kierować instytutem, w którym istnieją różnorodne metody badawcze, zadania i temperatury. Prawda, że nasi pracownicy są tak zafascynowani fizyką, że czasem tracą obiektywizm, ale to właśnie wielkie indywidualności naukowe sprawiają, że odnosimy sukcesy. Ogromnych emocji dostarczają wszystkie prowadzone w IFJ badania, nie tylko nieliczne, poruszone w dyskusji, i aż dziw, że w szkole fizyka raczej nie należy do popularnych przedmiotów. Może choć niektórzy tamtej nocy zmienili zdanie i zarazili się fascynacją tą nauką. . .

O tym, że uprawianie fizyki sprzyja rozwijaniu zainteresowań pozanaukowych mogli się przekonać uczestnicy Nocy Naukowców, oglądając wystawy dotyczące hobby fizyków. Było tam malarstwo Jerzego Wojciecha Mietelskiego i jego autor przy sztalugach, artystyczne prace fotograficzne Stanisława Kwiecińskiego i Piotra Zielińskiego, hafty Małgosi Lekkiej, rekwizyty z działalności Marty Marszałek jako sędziego olimpijskiego w Atenach, kolekcje tyżeczek do herbaty Kasi Mazurek oraz szabli Zdzisława Lalicza.

Prawdziwie człowiekiem renesansu okazał się Jurek Grębosz. Wyświetlano dwa jego filmy, nagrodzone na festiwalach filmów popularnonaukowych, lecz to nie one ogniskowały całą uwagę zgromadzonych bardzo licznie gości. Największym przedsięwzięciem Nocy było wystawienie sztuki jego autorstwa *Duch fizyki*. Grębosz nie tylko ją napisał, ale w sposób wysoce profesjonalny dobrał obsadę i wyreżyserował spektakl. Grali tam pracownicy IFJ PAN: dyrektorzy, profesorowie, adiunkci, doktoranci, inżynierowie. Wszyscy chcieli wykazać swoje talenty aktorskie (czyżby kompleksy wobec ludzi teatru czy show-biznesu?).

Przedstawienie ma charakter kabaretowy, jest osadzone w czasach młodości Mikołaja Kopernika (Staszek Kwieciński) i króla Kazimierza Jagiellończyka (Marek Jeżabek), ale chwilami przenika do współczesności. Król, podobnie jak dyrektor Instytutu, boryka się z brakiem pieniędzy, których źródłem była sól wielicka. Była, bo nagle jej zabrakło. Król zwraca się o pomoc najpierw do nauki, poprzez Kopernika, a gdy ten jest bezsilny, prosi o cud Skarbka – demona kopalni w Wieliczce. Ale Skarbek nie dość, że ukrył sól, to jeszcze uwięził Ducha fizyki, żeby ten przypadkiem nie odczarował zaklęcia. Król popada w taką desperację, że zdejmuje koronę, zmienia się w dyrektora i błaga o ratunek. . . Unię Europejską! Niestety, Unia też milczy. W końcu Kopernik szuka rozwiązania w księgach skrętnie ukrywanych w klasztorze benedyktynów w Tyńcu. Ale zanim do niego dojdzie, jeszcze wiele się wydarzy przed oczami widzów: więzienie, ucieczka i pościg, walki rycerskie, taniec chocholi w Bronowicach. . . Niebagatelną rolę w tym wszystkim odgrywa Halka – czarownica z Niepołomic (Urszula Woźnicka), Kallimach – nauczyciel synów królewskich (Piotr Zieliński), krasnoludy Higgosa (Adam Maj, Jan Styczeń), Jasiak – przyjaciel Kopernika (Aleksander Polik), rycerze z Grupy Rekonstrukcji Historycznych „Instytutorium”.

Wszyscy grali znakomicie, a tło muzyczne, dźwiękowe efekty wykonywane przez publiczność, światła i naturalna, plenerowa scenografia tworzyły prawdziwie profesjonalne wydarzenie teatralne, na miarę Krakowa – miasta sztuki.

Można śmiało pogratulować Instytutowi Fizyki Jądrowej PAN udanych imprez.

*Małgorzata Nowina Konopka*

## ■ Stulecie wręczenia Rutherfordowi Nagrody Nobla z chemii

Pierwsza połowa dwudziestego wieku to czas wielkich i zaskakujących odkryć w fizyce. Jednym z autorów tych odkryć był Ernest Rutherford. Urodzony w roku 1871 w Nowej Zelandii jako drugie z dwanaściorga dzieci farmera, mógł przez całe życie zajmować się hodowlą bydła i uprawą ziemi. Lecz nie było mu to pisane.

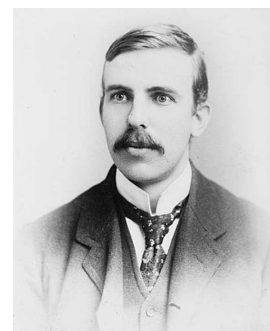
W skromnym Nelson College w pobliskim mieście Nelson na Wyspie Południowej, do którego uczęszczał, zauważono jego wybitne zdolności i wysłano na studia na Uniwersytecie Nowozelandzkim. Ukończył tam fizykę i wkrótce za udowodnienie namagnesowania żelaza przez prąd zmienny o wysokiej częstotliwości uzyskał stypendium na wyjazd do Cambridge w Anglii.

W miesiąc po przybyciu Rutherforda do Wlk. Brytanii, 8 listopada 1895 r., świat obiegła wiadomość o odkryciu przez niemieckiego fizyka Wilhelma Roentgena przenikliwego promieniowania X. Dyrektor Laboratorium Cavendisha, w którym Rutherford miał odbywać praktykę, Joseph John Thomson (Nagroda Nobla w roku 1906), zdecydował o rozpoczęciu badań właściwości odkrytego promieniowania. I tak los zrzucił, że młody adept nauki włączył się w zupełnie inne badania niż było to zaplanowane.

Jego talent, entuzjazm, upór i – jak to ujął jego uczeń, a późniejszy noblista, James Chadwick – „jego genialna zdolność dziwienia się” w połączeniu z atmosferą laboratorium, które założył twórca teorii elektromagnetyzmu James Clerk Maxwell oraz atmosfera uniwersytetu, w którym tworzył wielki Isaac Newton, dopełniły reszty. Trzynastcie lat później, w roku 1908, Ernest Rutherford otrzymał Nagrodę Nobla z chemii „za badania nad rozpadem pierwiastków i chemią substancji radioaktywnych”. Rozbawiło go to, że otrzymał nagrodę z chemii, a nie z fizyki, gdyż czuł się prawdziwym fizykiem. Mimo że późniejsze jego odkrycie można uważać za zdecydowanie ważniejsze, Nagrody Nobla z fizyki już nie otrzymał.

W tym samym 1908 r. Rutherford przedstawił prosty doświadczalny dowód na to, że cząstki  $\alpha$  emitowane przez niektóre pierwiastki są zjonizowanymi atomami helu. W tym celu zlecił szklarzowi wykonanie szklanej rurki o grubości ścianki rzędu ułamka milimetra. Usunął z rurki powietrze i napełnił ją promieniotwórczym gazem radonem, intensywnie emitującym cząstki  $\alpha$ .

Przenikające cienką ściankę cząstki te gromadziły się w zewnętrznej szklanej rurce. Po dokonaniu analizy spektralnej gazu, wypełniającego zewnętrzną rurkę, ogłosił, że obserwowane widmo emisyjne odpowiada atomom helu. Uszczelniając rurki jaskrawo czerwonym lakiem do pie-



Ernest Rutherford w 1908 r.

częci, Rutherford żartował, że jest to najbardziej widoczny wkład Banku Anglii do nauki.

Rutherfordowi nie dawało spokoju pytanie, skąd z atomu, który uważano za podstawową i niepodzielną cegiełkę materii, wylatują masywne cząstki. Prawie natychmiast wykorzystał cząstki  $\alpha$  do penetrowania materii, rozpoczynając serię doświadczeń, których wyniki doprowadziły go w roku 1910 do wniosku, że atom ma masywne, bardzo małe jądro. Ponad rok zastanawiał się i analizował wyniki eksperymentów, aby 7 marca 1911 r. na forum Manchesterckiego Towarzystwa Literacko-Filozoficznego ogłosić rewelacyjny wniosek o istnieniu jądra atomowego.

Rutherforda uważano za uczzonego obdarzonego niezawodną intuicją. Jedynym wyjątkiem było tylko jego przekonanie, że energii jądrowej nie będzie można wykorzystać do celów praktycznych. O ogromie energii tkwiącej w atomie wiedział już od wielu lat, gdyż w roku 1903, wraz z ze swoim współpracownikiem, chemikiem Frederickiem Soddy (późniejszym noblistą) w pracy „Przemiana promieniotwórcza” ocenili jako pierwsi energię tej przemiany na „co najmniej 20 tysięcy, a być może i milion razy większą niż energia jakiegokolwiek przemiany chemicznej”. To przekonanie okazało się mylne, lecz Rutherford nie dożył momentu, gdy fizycy znaleźli sposób na wykorzystanie energii jądrowej, gdyż zmarł w roku 1937.

Cechą silnie wyróżniającą Ernesta Rutherforda był jego ojcowski stosunek do studentów, który w połączeniu ze sławą wybitnego fizyka zaowocował tym, że otaczało go zawsze wielu młodych adeptów nauki. Znakomicie funkcjonujący układ mistrz–uczeń wydał najwspanialsze owoce. Rutherford wykształcił jedenastu laureatów Nagrody Nobla, co jest niespotykanym w nauce rekordem, świadczącym jednocześnie o dynamice rozwoju nowej dziedziny fizyki. Wśród uczniów wielkiego fizyka byli m.in. Niels Bohr, György de Hevesy, James Chadwick, Frederick Soddy, Otto Hahn i Piotr Kapica, a także polski fizyk Henryk Niewodni-  
czański.

Obecnie fizyka znajduje się w przededniu nowego przełomu związanego z potrzebą odpowiedzenia na wiele fundamentalnych pytań. Między innymi musi znaleźć wyjaśnienie, czym jest ciemna energia i ciemna materia, co do istnienia których astrofizycy nie mają wątpliwości. I nie ma także wątpliwości, że znajdują się uczeni wykazujący genialną zdolność dziwienia się i olbrzymią intuicję naukową. To oni rozwikłają kolejne zagadki Natury.

*Józef Andrzejewski*

## NOWE KSIĄŻKI

- *Astronomem być...*, red. Andrzej Woszczyk; Dom Organizatora, Toruń 2007, s. 233.
- *Sylwetki astronomów polskich XX w.*, red. Andrzej Woszczyk; Dom Organizatora, Toruń 2008, s. 277.
- *Oblicza fizyki – między fascynacją a niepokojem. Rola fizyki w rozwoju naszej cywilizacji i kultury – dyskusja panelowa*, red. Jerzy Warczewski; PWN, Warszawa 2008, s. 175.
- Jerzy Kierul, *Kepler*, PIW, Warszawa 2007, s. 562.
- Jeremy Bernstein, *Albert Einstein i granice fizyki*, z jęz. angielskiego tłum. Jarosław Włodarczyk; Świat Książki, Warszawa 2008, s. 166.
- *Historia astronomii*, red. Michael Hoskin, z jęz. angielskiego tłum. Jarosław Włodarczyk, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2007, s. 368.
- *Po drogach uczonych. Z członkami Polskiej Akademii Umiejętności rozmawia Andrzej M. Kobos*, Wyd. PAU, Kraków 2008, t. III, s. 892 + 30 fot. barw.

## POSTĘPY FIZYKI W INTERNECIE

<http://postepy.fuw.edu.pl>

- ▶ ARCHIWUM  
spisy treści wszystkich zeszytów
- ▶ ARTYKUŁY DO POBRANIA  
m.in. przekłady wykładów noblowskich (od roku 2001) oraz wykłady z ostatnich Zjazdów Fizyków Polskich
- ▶ MATERIAŁY DODATKOWE  
uzupełnienia niektórych artykułów

## WKRÓTCE W POSTĘPACH

- *Wykłady noblowskie Alberta Ferta i Petera Grünberga*
- *Anna Myłyk i Maria L. Ekiel-Jeżewska o odwracalności mikroprzepływów*
- *Peter Lax o matematyce i fizyce*
- *Bertram Blank o promieniotwórczości dwuprotonowej*

## PRENUMERATA

*Postępy Fizyki* można zaprenumerować w jeden z następujących sposobów.

▶ PRZEZ ODDZIAŁY PTF (tylko prenumerata krajowa dla członków PTF i studentów):

Cena rocznej prenumeraty krajowej w 2009 r. wynosi 48 zł. Dostawa *Postępów* odbywa się za pośrednictwem Oddziałów.

▶ PRZEZ ZARZĄD GŁÓWNY PTF (tylko prenumerata krajowa):

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.

Cena rocznej prenumeraty krajowej w 2009 r. wynosi 60 zł. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową pod wskazany adres.

▶ PRZEZ PRZEDSIĘBIORSTWA KOLPORTAŻU PRASY:

RUCH (<http://www.prenumerata.ruch.com.pl>)

KOLPORTER (<http://sa.kolporter.com.pl>)

GARMOND PRESS (<http://www.garmond.com.pl>)

Cena rocznej prenumeraty krajowej w 2009 r. wynosi 72 zł.

Prenumerata ze zleceniem dostawy za granicę – patrz <http://www.ruch.pol.pl>.

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 *Postęпах 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 (ADVANCED IN PHYSICS)

Founded in 1949, published bimonthly in Polish with titles in English by the Polish Physical Society with a support of the Ministry of Science and Higher Education and the Physics Faculty of the Warsaw University.

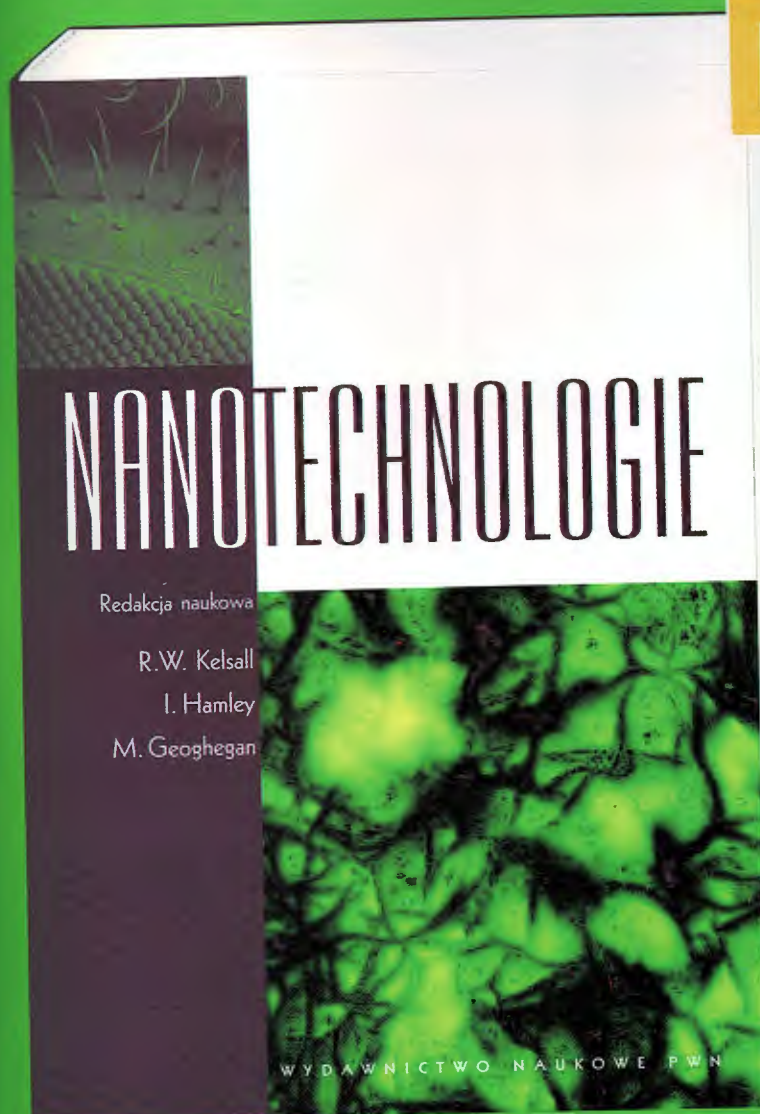
## INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

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>).



# Nanotechnologie krok po kroku!

NOWOŚĆ



R.W. KELSALL, I.W. HAMLEY, M. GEOGHEGAN  
**NANOTECHNOLOGIE**

Barwny, bogaty wykład nowych technologii, które obecnie przenikają do niemal każdej dziedziny nauki i techniki. Ten interdyscyplinarny podręcznik, napisany przez doświadczonych nauczycieli akademickich, zawiera także podstawy fizyki ciała stałego, nauki o materiałach i biologii, które ułatwią studentom przyswojenie wiedzy o nanomateriałach i nanotechnologiach.

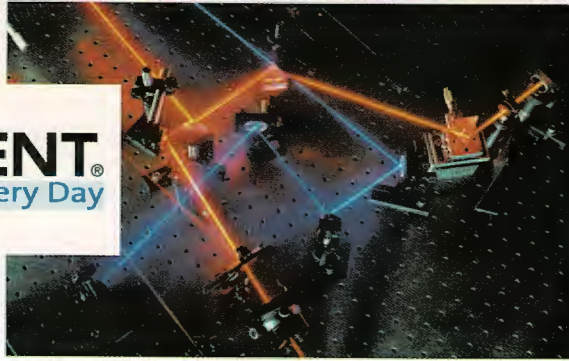
Omówiono w nim:

- ✓ podstawy metodologiczne nanotechnologii – wytwarzanie, klasyfikacja i charakteryzowanie nanostruktur,
- ✓ nanostruktury z półprzewodników nieorganicznych,
- ✓ nanomateriały i urządzenia magnetyczne,
- ✓ metody wytwarzania i właściwości nanomateriałów nieorganicznych,
- ✓ elektroniczne i optoelektroniczne materiały i urządzenia molekularne,
- ✓ samoorganizujące się nanostrukturalne materiały molekularne i urządzenia,
- ✓ makrocząsteczki na granicach faz i uporządkowane warstwy organiczne,
- ✓ bionanotechnologię.

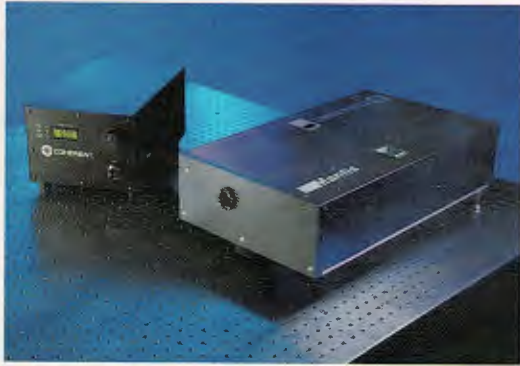
 WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

Zamów przez telefon: 0 801 33 33 88 (0,35 zł za 3 minuty) • Zamów przez Internet: [www.pwn.pl](http://www.pwn.pl)



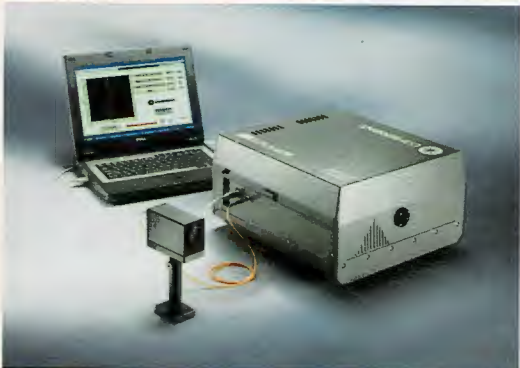


# Łatwe w obsłudze lasery i akcesoria do badań zjawisk ultrakrótkich



## Mantis™ jednobrytowy oscylator femtosekundowy

- szerokie pasmo (>70 nm)
- zintegrowany laser pompujący OPSP<sup>1</sup>
- rezonator z lustrami fazowymi



## Silhouette™ Modulator amplitudy i fazy

- aktywnie kontroluje kształt i pasmo impulsu
- "wycina" spektralne fragmenty pasma
- umożliwia pracę "wielokolorową"
- zastosowania: m.in. CARS, MPE, mieszanie wiązek



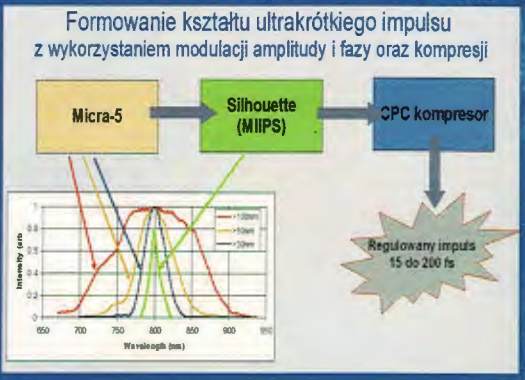
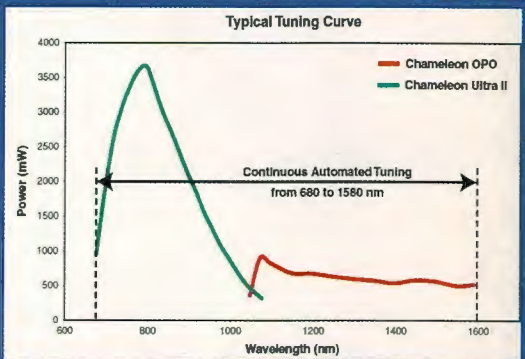
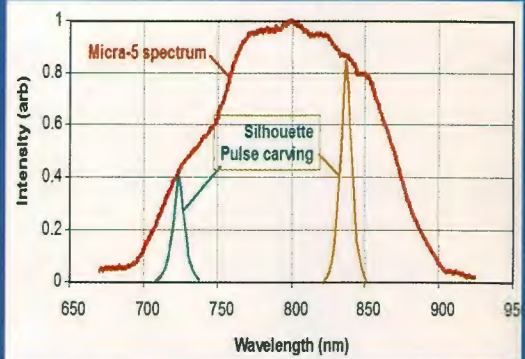
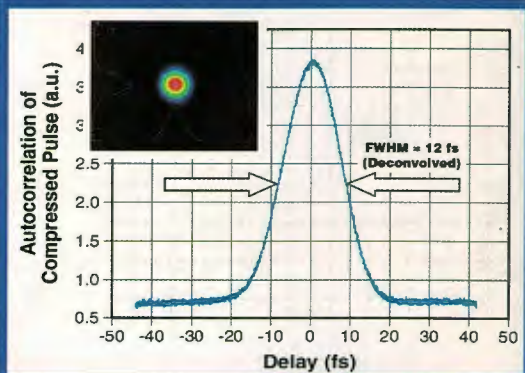
## Chameleon™ / OPO jednobrytowy oscylator femtosekundowy i synchronicznie pompowane OPO

- ciągłe, automatyczne strojenie 680-1580 nm (idler: 1600-3300nm)
- konfiguracje VIS lub IR
- Duża moc wyjściowa: >3.5 W oscylator, >700 mW OPO



## CPC™ Kompresor impulsów

- zwarta konstrukcja na lustrach fazowych
- kontrola GDD od -440 do = 2640 fs<sup>2</sup>
- w połączeniu z szerokopasmowym oscylatorem i Silhouette zmienia szerokość impulsu od ~10 do 200 fs



<sup>1</sup> OPSP - pompowana optycznie dioda laserowa z podwajaniem częstości. Ekonomiczna alternatywa dla pompowanych diodami laserów na ciele stałym.