

tom 58

zeszyt 6 rok 2007

nr indeksu 369721

cena 12 zł (0% VAT)

# POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



**Metamateriały**

**Warstwy grafenowe**

**Eksploratoria**

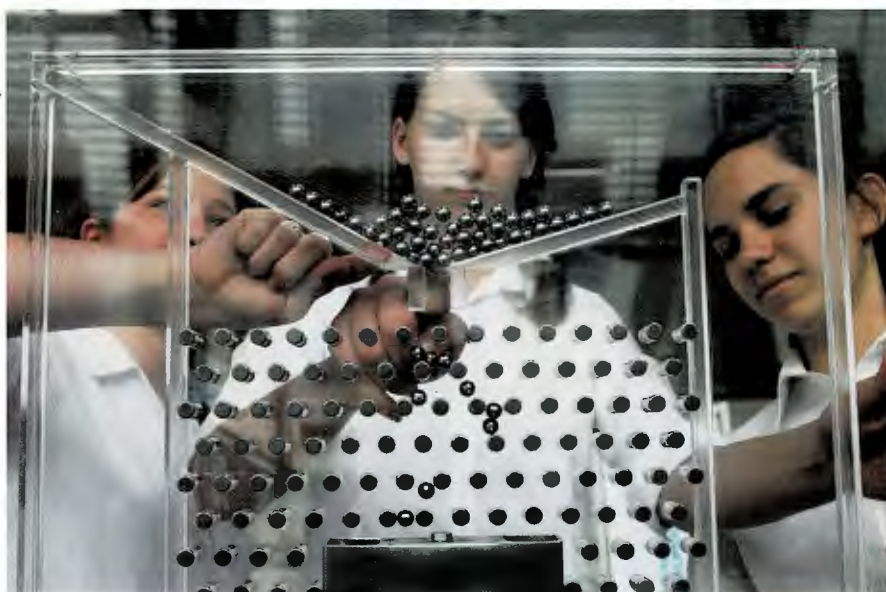


ISSN 0032-5430





Wizualizacja budynku Centrum Nauki Kopernik – widok z Mostu Świętokrzyskiego



Deska Galtona – jeden z eksponatów wystawy „Eksperymentuj!” (materiały Centrum Nauki Kopernik)



Poskręcane rury: jedna osoba mówi do dowolnie wybranego wylotu rury, druga próbuje znaleźć odpowiedni koniec, przez który głos się wydostaje (ekspozycja Centrum Nauki Kopernik na XI Festiwalu Nauki, Warszawa 2007, fot. Aneta Prymaka)

RADA REDAKCYJNA

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

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

KOMITET REDAKCYJNY

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

Adres Redakcji:

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

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

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

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

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

Adres Zarządu:

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

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Eugeniusz Żukowski (Białystok), Stefan Kruszewski (Bydgoszcz), Michał Piasecki (Częstochowa), Bolesław Augustyniak (Gdańsk), Andrzej Klimasek (Gliwice), Maciej Maśka (Katowice), Aldona Kubala-Kukuś (Kielce), Zbigniew Majka (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Bogusław Broda (Łódź), Stanisław Waga (Opole), Roman Świetlik (Poznań), Małgorzata Klisowska (Rzeszów), Włodimir Tomin (Stupsk), Adam Bechler (Szczecin), Grzegorz Karwasz (Toruń), Jerzy Garbarczyk (Warszawa), Zbigniew Kletowski (Wrocław), Paweł B. Szaniecki (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

E. Wolarz – Metamateriały – nowe zastosowania elektrodynamiki .....	242
PTF .....	249, 266
B. Trauzettel – Od grafitu do grafenu (tłum. J. Gronkowski) .....	250
S. Bednarek – Eksploratoria fizyczne w Polsce .....	257
A. Prymaka – Centrum Nauki Kopernik w Warszawie	261
MOIM ZDANIEM: J. Kuczyński – Dlaczego warto znać się na magii .....	263
JUBILEUSZE: 80 lat Jerzego Janika .....	267
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI .....	269
RECENZJE .....	271
WSPOMNIENIA: Jerzy Rogaczewski (1926–2007) .....	277
Pierre-Gilles de Gennes (1932–2007) .....	279
LISTY DO REDAKCJI .....	281
KRONIKA .....	283

*Drodzy Czytelnicy,*

*Tym razem spotykamy się zimą. Z różnych względów nie udało nam się wydać tego zeszytu przed Świętami i Nowym Rokiem, choć staraliśmy się o to, szykując zeszyt nieco bardziej niż zwykle różnorodny i „lekkostrawny”.*

*Artykuły sensu stricto są w nim dwa – Eryka Wolarza o metamaterialach i Björna Trauzettela o grafenie. Niezbyt długie i niezbyt trudne, dotyczące nowych, ciekawych zagadnień fizyki, z którymi na pewno warto bliżej się zapoznać.*

*Ponadto Stanisław Bednarek pisze o eksploratoriach fizycznych w Polsce, a Aneta Prymaka o powstającym w Warszawie Centrum Nauki Kopernik, które ma być profesjonalnym eksploratorium klasy europejskiej – fizyka znajdzie w nim niewątpliwie poczesne miejsce. Kopernik już działa, oferuje zainteresowanym objazdową wystawę „Eksperymentuj!”, a za dwa lata powinna być gotowa siedziba Centrum nad Wisłą. Czekamy, na pewno będzie warto tam bywać.*

*Piszemy też o jubileuszach Jerzego Janika i Andrzeja Pękalskiego, wspominamy Jerzego Rogaczewskiego i Pierre-Gilles de Gennes’a, przedstawiamy recenzje kilku nowych podręczników, a Jerzy Kuczyński przekonywa nas, że warto znać się na magii. O tym, że warto – jak zwykle – zajrzeć do Kroniki, nie trzeba pewnie nikogo przekonywać. Zapraszamy do lektury.*

*Mirek Łukaszewski*

*Na okładce:*

*Pojedyncza warstwa grafenu wygląda w mikroskopie elektronowym jak wymięta jedwabna serwetka (Andrey Geim, University of Manchester)*

# Metamateriały – nowe zastosowania elektrodynamiki

Eryk Wolarz

Wydział Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska

---

## Metamaterials: new applications of electrodynamics

*Abstract:* Artificial structures composed of metallic cylinders, rings, squares, and wires present unusual electromagnetic properties which are not found in natural materials.

---

### Wstęp

Metamateriały to sztucznie wytwarzane struktury o ściśle określonych właściwościach elektromagnetycznych, zbudowane z wielu identycznych jednostek tworzących sieci jedno-, dwu- lub trójwymiarowe. Są one strukturami w znacznym stopniu przypominającymi naturalne kryształy, przy czym rolę atomów lub molekuł odgrywają tu owe jednostki – komórki elementarne w postaci miniaturowych obwodów rezonansowych wykonanych z metalu. Obwody te składają się najczęściej z prostych rezonatorów oddziałujących ze zmiennym polem magnetycznym i prostoliniowych przewodników odpowiedzialnych za ich plazmopodobne zachowanie się w zmiennym polu elektrycznym. Makroskopowe właściwości elektromagnetyczne metamateriałów, podobnie jak substancji naturalnych, określone są przez przenikalności elektryczną i magnetyczną, które w ogólności są funkcjami zespolonymi i zależą od częstości pola. Istotną cechą metamateriałów jest to, że ich parametry elektromagnetyczne mogą być dobierane dość swobodnie poprzez zmianę kształtu i wymiarów mikroobwodów. W szczególności możliwe jest wytwarzanie materiałów o ujemnych wartościach współczynnika załamania w określonym zakresie częstości, co ma istotne konsekwencje dla rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych w takich ośrodkach.

### Fale płaskie w ośrodkach bezstratnych

Bardzo ważnym parametrem mającym wpływ na propagację fal elektromagnetycznych jest wielkość komórki elementarnej ośrodka materialnego, podobnie jak w przypadku kryształów. Jeśli długość fali jest znacznie większa od parametrów sieciowych i gdy nie występuje znaczne tłumienie, to w ośrodku mogą rozprzestrzeniać się fale płaskie. Warunek ten jest spełniony dla fal świetlnych o długości kilkuset nanometrów rozchodzących się w przezroczystych ośrodkach o parametrach sieciowych mniejszych od 10 nanometrów. W ośrodku, w którym rozchodzą się fale o dużej długości, w odpowiedzi na pole elektromagnetyczne fali występuje zgodna w fazie reakcja dużych

grup atomów lub molekuł. W takim przypadku ośrodek można traktować jako ciągły, a efekty związane ze strukturami na poziomie molekularnym nie mają bezpośredniego wpływu na charakter rozchodzącej się fali. Inaczej przedstawia się sytuacja, gdy długość fali elektromagnetycznej jest porównywalna z rozmiarami komórki elementarnej ośrodka. W takim przypadku reakcja sąsiednich atomów lub molekuł na pojawiające się zaburzenie elektromagnetyczne jest niespójna fazowo i przeważają efekty dyfrakcyjne. Jako przykład może służyć dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego w kryształach. Omówiona tutaj zasada obowiązuje również w przypadku metamateriałów, ale – ze względu na większe wartości parametrów sieciowych dla sztucznie wytwarzanych struktur – w takich ośrodkach mogą się rozprzestrzeniać fale o odpowiednio większej długości.

Równania falowe opisujące zmiany w czasie i przestrzeni wektorów natężenia pola elektrycznego ( $\mathbf{E}$ ) i magnetycznego ( $\mathbf{H}$ ) otrzymuje się z równań Maxwella przyjmując, że gęstość ładunku elektrycznego  $\rho$  oraz gęstość prądu  $\mathbf{j}$  w ośrodku są równe zeru. Należy zaznaczyć, że chodzi tu o gęstości wynikające z uśrednienia po obszarach o rozmiarach pojedynczych atomów lub molekuł. Równanie falowe dla wektora  $\mathbf{E}$  w przypadku ośrodka izotropowego przyjmuje następującą postać (analogiczne równanie można napisać dla wektora  $\mathbf{H}$ ):

$$\frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

gdzie  $c^2 = (\varepsilon_0\mu_0)^{-1}$  jest kwadratem prędkości światła w próżni,  $\varepsilon$  oraz  $\mu$  oznaczają odpowiednio względną przenikalność elektryczną i magnetyczną, a  $\varepsilon_0$  oraz  $\mu_0$  – odpowiednio stałą elektryczną i magnetyczną.

Rozwiązaniem równania (1) jest fala płaska

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 e^{i(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - \omega t)}, \quad (2)$$

gdzie  $\mathbf{E}_0$  oznacza amplitudę, a  $\mathbf{k}$  oraz  $\omega$  odpowiednio wektor falowy i częstość kołową, które spełniają związek dys-

persyjny

$$\mathbf{k} \cdot \mathbf{k} = \frac{\omega^2}{c^2} \varepsilon \mu. \quad (3)$$

Jeśli przyjąć, że  $\mathbf{k}$  jest wektorem o składowych rzeczywistych, to fala płaska (2) nie jest tłumiona, a iloczyn  $\varepsilon\mu$  przyjmuje wartość rzeczywistą dodatnią. Można wobec tego zdefiniować współczynnik załamania ośrodka  $n$ :

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu}. \quad (4)$$

Zgodnie z tą definicją  $n$  może być dodatnią lub ujemną liczbą rzeczywistą, gdy  $\varepsilon$  oraz  $\mu$  są jednocześnie dodatnie lub ujemne. Wiadomo, że dla większości substancji naturalnych, w których mogą się rozprzestrzeniać fale elektromagnetyczne, występuje pierwsza możliwość ( $\varepsilon > 1$  oraz  $\mu > 1$ ). Z kolei materia w stanie plazmy charakteryzuje się w określonym zakresie częstości  $\omega$  ujemnymi wartościami przenikalności elektrycznej, choć również w tym przypadku  $\mu > 0$ . Jak wynikało z badań prowadzonych w latach sześćdziesiątych XX w. i wcześniej, w przyrodzie nie spotyka się materiałów o wartościach  $\mu < 0$ , a tym bardziej takich, dla których jednocześnie  $\varepsilon < 0$  oraz  $\mu < 0$ . W związku z tym wydawało się, że poszukiwania ośrodków o jednocześnie ujemnych wartościach  $\varepsilon$  oraz  $\mu$  są skazane na porażkę.

### „Ujemne” załamanie fal elektromagnetycznych

Na początku lat sześćdziesiątych XX w. Wiktor Wiesiało z Instytutu Fizyki im. P.N. Lebediewa wykazał teoretycznie, że z rozchodzeniem się fal elektromagnetycznych w ośrodkach o ujemnych współczynnikach załamania  $n$  wiążą się zaskakujące efekty [1]. Najbardziej spektakularnym z nich jest zjawisko tzw. ujemnego załamania na granicy „zwykłego” ośrodka ( $\varepsilon > 0$ ,  $\mu > 0$ ) i ośrodka, dla którego  $\varepsilon < 0$  oraz  $\mu < 0$ . Polega ono na tym, że fala załamuje się zgodnie z prawem Snella, ale kierunek rozchodzenia się fali załamanej w ośrodku o ujemnym współczynniku  $n$  stanowi w stosunku do kierunku w przypadku „zwykłego” ośrodka zwierciadlane odbicie względem płaszczyzny normalnej do płaszczyzny padania (rys. 1).

Wektory  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$  oraz  $\mathbf{k}$  charakteryzujące płaską falę elektromagnetyczną (2) tworzą układ ortogonalny, co wynika z następujących związków wektorowych:

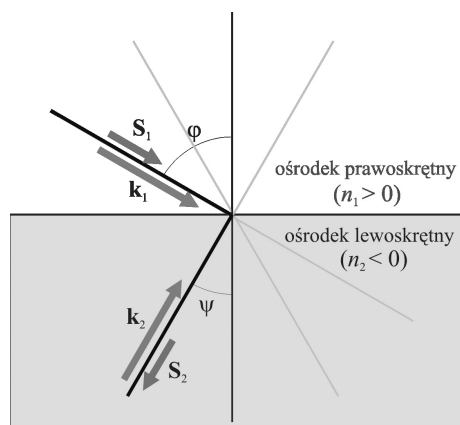
$$\mathbf{k} \times \mathbf{E} = \mu\mu_0\omega\mathbf{H}, \quad (5a)$$

$$\mathbf{k} \times \mathbf{H} = -\varepsilon\varepsilon_0\omega\mathbf{E}, \quad (5b)$$

$$\mathbf{E} \times \mathbf{H} = \frac{c^2}{\varepsilon\mu} \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{2} \varepsilon\varepsilon_0 \mathbf{E} \cdot \mathbf{E} + \frac{1}{2} \mu\mu_0 \mathbf{H} \cdot \mathbf{H} \right) \mathbf{k}. \quad (5c)$$

Jak się łatwo przekonać, układ ortogonalnych wektorów  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$  oraz  $\mathbf{k}$  dla  $\varepsilon > 0$  oraz  $\mu > 0$  jest prawoskrętny. W związku z tym przyjęto nazywać „zwykłe” ośrodki prawoskrętnymi. Z kolei dla  $\varepsilon < 0$  oraz  $\mu < 0$  wektory te tworzą układ lewoskrętny. Odpowiednie hipotetyczne ośrodki nazwano wobec tego lewoskrętnymi. Należy zaznaczyć, że użycie terminów „lewo-” i „prawoskrętny” może być

niewielce mylące, jeśli wziąć pod uwagę, że służą one również do określenia substancji (o dodatnich wartościach przenikalności  $\varepsilon$  oraz  $\mu$ ), które mają właściwość skręcania płaszczyzny polaryzacji światła (substancji optycznie czynnych). Wprowadzona klasyfikacja dotyczy zarówno rzeczywistych, jak i hipotetycznych substancji i nie ma nic wspólnego z ich aktywnością optyczną. Ośrodki prawoskrętne według tu przyjętej terminologii charakteryzują się dodatnim, natomiast lewoskrętne ujemnym współczynnikiem załamania.



Rys. 1. Odbicie i załamanie fal elektromagnetycznych na granicy ośrodków o dodatnim i ujemnym współczynnikach załamania. Kąty padania i załamania dane są odpowiednio przez  $\varphi$  oraz  $\psi$ , natomiast  $\mathbf{k}_1$  oraz  $\mathbf{k}_2$  i  $\mathbf{S}_1$  oraz  $\mathbf{S}_2$  oznaczają odpowiednio wektory falowe i Poyntinga w obu ośrodkach.

Gdyby rozważać tylko monochromatyczne fale płaskie, dla których składowe wektorów  $\mathbf{E}$  oraz  $\mathbf{H}$  i wartości  $\varepsilon$  oraz  $\mu$  byłyby dodatnimi wielkościami rzeczywistymi, to wyrażenie występujące w nawiasie we wzorze (5c) określałoby gęstość energii pola elektromagnetycznego. Aby określić gęstość energii dla ujemnych  $\varepsilon$  oraz  $\mu$ , wyrażenie to należy wziąć ze znakiem minus. Kierunek prędkości fazowej monochromatycznej fali elektromagnetycznej określony jest przez wektor falowy  $\mathbf{k}$ , a kierunek przepływu energii związanej z polem elektromagnetycznym tej fali – przez wektor Poyntinga  $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ . Na podstawie równania (5c) można stwierdzić, że wektory te są równoległe, gdy fala rozprzestrzenia się w ośrodku prawoskrętnym, i antyrównoległe w materiale lewoskrętnym (rys. 1). W ośrodkach o ujemnym współczynniku załamania przepływ energii odbywa się więc w kierunku przeciwnym do kierunku przemieszczania się punktów stałej fazy, co jest sprzeczne z intuicją. Oprócz zjawiska „ujemnego” załamania na granicy ośrodków lewo- i prawoskrętnego, konsekwencją antyrównoległości wektorów  $\mathbf{S}$  oraz  $\mathbf{k}$  w materiałach o ujemnym współczynniku załamania jest również jakościowo odmienny od obserwowanego w „zwykłych” ośrodkach charakter wielu innych efektów związanych z rozprzestrzenianiem się fal elektromagnetycznych. W swojej pracy Wiesiało podał jako przykłady promieniowanie Czerenkowa i zjawisko Dopplera.

## Fale płaskie w ośrodkach dyspersyjnych

Jeżeli  $\varepsilon$  oraz  $\mu$  są wielkościami zespolonymi, to interpretacja wzoru (5c) jest bardziej skomplikowana niż w przypadku wartości rzeczywistych. Rozważane wyrażenie w nawiasach przyjmuje w ogólności wartości zespolone. Ponadto w ośrodkach charakteryzujących się zespolonymi wartościami przenikalności fale płaskie są tłumione, co w wielu przypadkach wyklucza te ośrodki z rozważań dotyczących propagacji takich fal. Jeśli jednak części urojone przenikalności są małe w porównaniu z ich częściami rzeczywistymi, to taki ośrodek może być traktowany jako bezstratny.

W trakcie poszukiwań materiałów o ujemnym współczynniku załamania Wiesiełago doszedł do wniosku, że w przypadku występowania dyspersji przenikalności elektrycznej i magnetycznej ośrodek może w pewnym zakresie częstości charakteryzować się jednocześnie ujemnymi wartościami części rzeczywistych  $\varepsilon$  oraz  $\mu$  i odpowiednio małym tłumieniem fal elektromagnetycznych. Ponadto dla częstości spełniających nierówność

$$\frac{\partial(\varepsilon\omega)}{\partial\omega} > 0, \quad \frac{\partial(\mu\omega)}{\partial\omega} > 0 \quad (6)$$

odpowiednie wyrażenie we wzorze (5c) opisuje gęstość energii. W związku z tym w ograniczonym zakresie częstości lewoskrętne ośrodki dyspersyjne przypominają ośrodki bezstratne.

Rezonans magnetyczny związany z występowaniem niesparowanych spinów w substancjach naturalnych w fazie stałej obserwuje się dla częstotliwości  $f = \omega/2\pi$  mniejszych od 1 THz. W tym zakresie możliwe są ujemne wartości części rzeczywistej przenikalności magnetycznej. Dla większych częstotliwości  $\mu$  przyjmuje wartość stałą (rzeczywistą) równą 1. Z drugiej strony rezonanse wynikające z drgań sieci krystalicznej lub będące wynikiem innych mechanizmów występują dla częstotliwości większych od 3 THz i tylko w tym przedziale część rzeczywista przenikalności elektrycznej może przyjmować wartości ujemne. Ponieważ oba zakresy rezonansowe (elektryczny i magnetyczny) nie mają części wspólnej, więc oczywiste jest to, że części rzeczywiste  $\varepsilon$  oraz  $\mu$  nie mogą być jednocześnie ujemne. Tym samym dla ośrodków naturalnych współczynnik załamania nie może przyjmować wartości ujemnych. Warto tu przypomnieć, że współczynnik załamania, dany wzorem (4), jest w ogólności liczbą zespoloną, ale przy założeniu małych strat elektrycznych i magnetycznych w ośrodku można przyjąć, iż część urojona współczynnika  $n$  jest mała w porównaniu z jego częścią rzeczywistą.

## Koncepcja teoretyczna metamateriałów

Ze zrozumiałych powodów o sprawie ujemnego współczynnika załamania zapomniano na ponad 30 lat. W roku 1999 sir John Pendry z Imperial College w Londynie wraz z grupą współpracowników z GEC-Marconi Materials Technology Ltd w Caswell (Wlk. Brytania) opublikowali pracę teoretyczną, w której przedstawili swoje nowatorskie podejście do problemu rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w ośrodkach o ujemnym współczynniku

załamania [2]. Pomysł polegał m.in. na tym, żeby ośrodki, w których mogłyby się rozprzestrzeniać fale elektromagnetyczne, konstruować z periodycznie rozmieszczonych w przestrzeni jednakowych miniaturowych obwodów elektrycznych o ściśle określonej własnej pojemności i indukcyjności. Rozmiar takich komórek elementarnych można dostosowywać do potrzeb i w zasadzie ogranicza go tylko stopień zaawansowania technologii wytwarzania mikroobwodów elektrycznych. Rozmiar ten jest bezpośrednio związany z zakresem długości fal elektromagnetycznych, które mogą rozprzestrzeniać się w takim sztucznym materiale. Na przykład, rozmiary komórki elementarnej dla mikrofal powinny być niewiększe niż kilka milimetrów. W takim przypadku ośrodek stanowi dla fal swego rodzaju kontinuum, a jego „ziarnistość” nie wpływa bezpośrednio na charakter propagacji.

W koncepcji Pendry’ego i in. można znaleźć pełną analogię między materiałami naturalnymi – kryształami o określonej strukturze – a materiałami sztucznymi (metamateriałami). Oczywiście analogia ta dotyczy przede wszystkim właściwości elektromagnetycznych i związana jest z wprowadzeniem efektywnej przenikalności elektrycznej ( $\varepsilon_{\text{ef}}$ ) i magnetycznej ( $\mu_{\text{ef}}$ ). Wartości tych przenikalności można określić, rozpatrując pojedynczą komórkę elementarną metamateriału, bez wnikania w szczegóły budowy atomowo-molekularnej ośrodka.

Przenikalności efektywne zdefiniowane są przez równania materiałowe, w których zamiast wektorów natężeń i indukcji pola elektromagnetycznego określonych w każdym punkcie przestrzeni występują ich uśrednione wartości na krawędziach lub powierzchniach bocznych komórki elementarnej metamateriału:

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{D} \rangle &= \varepsilon_{\text{ef}} \varepsilon_0 \langle \mathbf{E} \rangle, \\ \langle \mathbf{B} \rangle &= \mu_{\text{ef}} \mu_0 \langle \mathbf{H} \rangle. \end{aligned} \quad (7)$$

Wartości średnie składowych wektorów charakteryzujących właściwości magnetyczne metamateriału oblicza się w następujący sposób:

$$\begin{aligned} \langle H \rangle_x &= a^{-1} \int_{(0,0,0)}^{(a,0,0)} \mathbf{H} d\mathbf{r}, & \langle B \rangle_x &= a^{-2} \int_{S_x} \mathbf{B} d\mathbf{S}, \\ \langle H \rangle_y &= a^{-1} \int_{(0,0,0)}^{(0,a,0)} \mathbf{H} d\mathbf{r}, & \langle B \rangle_y &= a^{-2} \int_{S_y} \mathbf{B} d\mathbf{S}, \\ \langle H \rangle_z &= a^{-1} \int_{(0,0,0)}^{(0,0,a)} \mathbf{H} d\mathbf{r}, & \langle B \rangle_z &= a^{-2} \int_{S_z} \mathbf{B} d\mathbf{S}, \end{aligned} \quad (8)$$

gdzie  $a$  jest parametrem sieciowym, a  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$  oznaczają pola powierzchni bocznych komórki elementarnej.

Na podstawie wzorów (7) i (8) można określić składowe tensora efektywnej przenikalności magnetycznej:

$$\begin{aligned} (\mu_{\text{ef}})_x &= \langle B \rangle_x / \mu_0 \langle H \rangle_x, \\ (\mu_{\text{ef}})_y &= \langle B \rangle_y / \mu_0 \langle H \rangle_y, \\ (\mu_{\text{ef}})_z &= \langle B \rangle_z / \mu_0 \langle H \rangle_z \end{aligned} \quad (9)$$

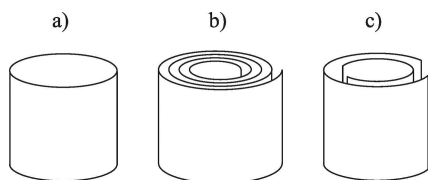
(i analogicznie elektrycznej).

W przypadku metamateriałów w przeciwieństwie do substancji naturalnych istnieją nieograniczone możliwości

modyfikowania przenikalności elektrycznej i magnetycznej. W szczególności przez odpowiedni dobór kształtu i wymiarów komórki elementarnej w pewnym zakresie częstości można uzyskać jednocześnie ujemne wartości części rzeczywistych  $\epsilon_{\text{ef}}$  oraz  $\mu_{\text{ef}}$ . Jeśli straty dielektryczne i magnetyczne są małe, to w takim materiale współczynnik załamania jest w przybliżeniu ujemną liczbą rzeczywistą, a ośrodki w pewnym zakresie częstości są lewoskrętne.

Warto wspomnieć, że pomysł modelowania elektromagnetycznych właściwości pewnych stanów materii z wykorzystaniem struktur z komórek elementarnych o rozmiarach makroskopowych pojawił się nieco wcześniej. W 1996 r. Pendry i wymienieni powyżej współpracownicy opracowali model rozrzedzonej plazmy w postaci nieskończonej łańcuchowej metalowych przewodników tworzących ortogonalną sieć trójwymiarową [3]. Dla takiej struktury, podobnie jak dla rzeczywistej plazmy,  $\epsilon_{\text{ef}}$  przyjmuje ujemne wartości dla częstości mniejszych od częstości plazmowej  $\omega_p$ . Ponieważ jednak efektywna przenikalność magnetyczna w tym przypadku jest dodatnia, fale elektromagnetyczne są w takim ośrodku silnie tłumione.

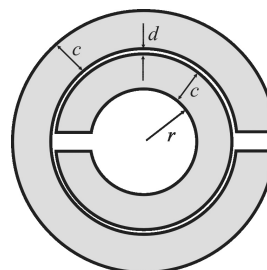
W pracy [2] zaproponowano trzy dwuwymiarowe modele metamateriałów zbudowanych z mikrostruktur elektromagnetycznych. Pierwszy z tych kompozytów składał się z metalowych cylindrów rozmieszczonych periodycznie na płaszczyźnie i zorientowanych tak, by ich osie symetrii były do niej prostopadłe (rys. 2a). Pozostałe dwa kompozyty stanowiły pewną modyfikację pierwszego, polegającą na zastąpieniu poszczególnych cylindrów taśmą metalową cylindrycznie nawiniętą wokół osi (rezonator typu „rolada”, ang. Swiss roll, rys. 2b) lub układem dwóch współosiowych cylindrów rozciętych wzdłuż kierunku równoległego do ich osi (rezonator typu „rozcięty cylinder”, ang. split cylinder, rys. 2c). Jak się można łatwo przekonać, fala elektromagnetyczna może efektywnie oddziaływać z takimi dwuwymiarowymi metamateriałami, jeśli wektory natężeń pól magnetycznego i elektrycznego są skierowane odpowiednio równoległe i prostopadłe do osi symetrii cylindrów. Pendry wykazał, że przy odpowiednim doborze wymiarów geometrycznych oraz oporu elektrycznego materiału, z którego wykonane są mikrostruktury, w pewnym zakresie częstości część rzeczywista przenikalności magnetycznej może mieć wartości ujemne.



Rys. 2. Przykłady elementarnych struktur rezonansowych metamateriałów dwuwymiarowych: rezonator cylindryczny (a), rezonator typu „rolada” (b), rezonator typu „rozcięty cylinder” (c)

Z praktycznego punktu widzenia interesujący wydaje się zmodyfikowany model z rezonatorów typu „roz-

cięty cylinder”. Zmniejszając wysokość metalowych cylindrów, w granicznym przypadku otrzymuje się układ dwóch współosiowych pierścieni tworzących rezonator typu „rozcięty pierścień” (ang. split ring, SRR, rys. 3). Z pierścieni takich można tworzyć jedno-, dwu- i trójwymiarowe metamateriały o ujemnych wartościach części rzeczywistej  $\mu_{\text{ef}}$ .



Rys. 3. Model rezonatora typu „rozcięty pierścień” (SRR). Układ z pracy [4] miał następujące wymiary:  $c = 0,8$  mm,  $d = 0,2$  mm,  $r = 1,5$  mm.

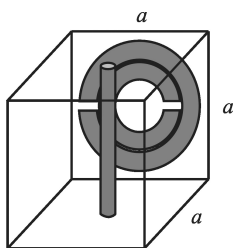
Na podstawie analizy teoretycznej Pendry i jego współpracownicy stwierdzili, że efektywne przenikalności dla dwuwymiarowego metamateriału zbudowanego z rezonatorów typu „rozcięty pierścień” oraz długich przewodników (odpowiedzialnych za właściwości plazmowe) można wyrazić następującymi wzorami:

$$\epsilon_{\text{ef}}(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}, \quad \mu_{\text{ef}}(\omega) = 1 - \frac{F\omega^2}{\omega^2 - \omega_0^2 + i\omega\Gamma}, \quad (10)$$

gdzie  $\omega_p$  oznacza częstość plazmową,  $\omega_0$  – częstość, dla której występuje maksimum absorpcji rezonansowej  $\mu_{\text{ef}}$ ,  $F$  – stosunek pola powierzchni wewnętrznej rezonatora do pola powierzchni bocznej komórki elementarnej, natomiast  $\Gamma$  – współczynnik dysypacji.

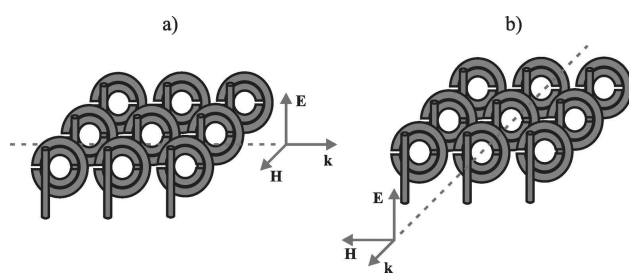
## Realizacja koncepcji metamateriałów

W roku 2000, prawie natychmiast po opublikowaniu przez Pendry’ego i współpracowników wyników teoretycznych dotyczących struktur metamaterialnych, grupa z University of California w San Diego, kierowana przez Davida Smitha, zbudowała pierwszy dwuwymiarowy model metamateriału [4]. Komórka elementarna zaprezentowanego metamateriału składała się z jednego rezonatora typu „rozcięty pierścień”, odpowiedzialnego za właściwości magnetyczne ośrodka, oraz prostoliniowego przewodnika, równoległego do płaszczyzny pierścieni, który odpowiadał za „plazmowy” charakter zależności efektywnej przenikalności elektrycznej od częstości (rys. 4). Średnica rezonatora wynosiła ok. 8 mm, a jego częstotliwość rezonansowa 4,845 GHz, co odpowiadało fali o długości 6,19 cm (w próżni). Na tej podstawie przyjęto, że dla mikrofal kryterium kontinuum ( $a \ll \lambda$ ) było spełnione. Średnica prostoliniowego przewodnika wynosiła 0,8 mm, co w rozpatrywanym ośrodku odpowiadało częstości plazmowej  $\omega_p$  równej  $13 \cdot 10^9$  s<sup>-1</sup>.



Rys. 4. Komórka elementarna metamateriału utworzona przez SRR i prostoliniowy przewodnik imitujący plazmę

Smith i jego współpracownicy zbadali, czy w ich ośrodku mogą rozchodzić się mikrofały w kierunku równoległym do płaszczyzn rezonatorów, przy założeniu, że wektor  $\mathbf{H}$  jest do tych płaszczyzn prostopadły (rys. 5a), oraz w kierunku prostopadłym (wektor  $\mathbf{H}$  równoległy do płaszczyzn pierścieni, rys. 5b). W obu przypadkach wektor  $\mathbf{E}$  był równoległy do płaszczyzn rezonatorów i prostoliniowych przewodników. Obliczenia numeryczne pokazały, że dla pierwszej konfiguracji w zakresie częstotliwości od 4,2 GHz do 4,6 GHz dyspersja efektywnej przenikalności magnetycznej metamateriału przybiera wartości ujemne. Z kolei  $\epsilon_{\text{ef}}$  przyjmuje wartości ujemne dla częstotliwości mniejszych od 13 GHz. Biorąc pod uwagę te fakty, można wnioskować, iż dla rozpatrywanego metamateriału powinno występować „okno transmisyjne” o szerokości 400 MHz, w którym część rzeczywista współczynnika załamania powinna być ujemna. Przewidywania teoretyczne zostały potwierdzone doświadczalnie i tym samym wykazano, że materiały lewoskrętne mogą być wytwarzane w sposób sztuczny.



Rys. 5. Kierunki wektorów natężeń pola elektrycznego i magnetycznego w eksperymencie z propagacją fal elektromagnetycznych w metamateriale zbudowanym z SRR-ów i prostoliniowych przewodników

W 2001 r. Richard Shelby, Smith i Sheldon Schultz przedstawili na łamach *Science* kolejne spektakularne osiągnięcie, jakim była doświadczalna weryfikacja „ujemnego” załamania mikrofal na granicy metamateriału i powietrza [5]. W tym celu przygotowano dwa pryzmaty, jeden wykonany z teflonu i używany jako odnośnik, a drugi z metamateriału, takiego jak używany we wcześniejszych eksperymentach. Częstotliwość 10,5 GHz wiązki mikrofalowej padającej na pryzmat z jednej jego strony ustalono tak, aby dopasować się do „okna transmisyjnego” ośrodka

metamaterialnego. Z drugiej strony pryzmatu mierzono energię promieniowania przechodzącego przez pryzmat, zmieniając w sposób ciągły położenie detektora. Na podstawie prawa Snella, zastosowanego do pryzmatu o kącie łamiącym  $\varphi = 18,43^\circ$ , oszacowano wartość współczynnika załamania dla badanego metamateriału, która wynosiła w tym przypadku  $n = -2,7 \pm 0,1$ .

### Kontrowersje związane z „ujemnym” załamaniem

Eksperyment z „ujemnym” załamaniem wzbudził spore zainteresowanie metamateriałami. Jednocześnie pojawiły się pewne kontrowersje co do jego poprawności. Główny zarzut dotyczył tego, że w rzeczywistej w badanych metamateriałach występowało silne tłumienie mikrofal, co w połączeniu z możliwymi odbiciami wewnętrznymi w pryzmacie (duża wartość bezwzględna współczynnika załamania) mogło prowadzić do błędnej interpretacji położenia rejestrowanych maksimum energetycznych. W tym samym czasie pojawiły się także pewne wątpliwości w związku z interpretacją teoretycznych wyników dotyczących materiałów o ujemnym współczynniku załamania, które mogły istotnie zaważyć na dalszych badaniach metamateriałów. Prashant Valanju i jego współpracownicy z University of Texas w Austin rozważali teoretycznie załamanie wiązki mikrofal składającej się z fal o dwóch bardzo bliskich częstościach [6]. W wiązce takiej pojawiają się dudnienia, które przed załamaniem się fali na granicy ośrodków przemieszczają się z prędkością różną od prędkości fazowych obu fal monochromatycznych. Wektor prędkości charakteryzujący kierunek przemieszczania się powierzchni stałej amplitudy dudnienia jest prostopadły do powierzchni stałej fazy obu fal składowych. W typowych zagadnieniach związanych z propagacją fal prędkość przemieszczania się powierzchni stałej amplitudy dudnienia jest interpretowana jako prędkość grupowa. Jeśli fala tego typu pada na granicę między ośrodkami różniącymi się znakiem współczynnika załamania, to, jak zauważył Valanju, dla poszczególnych monochromatycznych fal składowych obserwuje się „ujemne” załamanie. Jednak w przypadku powierzchni stałej amplitudy zjawisko załamania przedstawia się tak samo jak dla fal monochromatycznych na granicy ośrodków o jednakowym znaku współczynnika załamania. Przyjmując, że wektor prędkości przemieszczania się powierzchni stałej amplitudy w metamateriale można utożsamiać z wektorem prędkości fazowej, można było wyciągnąć wniosek, iż zmiana kierunku przepływu energii na granicy dwóch ośrodków ma „normalny” charakter. Artykuł, w którym Valanju i in. przedstawili ten paradoks, ukazał się na początku 2002 r. i natychmiast wywołał konsternację oraz wątpliwości co do poprawności aktualnych teorii i wyników doświadczalnych dotyczących metamateriałów.

Paradoks związany z prędkością fazową wyjaśniono dość szybko. W 2002 r. Smith, David Schurig i Pendry wykazali, że prędkości przemieszczania się powierzchni stałej amplitudy w zjawisku załamania fal na granicy różnych ośrodków nie można utożsamiać z prędkością gru-



pową [7]. Ponadto udowodnili, że w przypadku opisanym przez Valanju zmiana kierunku wektora prędkości grupowej na granicy ośrodków o różnej skrętności ma w rzeczywistości charakter „ujemnego” załamania.

Argumenty przedstawione przez Pendry’ego, Smitha i Schuriga były wystarczająco przekonujące, by rozwiązać wątpliwości i wywołać nową falę zainteresowania metamateriałami. Szczególnie istotne było opracowanie technologii wytwarzania, która umożliwiłaby uzyskanie metamateriałów o wysokiej jakości w celu dokładnej weryfikacji przewidywań teoretycznych. W 2003 r. grupa Minasa Tanieliana z Boeing Phantom Works w Seattle przedstawiła wyniki doświadczeń refrakcyjnych, przeprowadzonych dla pryzmatu z metamateriału o bardzo małej absorpcji [8]. Dokładność pomiarów była tak duża, że na ich podstawie można było jednoznacznie potwierdzić występowanie „ujemnego” załamania na granicy badanego ośrodka lewoskrętnego i powietrza.

## Od mikrofal do światła

Parametry sieciowe komórki elementarnej metamateriału z Boeing Phantom Works wynosiły kilka milimetrów, co w przypadku mikrofal pozwalało traktować taki ośrodek jako kontinuum. Jak się okazało, w tym zakresie długości fal elektromagnetycznych (w wąskich przedziałach częstości) materiał miał niezwykle cechy związane z ujemnymi wartościami współczynnika załamania.

Metamateriały o ujemnym współczynniku załamania w zakresie mikrofalowym wytwarzane są z reguły metodą obwodów drukowanych. Przez odpowiednie zestawienie wielu płytek z nadrukowanymi strukturami miedzianymi uzyskuje się metamateriały jedno-, dwu- i trójwymiarowe. W trakcie badań w naturalny sposób pojawiło się pytanie, czy można wytworzyć metamateriały o ujemnym współczynniku załamania dla fal krótszych od mikrofal, np. dla fal świetlnych. Stwierdzono, że proste przeskalowanie wymiarów komórki elementarnej nie prowadziło bezpośrednio do rozwiązania problemu, ponieważ istotne było również uwzględnienie właściwości elektrycznych materiału użytego do budowy mikroobwodów. W szczególności dotyczyło to przewodności elektrycznej, która w metalach maleje wraz ze wzrostem częstości, co wpływa bezpośrednio na zmniejszenie amplitudy rezonansu magnetycznego rezonatorów i w konsekwencji uniemożliwia uzyskanie ujemnych wartości części rzeczywistej przenikalności magnetycznej.

W celu uzyskania struktur rezonansowych o mniejszych rozmiarach konieczne jest zastosowanie np. wyrafinowanych metod fotolitograficznych. W 2004 r. współpracujący ze sobą badacze z uniwersytetów kalifornijskich w Los Angeles i San Diego oraz z Imperial College w Londynie ogłosiły na łamach *Science* wyniki wspólnych prac związanych z wytworzeniem metamateriałów o ujemnym współczynniku załamania dla częstości ok. 1 THz ( $\lambda = 300 \mu\text{m}$ ) [9]. W celu wytworzenia na powierzchniach płytek krzemowych miedzianych struktur rezonansowych SRR o grubości  $3 \mu\text{m}$  opracowano proces wielokrotnej fotolitografii. Uzyskany tą metodą dwuwymiarowy metamateriał,

o parametrze sieciowym ok.  $50 \mu\text{m}$ , rozważano pod kątem jego zastosowania np. w soczewkach o regulowanej ogniskowej, w zwierciadłach o odpowiednio dobranych parametrach odbiciowych i transmisyjnych, we wnękach rezonansowych, konwerterach i wielu innych urządzeniach.

Doskonalenie metod fotolitograficznego wytwarzania struktur rezonansowych na powierzchni cienkich płytek krzemowych bardzo szybko pozwoliło uzyskać metamateriały o ujemnym współczynniku załamania w zakresie bliskiej podczerwieni ( $f = 100 \text{ THz}$ ,  $\lambda = 3 \mu\text{m}$ ) [10]. Analiza teoretyczna problemu, z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania, przeprowadzona w 2006 r. przez Atsushiego Ishikawę i Takuo Tanakę z Osaka University, pokazała, że możliwe jest również wytwarzanie metamateriałów o ujemnym współczynniku załamania w zakresie widzialnym [11]. Jednak, jak wynika z obliczeń, do wykonania mikroobwodów wykazujących rezonans w tym zakresie oraz cechujących się mniejszymi wartościami strat magnetycznych konieczne jest zastosowanie srebra zamiast miedzi.

Na początku 2007 r. Gunnar Dolling, Martin Wegener i Stefan Linden z Uniwersytetu w Karlsruhe oraz Costas Soukoulis z Iowa State University przedstawili pierwszy metamateriał, który charakteryzował się ujemnymi wartościami współczynnika załamania dla fal świetlnych o długości  $780 \text{ nm}$  [12]. Metamateriał ten wykonano metodą fotolitografii na podłożu szklanym z warstwą tlenku indowocynowego (ITO) z zastosowaniem wiązki elektronowej. Z założenia był on strukturą płaską (dwuwymiarową), zbudowaną z trzech warstw (Ag,  $\text{MgF}_2$ , Ag) o łącznej grubości ok.  $100 \text{ nm}$  i parametrze sieciowym wynoszącym  $300 \text{ nm}$ . O znacznym rozwoju technologii wytwarzania takich układów świadczy fakt, że otrzymany metamateriał był makroskopowo jednorodny oraz że szerokość fragmentów mikroobwodów wynosiła ok.  $70 \text{ nm}$ .

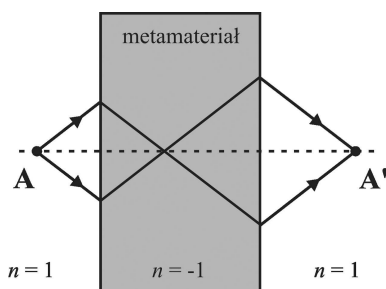
Wytworzenie metamateriału o ujemnym współczynniku załamania w zakresie fal świetlnych byłoby ważnym i jednocześnie pobudzającym wyobraźnię osiągnięciem naukowo-technicznym, gdyż wprowadzałoby jakościowe zmiany w pojmowaniu tradycyjnej optyki geometrycznej. Należy jednak pamiętać, że nie zostały jeszcze spełnione wszystkie warunki pełnego sukcesu na tym polu. Chodzi tu m.in. o opracowanie technologii wytwarzania struktur trójwymiarowych oraz o postęp w zmniejszaniu wymiarów komórki elementarnej. Można przypuszczać, że po spełnieniu tych warunków możliwe będzie konstruowanie elementów optycznych z metamateriałów o ujemnym współczynniku załamania dla fal o długości zaledwie  $400 \text{ nm}$ .

## Idealna soczewka i „czapka niewidka”

Ujemne wartości współczynnika załamania dla fal elektromagnetycznych o określonej częstości nie są jedyną cechą metamateriałów odróżniającą je od substancji naturalnych. Metamateriały charakteryzują się również innymi niezwyklejmi właściwościami. Należy wymienić tu przede wszystkim sztuczny magnetyzm, będący konsekwencją właściwości omówionych wcześniej elektromagnetycznych mikroobwodów rezonansowych tworzących

sieć, znacznie zredukowaną aberrację soczewek wykonanych z metamateriałów (idealne soczewki), a także efekt „niewidzialności” („czapka niewidka”), dzięki możliwości modelowania kierunku rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych w metamateriale.

Tradycyjna optyka geometryczna nakłada ograniczenia na dokładność odwzorowania przedmiotu za pomocą soczewki. Nie jest mianowicie możliwe rozróżnienie w obrazie detali mniejszych niż połowa długości fali promieniowania świetlnego wykorzystywanego w doświadczeniu. W 2000 r. Pendry wykazał teoretycznie [13], że idealne odwzorowanie przedmiotu można uzyskać, konstruując płaską soczewkę z metamateriału, dla którego  $\epsilon_{ef} = -1$  oraz  $\mu_{ef} = -1$  (rys. 6). Praktyczna realizacja tego pomysłu wydawała się jednak dość trudna, m.in. dlatego, że uzyskanie jednocześnie ujemnych wartości przenikalności elektrycznej i magnetycznej wymaga, by te wielkości charakteryzowały się znaczną dyspersją. Dyspersja z kolei związana jest z absorpcją fal elektromagnetycznych w ośrodku, mającą destrukcyjny wpływ na jakość odwzorowania przedmiotu. W 2004 r. Anthony’emu Grbicowi i George’owi Eleftheriadesowi z University of Toronto udało się skonstruować taką płaską soczewkę z metamateriału, która dla fali o określonej długości z zakresu mikrofalowego pozwoliła uzyskać rozdzielczość ok.  $\lambda/5$  [14].

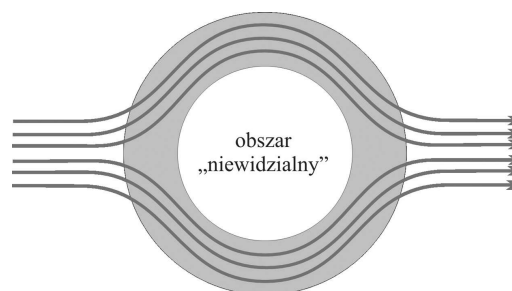


Rys. 6. Idealna soczewka płaska z metamateriału

Jak wynika z analizy teoretycznej przeprowadzonej przez Pendry’ego, warunek małych strat i jednocześnie ujemnych wartości współczynnika załamania mógł być spełniony dla cienkiej warstwy srebra spełniającej funkcję płaskiej soczewki. Wysokoczęstotliwościowe składowe fal elektromagnetycznych, czyli tzw. pole bliskiego zasięgu, odpowiadające za wierne odwzorowanie szczegółów przedmiotu, wzbudzają w takiej warstwie rezonanse przypominające plazmony na powierzchni metalu. W wyniku oddziaływań rezonansowych fale, które w ośrodku o dodatnim współczynniku załamania szybko zanikają, mogą być wzmacniane w cienkiej warstwie srebra o ujemnej wartości  $\epsilon = -1$  (wartość  $\mu$  nie jest istotna, jeśli odległość między obrazem a przedmiotem jest wielokrotnie mniejsza od długości fali). W konsekwencji możliwe jest znacznie dokładniejsze odwzorowanie przedmiotu w płaszczyźnie obrazowej, niżby to wynikało z zasad tradycyjnej optyki geometrycznej. W 2005 r. Xiang Zhang i jego współpracownicy z University of California w Berkeley zademonstrowali

ten efekt po raz pierwszy dla fal świetlnych [15,16]. Wykorzystali w tym celu soczewkę w postaci cienkiej warstwy srebra o grubości ok. 50 nm, naporowanej na płaską powierzchnię półkuli wykonanej ze szkła BK7. W swojej publikacji szczegółowo opisali efekt wzmocnienia pola bliskiego zasięgu związanego ze wzbudzeniami plazmonów powierzchniowych.

Innym odkryciem, związanym z rozchodzeniem się fal elektromagnetycznych w metamateriałach, które z oczywistych względów wzbudziło ogromne zainteresowanie nie tylko środowiska naukowego, ale również mediów, był efekt „czapki niewidki”. Jego teoretyczne podstawy fizyczne opublikowano w maju 2006 r. na łamach *Science* [17]. W artykule przedstawiono w gruncie rzeczy strategię projektowania egzotycznych soczewek z metamateriałów, które pozwalałyby tak przekierowywać bieg promieni, aby omijały one określone obiekty materialne (rys. 7). Tym samym przedmioty stawałyby się „niewidzialne” dla obserwatora. W październiku tego samego roku Smith i jego współpracownicy z Duke University w Durham (USA), a także Anthony Starr z SensorMatrix w San Diego oraz Pendry zaprezentowali skonstruowany przez siebie dwuwymiarowy model takiej zasłony dla zakresu mikrofalowego [18]. Można przypuszczać, że w niezbyt odległej przyszłości układy takie mogą znaleźć wiele praktycznych zastosowań.



Rys. 7. Wiązka promieni odpowiadających fali elektromagnetycznej w dwuwymiarowym modelu „czapki niewidki” z metamateriału

## Zakończenie

Wytworzenie na początku XXI w. pierwszych metamateriałów o ujemnym współczynniku załamania może być traktowane jako początek nowej gałęzi badań fizycznych w ramach współczesnej elektrodynamiki. Ich niezwykle właściwości elektromagnetyczne, związane z rozprzestrzenianiem się w nich fal o długościach znacznie większych od wymiarów komórki elementarnej ośrodka, przyczyniły się do reinterpretacji wielu dobrze ugruntowanych praw fizycznych. Należy zwrócić uwagę, że badania fizyczne metamateriałów mają ścisły związek z postępem we współczesnej nanoinżynierii materiałowej, bez której niemożliwe byłoby wytwarzanie elementarnych struktur rezonansowych o wymiarach kilkudziesięciu nanometrów. Do chwili obecnej przedstawiono wiele, częściowo już zrealizowanych, pomysłów zastosowań metamateria-

łów, w szczególności w elektronice (elementy aktywne) i radiotechnice (płaskie anteny). Podsumowując można stwierdzić, że metamateriały jako realne struktury stały się ważnym obiektem badań fizycznych i zainteresowania ze strony inżynierii materiałowej.

## Literatura

- [1] W.G. Wiesiła, *Usp. Fiz. Nauk* **92**, 517 (1967) [*Soviet Physics Uspekhi* **10**, 509 (1968)].
- [2] J.B. Pendry i in., *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* **47**, 2075 (1999).
- [3] J.B. Pendry i in., *Phys. Rev. Lett.* **76**, 4773 (1996).
- [4] D.R. Smith i in., *Phys. Rev. Lett.* **84**, 4184 (2000).
- [5] R.A. Shelby, D.R. Smith, S. Schultz, *Science* **292**, 77 (2001).
- [6] P.M. Valanju, R.M. Walser, A.P. Valanju, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 187401 (2002).
- [7] D.R. Smith, D. Schurig, J.B. Pendry, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 2713 (2002).
- [8] C.G. Parazzoli i in., *Phys. Rev. Lett.* **90**, 107401 (2003).
- [9] T.J. Yen i in., *Science* **303**, 1494 (2004).
- [10] S. Linden i in., *Science* **306**, 1351 (2004).
- [11] A. Ishikawa, T. Tanaka, *Opt. Commun.* **258**, 300 (2006).
- [12] G. Dolling, M. Wegener, C.M. Soukoulis, S. Linden, *Opt. Lett.* **32**, 53 (2007).
- [13] J.B. Pendry, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 3996 (2000).
- [14] A. Grbic, G.V. Eleftheriades, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 117403 (2004).
- [15] N. Fang, H. Lee, C. Sun, X. Zhang, *Science* **308**, 534 (2005).
- [16] H. Lee i in., *New J. Phys.* **7**, 255 (2005).
- [17] J.B. Pendry, D. Schurig, D.R. Smith, *Science* **312**, 1780 (2006).
- [18] D. Schurig i in., *Science* **314**, 977 (2006).

Dr hab. ERYK WOLARZ zajmuje się fizyką ciekłych kryształów. W szczególności interesują go zagadnienia związane z uporządkowaniem orientacyjnym i dynamiką molekularną w ciekłych kryształach o małej masie molowej i w liniowych polimerach ciekłokrystalicznych z bocznymi grupami mezogenymi. Część jego prac dotyczy efektu fotoorientacyjnego w polimerach ciekłokrystalicznych z domieszką małych cząsteczkowych związków azowych. Ostatnio interesuje się również polimerami o właściwościach półprzewodnikowych i możliwościami ich zastosowania w ekranach elektroluminescencyjnych, a także metamateriałami, przed którymi otwierają się obecnie szerokie możliwości wykorzystania w technice.



## PTF



### Komisje i sekcje PTF 2006–09

- ▶ Komisja Dużych Urzędzeń Badawczych  
przew. Reinhard Kulesa (kulesa@if.uj.edu.pl);
- ▶ Komisja Nagród i Odznaczeń  
przew. Henryk Szymczak (szymh@ifpan.edu.pl);
- ▶ Komisja Nagród Dydaktycznych  
przew. Józefina Turło (jturlo@phys.torun.pl);
- ▶ Komisja Nauczania Fizyki w Szkołach Wyższych  
przew. Włodzimierz Salejda  
(Wlodzimierz.Salejda@if.pwr.wroc.pl);
- ▶ Komisja Nauczania Fizyki w Szkołach  
przew. Mirosław Trociuk (m.trociuk@oswiata.org.pl);
- ▶ Komisja Historii Fizyki  
przew. Maciej Kluza (maciek@mains.in.uj.edu.pl);
- ▶ Komisja Legislacyjna – zakończyła działalność;
- ▶ Komisja Regulaminowa  
przew. Bogdan Cichocki (cichocki@fuw.edu.pl);
- ▶ Komisja Wyborcza  
przew. Zygmunt Ajduk (ajduk@fuw.edu.pl);
- ▶ Komisja Współpracy z Zagranicą  
przew. Szymon Bauch (bauch@ifpan.edu.pl);
- ▶ Komisja Nazewnictwa Fizycznego  
przew. Bernard Jancewicz (bjan@ift.uni.wroc.pl);
- ▶ Komisja Popularyzacji i Promocji Fizyki  
przew. Urszula Woźnikowska-Bezak  
(ula@pm.katowice.pl);
- ▶ Komisja ds. Sieci Szkół z Komputerowymi Laboratoriami  
Przyrodniczymi  
przew. Grzegorz Karwasz (karwasz@fizyka.umk.pl);  
(dokończenie na stronie 256)

# Od grafitu do grafenu\*

Björn Trauzettel

Wydział Fizyki i Astronomii Uniwersytetu w Bazylei, Szwajcaria

## From graphite to graphene

*Abstract:* Carbon monolayered form called graphene, a new model system for two-dimensionally confined electrons, is presented. Several examples of its interesting and promising properties are described.

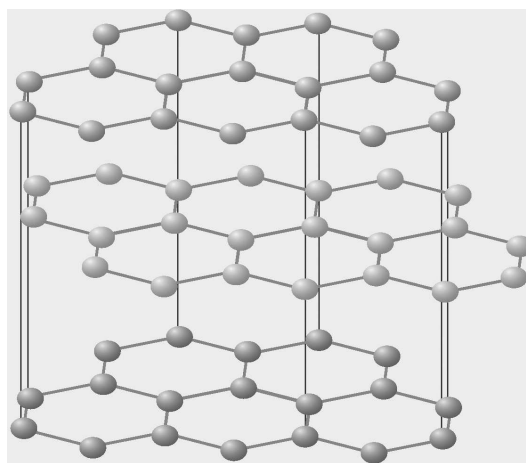
## Wstęp

Gdy przed kilkoma laty udało się wytworzyć pojedyncze warstwy atomowe grafitu, czyli grafen, eksperymetatorzy i teoretycy z zapałem rzucili się na tę najnowszą odmianę węgla, która pod każdym względem ma inne właściwości niż zwykłe półprzewodniki, np. krzem. Szczególnego uroku dodaje grafenowi zwłaszcza fakt, że elektrony zachowują się w nim jak bezmasowe cząstki ultrarelatywistyczne.

Węgiel, jeden z najważniejszych pierwiastków biosfery, jest w niej wszechobecny. Do jego licznych odmian należą obie znane od setek lat formy krystaliczne występujące w sposób naturalny w przyrodzie – diament i grafit. Liczba odmian węgla wzrosła w roku 1985, gdy Robert F. Curl Jr., sir Harold Kroto i Richard E. Smalley odkryli przypominające kształtem kulę fulereny, za co w 1996 r. otrzymali Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii. W roku 1991 Sumi Ijima wykazał, że oprócz – niejako zerowymiarowych – fulerenów istnieją też jednowymiarowe, cylindryczne nanorurki węglowe; ich badania w bardzo krótkim czasie stały się jednym z najaktywniej uprawianych działów fizyki ciała stałego. Ponieważ grafit w postaci krystalicznej zbudowany jest z równoległych, płaskich warstw, w których atomy węgla ułożone są w sześciokątną sieć jak w plastrze miodu (rys. 1), podjęcie próby osobnego zbadania również takiej pojedynczej warstwy narzucało się samo. Kanadyjski teoretyk Philip R. Wallace już przed 60 laty zajmował się tą odmianą dwuwymiarową [1], lecz dopiero w roku 2004 udało się ją wyprzebarować i zbadać doświadczalnie. Przedtem nie znano metody ekstrakowania grafenu z grafitu i montowania go na podłożu, tak by można było wykonać dalsze badania. Ten przełom doświadczalny zapoczątkował serię ciekawych kwestii, a nieraz także kontrowersji, diskutowanych obecnie intensywnie przez fizyków ciała stałego. Ze względu na dużą dynamikę tych badań dokonano tymczasem wielu nowych, potencjalnie doniosłych odkryć zarówno od strony

### JEDNYM ZDANIEM

- W grafenie, czyli idealnej pojedynczej warstwie atomowej grafitu, atomy węgla tworzą sieć sześciokątną.
- Pasma przewodnictwa i pasmo walencyjne stykają się w grafenie w sześciu wyróżnionych punktach, w których otoczeniu energia zależy liniowo od pędu podobnie jak dla cząstki ultrarelatywistycznej, a ze względu na dwuatomową bazę funkcja falowa ma przy tym strukturę spinorową.
- Prowadzi to do charakterystycznych zmian kwantowego zjawiska Halla, potwierdzających niezwykle właściwości grafenu.
- Pojawiły się już także pierwsze pomysły wykorzystania grafenu, w szczególności jako bitów kwantowych.



Rys. 1. Sieć krystaliczna grafitu składa się z równoległych, płaskich warstw. Pojedynczą warstwę nazywa się grafenem; wykazuje ona typowe heksagonalne uporządkowanie atomów węgla.

\*Artykuł, opublikowany w *Physik Journal* 6, zes. 7, 39 (2007), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy. [Translated with permission. Copyright © 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.]

doświadczalnej jak i teoretycznej; ich przykłady także opiszemy bliżej w tym artykule.

## Oddzielanie warstwy grafenowej

Węgiel jest pierwszym pierwiastkiem czwartej grupy głównej układu okresowego. Ma on na zewnętrznej powłoce dwa elektrony p oraz dwa elektrony s. Trzy z tych czterech elektronów, tworzące zhybrydowany orbital  $sp^2$ , określają strukturę krystaliczną węgla. Za właściwości elektronowe grafenu w największym stopniu odpowiedzialny jest czwarty elektron ( $\pi$ ) powłoki zewnętrznej wraz z innymi elektronami  $\pi$ . Energia wiązania między atomami węgla wchodzącymi w skład warstwy wynosi 4,3 eV, a między atomami należącymi do warstw sąsiadujących – zaledwie 0,07 eV. W zasadzie powinno zatem być możliwe rozdzielanie poszczególnych warstw bez zniszczenia przy tym ich struktury w obrębie warstwy. Należało tylko opracować jakąś metodę praktycznej realizacji tego zadania.

Przed trzema laty grupie badaczy pod kierunkiem Andreey Geima i Kostii Novoselova z Uniwersytetu w Manchesterze udało się wyizolować grafen na podłożu z tlenku krzemu [2]. Co ciekawe, przełom ten nastąpił dzięki metodzie klasy „low-tech”, polegającej na przyciśnięciu taśmy klejącej (popularnego „scotcha”) do płatków grafitu, a następnie wciśnięciu taśmy z przyklejonymi do niej płatkami do podłoża z dwutlenku krzemu [3]. Procedurę tę należało powtórzyć kilka razy. Przebieg całego procesu można sobie wyobrazić tak, że taśma wrywa jedną lub kilka warstw grafenu, układających się równolegle do powierzchni grafitu. Najtrudniejszym krokiem przy odkryciu grafenu była dokładna identyfikacja tych płatków, które naprawdę składają się z jednej jedynej warstwy atomów węgla. Badacze z Manchesteru stwierdzili, że atomowe monowarstwy grafenu są widoczne w mikroskopie optycznym, jeśli dobrze dobrana jest grubość podłoża z  $SiO_2$ . Gdy już płatki grafenu zostaną zidentyfikowane, można wytworzyć na nich kontakty i przeprowadzić pomiary przewodnictwa elektrycznego (transportu).

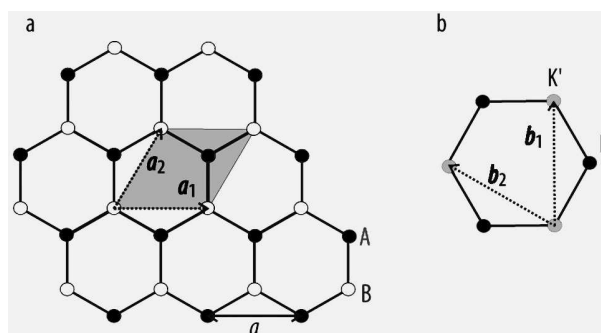
Oprócz wyżej wymienionej metody z taśmą klejącą istnieją już także inne, bardziej wyrafinowane techniki wytwarzania warstw grafenowych. Na razie najbardziej skuteczną jest metoda epitaksjalnego wzrostu grafenu na podłożu z węglika krzemu, opracowana przez Walta de Heera i Claire Berger z Georgia Tech w Atlancie [4]. Jednakże trudniejsze jest wytworzenie przy jej użyciu dokładnie jednej warstwy, ponadto podłoże wpływa na widmo elektronowe warstwy grafenowej. Ponieważ metoda ta nadaje się do produkcji masowej, wiele grup na całym świecie za potrzebną uważa intensyfikację badań nad grafenem wytwarzanym epitaksjalnie. Jako przykład metody badań wspomnijmy tu rozdzielczą kątowno spektroskopię fotoemisyjną (ARPES, ang. angle resolved photoemission spectroscopy), która umożliwia pomiary dynamiki kwazicząstek w grafenie [5].

Eksperymenty te wraz z badaniami teoretycznymi przyniosły fascynujące wyniki. Na przykład, kwantowe

zjawisko Halla można w grafenie obserwować już w temperaturze pokojowej (choć w bardzo silnym polu magnetycznym). Ponadto grafen wykazuje słabe sprzężenie spinowo-orbitalne, co czyni go interesującym dla zastosowań w spintronice. Najbardziej fascynuje jednakże struktura pasmowa grafenu. Niskoenergetyczne wzbudzenia wykazują mianowicie liniowy związek dyspersyjny, tzn. energia jest proporcjonalna do pędu, podobnie jak dla cząstek bezmasowych i ultrarelatywistycznych (z efektywną „prędkością światła” odpowiadającą prędkości Fermiego  $v_F \approx c/300$ ).

## Niezwykła struktura pasmowa

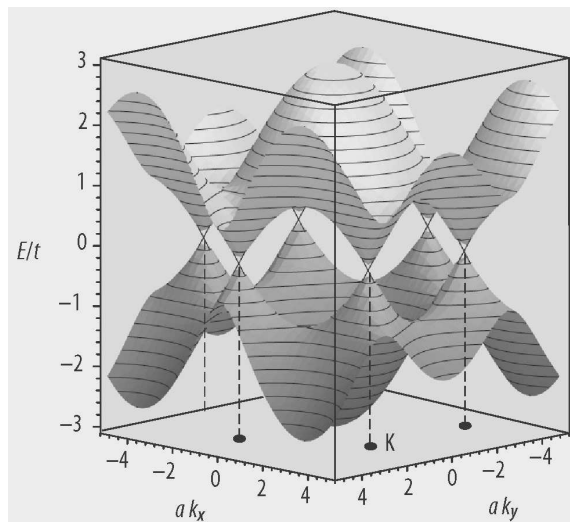
Aby dokładniej zrozumieć strukturę pasmową grafenu, warto przyjrzeć się jego sieci krystalicznej w przestrzeni rzeczywistej i odwrotnej [6]. Sieć rzeczywista ma dwuatomową bazę (związaną z każdym węzłem sieci), wskutek czego można ją podzielić na dwie podsieci A oraz B, wytwarzające wspólnie sześciokątną strukturę z atomów węgla (rys. 2a). Sieć odwrotna także wykazuje strukturę heksagonalną (rys. 2b). Wierzchołki pierw-



Rys. 2. a) Sieć typu „plastra miodu” w kryształce grafenu rozpinają dwa wektory sieci prymitywnej  $a_1$  oraz  $a_2$ . Ponieważ komórka elementarna (oznaczona zacieniowaniem) ma bazę dwuatomową, można wyróżnić dwie podsieci (pełne i puste kółka), obie o parametrze („stałej”)  $a = |a_1| = |a_2| = 0,246$  nm. b) Wierzchołki pierwszej strefy Brillouina w sieci odwrotnej odgrywają ważną rolę we wzbudzeniach niskoenergetycznych w grafenie. Widać, że istnieją dwa nierównoważne rodzaje wierzchołków; oznaczmy je K oraz  $K'$  (odpowiednio czarne i szare kółka). Nierównoważność polega na tym, że z punktów  $K'$  można dostać się do innych punktów  $K'$  za pomocą translacji będących kombinacjami liniowymi całkowitych wielokrotności wektorów  $b_1$  oraz  $b_2$  sieci odwrotnej, lecz nie można w ten sposób przejść do punktów K. Punkty te określają w grafenie dolinowy stopień swobody.

szej strefy Brillouina (tzw. punkty K) odgrywają w widmie grafenu szczególną rolę, ponieważ właśnie w nich stykają się ze sobą pasma walencyjne i przewodnictwa. Istnieje kilka możliwości obliczenia niskoenergetycznego widma grafenu. Na przykład, można na podstawie tzw. teorii  $k \cdot p$  oraz właściwości symetrii sieci rzeczywistej i odwrotnej skonstruować operator Hamiltona, a następnie rozwiązać równanie Schrödingera [7]. Nieco prostsze

podejście do obliczenia widma zdelokalizowanych elektronów  $\pi$  opiera się na modelu ciasnego wiązania (patrz ramka) [1]. Stosunkowo skomplikowane widmo wskazuje na występowanie – w niemal całym zakresie wektorów falowych – przerwy energetycznej między pasmem walencyjnym i pasmem wzbronionym (rys. 3). Jedyne wyjątki to



Rys. 3. Widmo energetyczne grafenu obliczone za pomocą modelu ciasnego wiązania (patrz (i) w ramce) ma pasmo walencyjne ( $E < 0$ ) i pasmo przewodnictwa ( $E > 0$ ). W punktach K oba pasma się stykają. Punkty te zwane są punktami neutralizacji ładunków lub punktami Diraca, w nawiązaniu do równania (iii).

sześć oddzielnych punktów (wierzchołków pierwszej strefy Brillouina), w których oba pasma się stykają. W owych punktach K grafen jest więc półprzewodnikiem o zerowej przerwie energetycznej. W otoczeniu punktów K widmo można zlinearyzować, a z rozwiązania równania własnego otrzymuje się wspomniany już liniowy związek dyspersyjny

$$E = \pm \hbar v_F (k_x^2 + k_y^2)^{1/2}, \quad (1)$$

z prędkością Fermiego  $v_F = (\sqrt{3}ta)/2\hbar \approx 10^6$  m/s. Znak „+” dotyczy rozwiązania odpowiadającego pasmu przewodnictwa, a znak „-” pasmu walencyjnemu widma grafenu.

Ponieważ równanie Schrödingera w pobliżu punktu K przypomina formalnie równanie Diraca–Weyla dla bezmasowych neutrin (patrz ramka „Model ciasnego wiązania”), elektrony w grafenie zachowują się formalnie tak jak cząstki ultrarelatywistyczne. Ta analogia z elektrodynamiką kwantową w przestrzeni (2 + 1)-wymiarowej jest jednym z głównych powodów tak wielkiego zainteresowania, jakie w najróżniejszych działach fizyki budzą właściwości fizyczne grafenu.

## Kwantowe zjawisko Halla w grafenie

W roku 2005 dwóm grupom (Geima i Novoselova w Manchesterze [8] oraz Horsta Stormera i Philipa Kima

## MODEL CIASNEGO WIĄZANIA

W modelu tym operator Hamiltona zdelokalizowanych elektronów  $\pi$  w grafenie zapisuje się w postaci

$$H = t \sum_{\langle i,j \rangle} A_i^\dagger B_j + B_j^\dagger A_i, \quad (i)$$

przy czym sumowanie przebiega tylko po najbliższych sąsiadach, a operatory  $A_i^\dagger$  ( $A_i$ ) kreują (anihilują) stany Wanniera w węzle  $i$  podsieci A; dotyczy to też odpowiednio operatorów  $B_i^\dagger$  ( $B_i$ ) w podsieci B. Tunelowy element macierowy  $t$  jest określony przez potencjał atomowy sieci. Stany własne są funkcjami falowymi Blocha postaci

$$|\Psi_k\rangle = [\alpha \sum_i (e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{R}_i} A_i^\dagger) + \beta \sum_j (e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{R}_j} B_j^\dagger)]|0\rangle. \quad (ii)$$

We wzorze tym  $\alpha$  oraz  $\beta$  oznaczają współczynniki,  $\mathbf{R}_i$  – wektory sieciowe,  $\mathbf{k} = (k_x, k_y)$  – wektor falowy,  $|0\rangle$  – stan próżni. Rozwiązaniem stacjonarnego równania Schrödingera  $H|\Psi_k\rangle = E|\Psi_k\rangle$  jest stosunkowo skomplikowane widmo. Dla wzbudzeń w otoczeniu punktów K (do energii w przedziale 1–2 eV) równanie Schrödingera można zapisać w postaci

$$\hbar v_F \mathbf{k} \cdot \boldsymbol{\sigma} |\Psi\rangle = E |\Psi\rangle. \quad (iii)$$

W równaniu tym  $v_F = (\sqrt{3}ta)/2\hbar \approx 10^6$  m/s oznacza prędkość Fermiego nośników ładunku,  $E$  – energię wzbudzenia względem punktu neutralizowania się ładunków,  $\boldsymbol{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y)$  – macierze Pauliego, a  $|\Psi\rangle = (|\Psi_A\rangle, |\Psi_B\rangle)$  – spinorową funkcję falową, której składowe  $|\Psi_A\rangle$  oraz  $|\Psi_B\rangle$  oznaczają przyczynki do tej funkcji związane odpowiednio z podsieciami A oraz B. Struktura spinorowa nie ma nic wspólnego ze spinowym stopniem swobody elektronów, lecz wiąże się z faktem, że sieć rzeczywista ma bazę dwuatomową. Z macierzami  $\boldsymbol{\sigma}$  łączy się pseudospinowy stopień swobody. Co ciekawe, równanie (iii) odpowiada równaniu Diraca–Weyla dla bezmasowych neutrin.

na Columbia University w Nowym Jorku [9]) udało się niezależnie zaobserwować w grafenie kwantowe zjawisko Halla (QHE). Ten przełom doświadczalny jednoznacznie pokazał, że opis transportu elektronów w grafenie za pomocą równania Diraca–Weyla jest poprawny. Co ciekawe, pomiar QHE stanowi kryterium jednoznacznego rozróżnienia między grafenem jedno- i wielowarstwowym (grafitem), stąd obecnie QHE wykorzystuje się często do kalibracji preparatów grafenowych. W typowym grafenie jednowarstwowym przewodność hallowska jest skwantowana zgodnie ze wzorem

$$\sigma_{xy} = \pm 4(e^2/h)(N + 1/2), \quad (2)$$

gdzie  $N$  oznacza liczbę kwantową poziomów landauowskich, a  $e^2/h$  – kwant przewodności (rys. 4, patrz też ramka „Kwantowe zjawisko Halla”). Wszystkie poziomy Landaua są poczwórnym zdegenerowane, co jest wynikiem

## KWANTOWE ZJAWISKO HALLA

Kwantowe zjawisko Halla jest odpornym na zakłócenia zjawiskiem transportowym w dwuwymiarowych gazach elektronowych (2DEG), do których przyłożone jest silne pole magnetyczne o kierunku prostopadłym do powierzchni [10]. W polu tym elektrony poruszają się po okręgach, które są skwantowane. Tę tak zwaną kwantyzację Landaua można w przypadku grafenu łatwo obliczyć z równania (iii) w ramce „Model ciasnego wiązania”, przy czym  $\mathbf{p} = \hbar\mathbf{k}$  należy zastąpić przez  $\mathbf{p} + (e/c)\mathbf{A}$ . Potencjał wektorowy  $\mathbf{A} = (B/2)[-y, x]$  opisuje prostopadłe do powierzchni grafenu pole magnetyczne o indukcji  $B$ . Obliczone w ten sposób widmo grafenu dane jest wzorem

$$E_N^G = \pm v_F \sqrt{2e\hbar BN} \quad (\text{iv})$$

z orbitalną liczbą kwantową  $N = 0, 1, 2, 3, \dots$  poziomów Landaua.

Zupełnie inaczej przebiega kwantyzacja Landaua w przypadku „zwykłego” 2DEG (np. heterostruktury GaAs/AlGaAs). Z rozwiązania równania Schrödingera

$$\frac{[\mathbf{p} + (e/c)\mathbf{A}]^2}{2m^*} \Psi(\mathbf{r}) = E \Psi(\mathbf{r}) \quad (\text{v})$$

wynika, że

$$E_N^{2\text{DEG}} = \hbar\omega_c(N + 1/2), \quad (\text{vi})$$

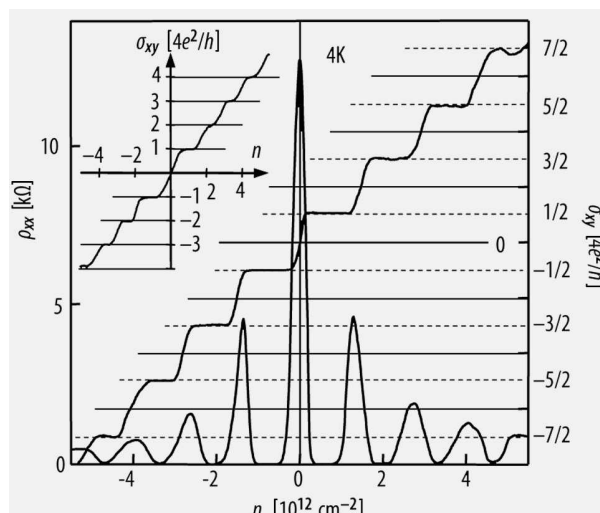
gdzie  $N = 0, 1, 2, 3, \dots$ ,  $\Psi(\mathbf{r})$  oznacza funkcję falową,  $m^*$  – masę efektywną, określoną przez potencjał rdzeni atomowych, a  $\omega_c = eB/m^*$  – częstość cyklotronową.

Wzory (iv) oraz (vi) różnią się w istocie pod trzema względami. 1) W przypadku grafenu istnieją rozwiązania o energii dodatniej lub ujemnej, a w zwykłym 2DEG – tylko dodatniej. 2) W grafenie istnieje poziom Landaua  $E_0^G = 0$ , w zwykłym 2DEG najniższa energia  $E_0^{2\text{DEG}} = \hbar\omega_c/2$  jest różna od zera. 3) W przeciwieństwie do 2DEG różne poziomy Landaua w grafenie nie tworzą drabinki o jednakowych odstępach energetycznych.

Rozpraszanie na domieszkach prowadzi do poszerzenia poziomów Landaua. Przewodność hallowską można wówczas obliczyć za pomocą formuły Kubo, otrzymując dla grafenu wzór (2) [11,12].

dwóch degeneracji podwójnych – spinowej ( $\uparrow, \downarrow$ ) oraz dolinowej ( $K, K'$ ). W „zwykłym” dwuwymiarowym układzie elektronów z czterokrotną degeneracją poziomów landauowskich i symetrią elektron–dziura należałoby oczekiwać przewodności hallowskiej postaci  $\sigma_{xy} = \pm 4(e^2/h)N$ . Rozstrzygająca różnica to przesunięcie tej przewodności o stały człon  $2e^2/h$ , tak że w szczególności dla  $N = 0$  przewodność  $\sigma_{xy}$  przybiera niezerową wartość  $2e^2/h$ . Różnica ta wiąże się bezpośrednio z topologią sieci krystalicznej

<sup>1</sup>W zasadzie jest to możliwe także w krzemie lub arsenku galu. W przypadku tych półprzewodników szeroka przerwa energetyczna sprawia jednak, że zmiana typu przewodnictwa z elektronowego na dziurowe wymaga dużej energii. W grafenie zmiana taka nie kosztuje dużo energii, gdyż przerwa energetyczna znika.



Rys. 4. Przy pomiarze QHE w grafenie jednowarstwowym opór podłużny  $\rho_{xx}$  oraz przewodność hallowska  $\sigma_{xy}$  (krzywe schodkowe) jako funkcje koncentracji nośników ładunku  $n$  wykazują charakterystyczne osobliwości (przy indukcji 14 tesli, wg [8]). Z lewej strony u góry: przewodność hallowska  $\sigma_{xy}$  w przypadku grafenu dwuwarstwowego. (Ujemne wartości koncentracji oznaczają przewodnictwo dziurowe – tłum.).

grafenu. Ze względu na pseudospinową strukturę funkcji falowej i towarzyszące jej (silne) sprzężenie pseudospinu z orbitalnym stopniem swobody, pseudospin obraca się, gdy elektrony w polu magnetycznym wykonują ruch po okręgu. Prowadzi to do przesunięcia fazowego funkcji falowej o  $\pi$ . Przesunięcie przewodności hallowskiej spowodowane przez fazę topologiczną (fazę Berry’ego) zostało w sposób jednoznaczny potwierdzone doświadczalnie [8,9] i wynik ten od tej pory uchodzi za przełomowy w badaniach grafenu.

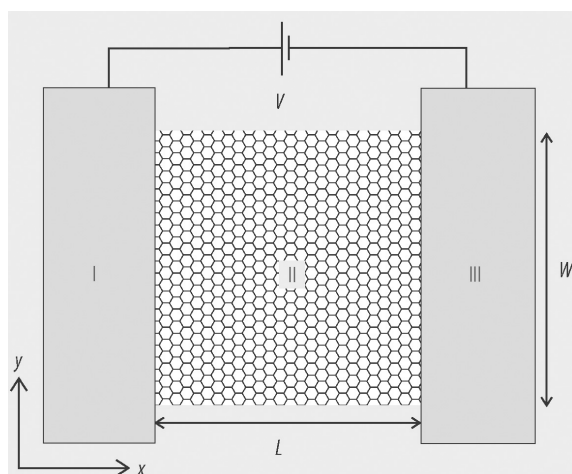
W przypadku grafenu dwuwarstwowego pomiar przewodności hallowskiej wykazuje standardową sekwencję  $\sigma_{xy} = \pm 4(e^2/h)N$  z tą różnicą, że nie występuje plateau dla  $N = 0$  (patrz wstawka na rys. 4). Brak plateau dla  $N = 0$  spowodowany jest przez szczególne właściwości wzbudzeń w grafenie dwuwarstwowym (chodzi tu o chiralne kwazicząstki o niezerowej masie [13]).

## Transport w grafenie

Jedną z najbardziej fascynujących właściwości grafenu jest wysoka jakość struktury krystalicznej, mimo wciąż stosunkowo mało wyrafinowanych metod jego otrzymywania. Koncentrację nośników ładunku  $n$  można bez trudu tak zmieniać za pomocą napięcia bramki, aby możliwe było zarówno przewodnictwo elektronowe jak i dziurowe<sup>1</sup>, przy koncentracji sięgającej w obu przypadkach  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$ . W dobrych preparatach ruchliwość  $\mu$  wynosi ok.  $20\,000 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  i prawie nie zależy od temperatury. Typowe długości średniej drogi swobodnej wy-

noszą kilkaset nanometrów. Większość dotychczasowych eksperymentów przeprowadzono na preparatach grafenu o rozmiarach znacznie przekraczających tę wartość. Prowadzi wtedy reżim albo quasi-balistyczny, albo dyfuzyjny – w obu dominuje rozpraszanie na domieszkach zakłócających transport. Widoczna jest jednak już teraz tendencja do badania mniejszych preparatów grafenu, gdyż w reżimie balistycznym przy odstępnie między elektrodami mniejszym od średniej drogi swobodnej można oczekiwać ciekawej fizyki i interesujących zastosowań.

Najprostszy, a niekiedy także zarazem najbardziej powiązany z doświadczeniem sposób opisu transportu balistycznego w układach mezoskopowych stanowi tzw. teoria Landauera [14]. Transport traktuje się w niej jako zjawisko transmisyjne i rozwiązuje się w gruncie rzeczy zagadnienie rozpraszania przez dowolnie skomplikowaną barierę potencjału. Na rysunku 5 pokazano trzy obszary tego rozpraszania.

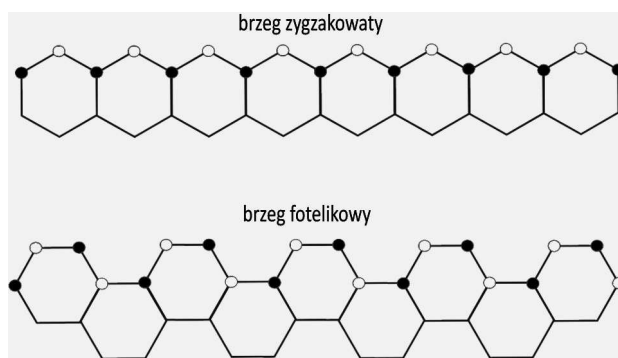


Rys. 5. W celu badania transportu w taśmie grafenu (o szerokości  $W$  i długości  $L$ ) podłącza się ją poprzez dwie elektrody do źródła napięcia  $V$  (według [15]). Transport opisuje się za pomocą formalizmu macierzy rozpraszania. Trzy obszary zagadnienia rozpraszania to lewy zbiornik elektronów (I), obszar grafenu (II) oraz zbiornik prawy (III).

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, jednowarstwowy grafen jest półprzewodnikiem bez przerwy energetycznej. Ma to ciekawe konsekwencje dla transportu elektronów, np. złącze p–n w grafenie wykazuje transmisję zależną od kąta. Gdy elektrony padają na złącze prostopadle, w ogóle nie ma odbicia [16]. Przy takim kącie padania potencjał elektrostatyczny nie stanowi zatem bariery dla elektronów. W fizyce wysokich energii zjawisko to jest zwane paradoksem Kleina i polega na procesie tunelowania stanów cząstkowych (w przypadku grafenu – elektronów) do stanów antycząstkowych (dziur). W grafenie sprowadza się to po prostu do tunelowania międzypasmowego (ze stanów przewodnictwa do walencyjnych lub na odwrót).

Nieco inaczej wygląda sytuacja w układzie przedstawionym na rys. 5. Tutaj ważną rolę odgrywają warunki

brzegowe na górnym i dolnym (w kierunku  $y$ ) skraju obszarów. Bierze się to stąd, że warunki te prowadzą do skwantowania liczby falowej  $k_y$  w kierunku  $y$ . Można je podzielić na dwie duże klasy. Z jednej strony są to warunki brzegowe w skali atomowej; jako ich najbardziej znanych przedstawicieli można tu wymienić brzegi „fotelikowe” (ang. armchair) i „zygzakowate” (ang. zigzag, rys. 6). Jak wskazują eksperymenty, oba te rodzaje brzegów występują w rzeczywistych preparatach grafenowych w sposób uprzywilejowany [3]. W opisie grafenu za pomocą modelu ciasnego wiązania widmo preparatów o brzegach zygzakowatych jest zawsze metaliczne, podczas gdy widmo próbek o brzegach fotelikowych może być albo metaliczne, albo półprzewodnikowe, zależnie od tego, ile komórek elementarnych sieci rzeczywistej mieści się w szerokości paska grafenu. Z drugiej strony trzeba uwzględnić warunki brzegowe w makroskali, w której brzegi preparatu są płaskie. Jest to np. warunek wprowadzany w równaniu (iii) z ramki „Model ciasnego wiązania” za pomocą członu  $M(x, y)\sigma_z$  zależnego od położenia (ang. infinite-mass boundary condition, warunek brzegowy nieskończonej masy), który gwarantuje, że prąd nie płynie przez brzegi preparatu. Warunek ten w grafenie jest spełniany – o ile jest to możliwe – dzięki odpowiedniemu przycięciu brzegów (procedura taka nazywa się w języku angielskim edging, czyli „krawędziowanie”).



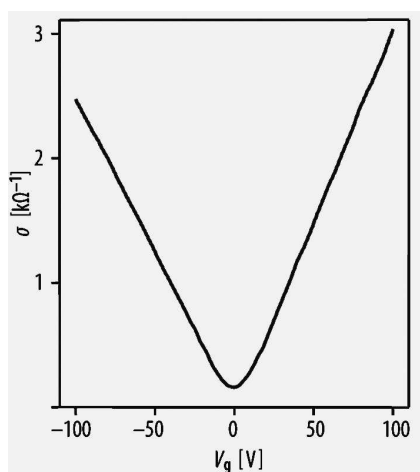
Rys. 6. W skali atomowej istnieją dwie uprzywilejowane struktury brzegowe – brzeg zygzakowaty i brzeg fotelikowy. Wpływają one w zupełnie różny sposób na właściwości elektronowe pasków grafenu. Związane jest to przede wszystkim z tym, że brzegi zygzakowate są utworzone z atomów tylko jednego rodzaju, a w brzegach fotelikowych występują atomy obu podsiatek.

Warunki brzegowe mogą drastycznie wpłynąć na transport w pasku grafenu. W zależności od nich widmo może wykazywać przerwę energetyczną lub nie. W przypadku szerokiego paska i niewielkiego odstępnie elektrod ( $W/L \gg 1$ ) różne warunki brzegowe przestają już jednak odgrywać jakąkolwiek rolę i dla wielkości transportowych, np. natężenia prądu i szumu prądowego, otrzymujemy wynik uniwersalny. Okazuje się przy tym, że wszystkie te wielkości w przypadku grafenu balistycznego wykazują ściśle pokrewieństwo z odpowiednimi wielkościami w do-



mieszkowanych metalach i półprzewodnikach, które można opisać za pomocą równania Schrödingera [15]. Przyczyna fizyczna tej odpowiedniości nie jest jeszcze jasna.

Pomiary transportu w grafenie pokazują, że przewodność elektryczna  $\sigma$  ma w punkcie Diraca zawsze wartość bliską  $4e^2/h$  (rys. 7). Niemal wszystkie teorie przewidują jednakże przewodność równą  $(4/\pi)e^2/h$ , tj. około trzykrotnie większą. Rozbieżność ta, będąca jedną z wielkich otwartych kwestii, jest przypuszczalnie związana z rozpraszaniem na domieszkach. Według przewidywań teorii różne rodzaje domieszek zupełnie odmiennie wpływają na transport. Zmierzoną zależność (liniową) przewodności od koncentracji nośników ładunku można właściwie zrozumieć tylko wówczas, jeśli założyć, że dominującymi centrami rozpraszania są w grafenie albo domieszki naładowane, albo wprowadzające bardzo silne zaburzenie (tzw. granica unitarna) [17].



Rys. 7. Typowy przykład wyniku pomiaru zależności przewodności elektrycznej  $\sigma$  od napięcia bramki  $V_g$  (w temperaturze 10 K, według [8]). W punkcie neutralizacji ładunków elektrycznych przewodność osiąga minimum, przyjmując wartość bliską  $4e^2/h$ . Przewodność zależy liniowo od napięcia bramki, gdy oddalamy się od punktu neutralizacji.

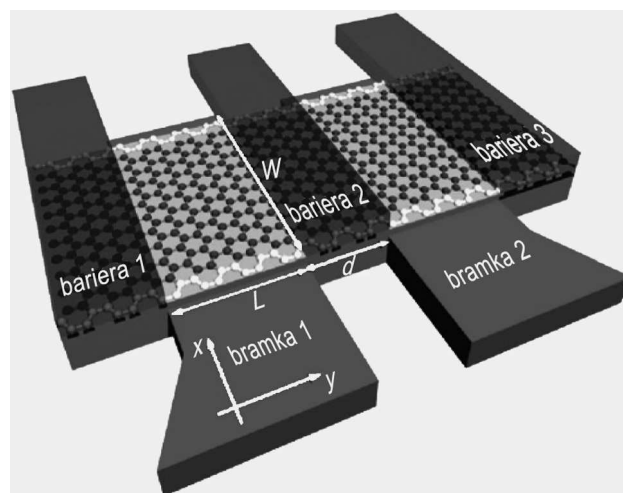
## Spintronika i bity kwantowe

Wiele ciekawych perspektyw zastosowań pozwala uważać grafen za materiał o wielkiej przyszłości. Od strony doświadczalnej udało się niedawno wyizolowane paski grafenu umocować na podpórkach i zbadać w transmisyjnym mikroskopie elektronowym (TEM) [18]. Układ taki można sobie wyobrazić jako trampolinę z jednej warstwy atomowej. Można w nim po pierwsze dokładniej badać cechy własne grafenu, gdyż nie występują efekty związane z podłożem, a po drugie otwierają się tu interesujące możliwości dla nanomechaniki [19].

Jak wspomniano na początku, elektrony w grafenie mają nie tylko jedną spinową liczbę kwantową, lecz także liczbę związaną z doliną i określoną przez topologię sieci. Liczba ta może się okazać bardzo odporna na zewnętrzne zakłócenia, ponieważ aby wywołać przejście

elektronu z jednej doliny do innej, trzeba mu przekazać bardzo duży pęd. Dzięki temu interesująca może być idea wykorzystania dolinowego stopnia swobody do zastosowań, podobnie jak stopnia spinowego w dziedzinie spintroniki. Pierwszym krokiem w tym kierunku jest propozycja konstrukcji filtra dolinowego opartego na bardzo wąskim pasku grafenu o brzegach zygzakowatych [20].

Grafen jest wielce obiecującym materiałem z punktu widzenia zastosowań, w których rolę odgrywa spinowy stopień swobody elektronów, ze względu na przewidywane bardzo długie czasy relaksacji spinu i zachowania przezeń spójności. Mechanizmy, które prowadzą do relaksacji i utraty spójności, to sprzężenie spinowo-orbitalne w połączeniu ze sprzężeniem elektron–fonon oraz oddziaływanie nadształtne spinu elektronów ze spinem jądrowym sieci atomów węgla. Wiadomo, że sprzężenie spinowo-orbitalne jest w grafenie słabe, gdyż węgiel jest pierwiastkiem dość lekkim. Ponadto grafen składa się w 99% z atomów  $^{12}\text{C}$ , które nie mają spinu jądrowego. Czyni to grafen bez wątpienia interesującym, jeśli nie wręcz idealnym materiałem na kubity spinowe w kropkach kwantowych [21]. Dolinowy stopień swobody przeszkadza przy tym tylko dlatego, że uniemożliwia wykorzystanie oddziaływania wymiennego do budowy bramki dwukubitowej. Ważne jest zatem znalezienie układu, w którym degeneracja dolinowa byłaby zniesiona. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu paska grafenu o brzegach fotelikowych (rys. 8) [22]. Z punktu widzenia kubitów spinowych grafen nie tylko jest interesujący z powodu swych właściwości materiałowych, lecz także otwiera zupełnie nowe aspekty sprzężenia dwóch kubitów na dużych odległościach [22]. Tę szczególną właściwość można wykorzystać do skuteczniejszej korekty błędów w komputerach kwantowych.



Rys. 8. Podwójna kropka kwantowa w grafenie zawierająca po jednym elektronie mogłaby pełnić funkcję idealnej bramki dwukubitowej dla kubitów spinowych (według [21]). Brzegi fotelikowe (zaznaczone na biało) zapewniają przerwę energetyczną w widmie i znoszą degenerację dolinową. Trzy bariery określają rozmiary obu kropek kwantowych. Bramki pozwalają niezależnie zmieniać poziomy energetyczne kropek.

Aktualny rozwój badań grafenu jest nader dynamiczny i pasjonujący. Dzieje się tak dlatego, że grafen pod każdym względem zachowuje się inaczej niż należałoby oczekiwać na podstawie długoletniego doświadczenia z takimi materiałami półprzewodnikowymi, jak krzem czy arsenek galu. Właśnie to czyni grafen tak wyjątkowym – w nim świat odkrywamy na nowo.

Pragnę podziękować licznym kolegom, z którymi miałem możliwość wspólnych badań nad grafenem. Są to w szczególności Carlo Beenakker, Yaroslav Blanter, Denis Bulaev, Guido Burkard, Daniel Loss, Alberto Morpurgo, Patrik Recher, Adam Rycerz, Misha Titov i Jakub Tworzydło.

Tłumaczył z języka niemieckiego  
Jerzy Gronkowski

Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Uniwersytet Warszawski

## Literatura

- [1] P.R. Wallace, *Phys. Rev.* **71**, 632 (1947).
- [2] K.S. Novoselov i in., *Science* **306**, 666 (2004).
- [3] A.K. Geim, K.S. Novoselov, *Nature Mat.* **6**, 183 (2007).
- [4] C. Berger i in., *J. Phys. Chem. B* **108**, 19912 (2004).
- [5] A. Bostwick i in., *Nature Phys.* **3**, 36 (2007).
- [6] R. Saito, M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, *Physical Properties of Carbon Nanotubes* (Imperial College Press, London 1998).
- [7] M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, A. Jorio, *Group Theory. Application to the Physics of Condensed Matter* (Springer, Berlin 2007).
- [8] K.S. Novoselov i in., *Nature* **438**, 197 (2005).
- [9] Y. Zhang, J.W. Tan, H.L. Stormer, P. Kim, *Nature* **438**, 197 (2005).
- [10] *The Quantum Hall Effect*, red. R.E. Prange, S.M. Girvin (Springer, New York 1990).
- [11] V.P. Gusynin, S.G. Sharapov, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 146801 (2005).
- [12] N.M.R. Peres, F. Guinea, A.H. Castro Neto, *Phys. Rev. B* **73**, 125411 (2006).
- [13] K.S. Novoselov i in., *Nature Phys.* **2**, 177 (2006).
- [14] S. Datta, *Electronic Transport in Mesoscopic Systems* (Cambridge University Press, Cambridge 1995).
- [15] J. Tworzydło, B. Trauzettel, M. Titov, A. Rycerz, C.W.J. Beenakker, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 246802 (2006).
- [16] V.V. Cheianov, V.I. Fal'ko, *Phys. Rev. B* **74**, 041403 (2006).
- [17] I.L. Aleiner, K.B. Efetov, *Phys. Rev. Lett.* **97**, 236801 (2006); P.M. Ostrovsky, I.V. Gornyi, A.D. Mirlin, *Phys. Rev. B* **74**, 235443 (2006); K. Nomura, A.H. MacDonald, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 076602 (2007).
- [18] J.C. Meyer i in., *Nature* **446**, 60 (2007).
- [19] J. Scott Bunch i in., *Science* **315**, 490 (2007).
- [20] A. Rycerz, J. Tworzydło, C.W.J. Beenakker, *Nature Phys.* **3**, 172 (2007).
- [21] D. Loss, D.P. DiVincenzo, *Phys. Rev. A* **57**, 120 (1998).
- [22] B. Trauzettel i in., *Nature Phys.* **3**, 192 (2007).



BJÖRN TRAUZETTEL studiował fizykę we Fryburgu i Seattle. Doktoryzował się w 2003 r. na Uniwersytecie we Fryburgu, po czym przeniósł się do Laboratoire de Physique des Solides w podparyskim Orsay. Następnie odbył kolejne staże naukowe na uniwersytetach w Lejdzie i Delft oraz na Uniwersytecie w Bazylei. W październiku 2007 r. objął profesurę na Uniwersytecie w Würzburgu jako kierownik tematu „Teoretyczna fizyka mezoskopowa”. W wolnych chwilach odpręża się na wycieczkach z rodziną, a nadmiar energii rozładowuje na macie, ćwicząc džudo.



## Komisje i sekcje PTF 2006–09

(dokończenie ze strony 249)

- ▶ Główna Komisja Rewizyjna  
przew. Andrzej Zięba (zieba@novell.ftj.agh.edu.pl);
- ▶ Sekcja Nauczycielska  
przew. Zofia Gołąb-Meyer (meyer@thrisc.if.uj.edu.pl);
- ▶ Sekcja Optyki  
przew. Ewa Weinert-Rączka (ewa.raczka@ps.pl);
- ▶ Sekcja Młodych  
przew. Alicja Joniec (ajoniec@us.edu.pl);
- ▶ Sekcja „Fizyka w ekonomii i naukach społecznych” (FENS)  
przew. Janusz Hołyst (jholyst@if.pw.edu.pl).

# Eksploratoria fizyczne w Polsce

Stanisław Bednarek

*Instytut Fizyki, Uniwersytet Łódzki*

---

## Physical exploratories in Poland

*Abstract:* The organization and activity of physical exploratories in several Polish cities are presented.

---

### Wstęp

Przez eksploratorium rozumie się wystawę złożoną ze zbioru stanowisk, na których zgromadzone są przyrządy odpowiednio przystosowane do samodzielnego przeprowadzania przez zwiedzających doświadczeń o charakterze popularnonaukowym. Używa się również bliskoznacznych nazw: eksperymentarium, wystawa interaktywna, muzeum (centrum) nauki. („Eksploratorium” jest nazwą własną i oznacza pierwszą placówkę tego typu powstałą w San Francisco – patrz niżej). Termin „wystawa interaktywna” odnosi się raczej do ekspozycji krótkookresowej, trwającej zwykle kilka miesięcy. Eksploratorium, eksperymentarium lub muzeum (centrum) nauki to przeważnie ekspozycja stała, w której pewne doświadczenia mogą być co jakiś czas wymieniane. Eksploratoria poświęcone samej fizyce spotyka się raczej rzadko. Tematyka doświadczeń dotyczy zwykle także innych nauk przyrodniczych i techniki. Eksperymenty z zakresu fizyki są jednak na ogół w eksploratoriach licznie reprezentowane.

Pierwszą wystawę interaktywną, zapoznającą zwiedzających ze znanymi wówczas podstawami nauk przyrodniczych, urządzono w Berlinie pod koniec XIX w. Pierwsze eksploratorium zorganizował Frank Oppenheimer, młodszy brat Roberta Oppenheimera, dyrektora słynnego Manhattan Project mającego na celu skonstruowanie bomby atomowej. Eksploratorium to powstało w 1969 r. w San Francisco. Początkowo znajdowały się w nim przyrządy pozwalające na wykonywanie prostych doświadczeń z fizyki i chemii. W następnych latach eksploratorium rozbudowano, co pozwoliło na wykonywanie doświadczeń również z zakresu innych nauk przyrodniczych.

Obecnie na świecie istnieje kilkadziesiąt eksploratoriów i muzeów nauki [1]. Można je odwiedzić, nie odbywając dalekich podróży, ponieważ mają one swoje strony internetowe. Eksploratoria działają również w kilku miastach Polski. Placówki te są jeszcze mało znane wśród szerokich kręgów fizyków, dlatego warto poświęcić im nieco uwagi. Przedstawione zostaną tu w kolejności alfabetycznej miast, w których się znajdują.

### Bydgoszcz

Eksploratorium w Bydgoszczy powstało w lutym 2003 r. Mieści się na Wyspie Młyńskiej, w budynku należącym obecnie do Muzeum Okręgowego w Bydgoszczy. W eksploratorium znajduje się kilkadziesiąt stanowisk zaopatrzonych w przyrządy pozwalające na przeprowadzanie doświadczeń z różnych działów fizyki klasycznej. Mogą być one wykonywane samodzielnie przez osoby zwiedzające po zapoznaniu się z instrukcjami umieszczonymi przy stanowiskach. Jeśli ktoś potrzebuje dodatkowych wyjaśnień, to służą nimi pełniący dyżury studenci bydgoskich uczelni – Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego i Collegium Medicum UMK.

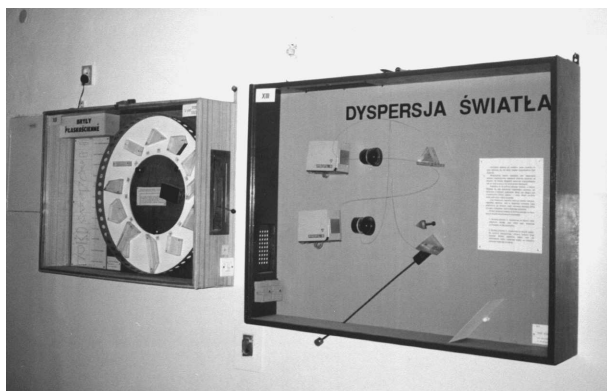
Eksploratorium jest licznie odwiedzane nie tylko przez młodzież szkolną, ale również przez dorosłych. Każdego roku gości tu ok. 5 tysięcy osób, czyli ponad 1% mieszkańców Bydgoszczy, mimo że – z powodu braku ogrzewania budynku – eksploratorium jest nieczynne w miesiącach zimowych. Wstęp jest płatny, lecz eksploratorium działa na zasadzie niekomercyjnej i cały dochód uzyskany ze sprzedaży biletów przeznaczony jest na utrzymanie i dalszy rozwój ekspozycji.

### Lublin

W gmachu Instytutu Fizyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej mieści się najstarsze w Polsce eksploratorium fizyczne. Zajmuje korytarz I piętra wspomnianego gmachu i składa się z kilkadziesiątu zawieszonych na ścianach gablot, zawierających zestawy przyrządów fizycznych. Gabloty te zostały wykonane, w większości w latach siedemdziesiątych, jako prace magisterskie studentów fizyki.

Wszystkie zestawy przyrządów mogą być uruchamiane i sterowane za pomocą przycisków i pokręteł znajdujących się na zewnątrz gablot. Jest to więc eksploratorium bezobsługowe, w którym wszystkie doświadczenia mogą być samodzielnie wykonane przez odwiedzających. Tematyka tych doświadczeń pokrywa cały kurs fizyki klasycznej z wybranymi elementami fizyki współczesnej. Oto ich przykładowe tematy: zasada zachowania mo-

mentu pędu, prawo Bernoulliego, siła elektrodynamiczna, dyspersja światła (fot. 1), fotografy.



Fot. 1. Gablota z przyrządami do badania dyspersji światła (IF UMCS, fot. autor)

Z eksploratorium można korzystać bezpłatnie zarówno indywidualnie jak i w grupach. Mimo że zestawy przyrządów nie są najnowsze, działają sprawnie, spełniając wszystkie wyznaczone im funkcje. Uzupełnieniem eksploratorium jest niewielka wystawa zabytkowej aparatury naukowej, obejmująca m.in. aparaturę próżniową, mierniki napięć i prądów, liczniki promieniowania oraz technikę obliczeniową.

## Łódź

W 2001 r. w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego zorganizowano eksploratorium o nazwie Środowiskowe Interaktywne Laboratorium Fizyczne. Jego urządzenie stało się możliwe dzięki dofinansowaniu przyznawanemu przez Wydział Edukacji i Sportu Urzędu Miasta Łodzi. Eksploratorium zlokalizowano w wydzielonej części jednego z mało używanych korytarzy budynku Instytutu. Umieszczono tam ponad 60 stanowisk umożliwiających przeprowadzanie doświadczeń ze wszystkich działów fizyki klasycznej [2]. Sporo uwagi poświęcono optyce i psychofizjologii widzenia, umożliwiając obejrzenie hologramów, anaglifów i stereogramów.

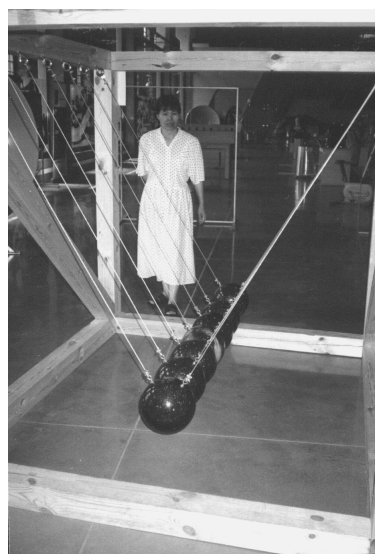
Do przeprowadzania doświadczeń w zdecydowanej większości zastosowano odpowiednio dobrane zabawki fizyczne spotykane w handlu, np. jo-jo pozwalające badać ruch bryły sztywnej, kulę plazmową czy magiczną skarbonkę – pudełko z pochylonym zwierciadłem, za które wpadają wrzucane monety. Na kilku stanowiskach umieszczono przyrządy wykonane własnym sumptem z przedmiotów i materiałów codziennego użytku, m.in. kapsułkę schodzącą po równi pochyłej, nurka Kartezjusza oraz rurę do wytwarzania wirów w cieczy.

Przy każdym stanowisku na specjalnej tabliczce zamieszczono krótki opis zapoznający z podstawami fizycznymi obserwowanych zjawisk i ich wykorzystaniem. Eksploratorium urządzone w ten sposób, żeby ograniczyć do minimum czynności związane z przygotowaniem stano-

wisk do doświadczeń oraz zapewnić samodzielne i bezpieczne eksperymentowanie. Osiągnięto to m.in. przez połączenie zabawek z tabliczkami elastyczną żyłką i zastosowanie nietłukących się butelek z plastiku. Z eksploratorium przez 4 lata korzystały bezpłatnie zorganizowane grupy uczniów pod opieką nauczycieli, przybywające z Łodzi i okolicznych miejscowości. Obecnie eksploratorium jest czasowo nieczynne z powodu remontu pomieszczenia.

Od czerwca 2007 r. w największym centrum handlowo-rozrywkowym regionu łódzkiego, mieszczącym się w budynkach dawnej fabryki włókienniczej Izraela Poznańskiego, tzw. Manufakturze, funkcjonuje Eksperymentarium. Jest to wydzielona sala z ponad 30 stanowiskami, na których można przeprowadzać doświadczenia, głównie z fizyki i innych nauk przyrodniczych oraz technicznych.

W Eksperymentarium są doświadczenia reprezentujące wszystkie działy fizyki klasycznej. Można m.in. badać siły działające na ciało umieszczone na równi pochyłej oraz zależność między siłami w innych maszynach prostych, a także siłę odśrodkową i siłę Coriolisa. Możliwe jest również wykonanie atrakcyjnych doświadczeń sprawdzających zasady zachowania pędu, momentu pędu i energii. Jednym z przyrządów przeznaczonych do tego celu jest ogromna kołyska Newtona (fot. 2).



Fot. 2. Ogromna kołyska Newtona pozwala na sprawdzanie zasady zachowania pędu (Łódź, Eksperymentarium, fot. autor)

Niektóre doświadczenia są bardzo spektakularne. Na przykład, doświadczenie polegające na wytwarzaniu baniek mydlanych wykonuje się w ten sposób, że eksperymentator staje wewnątrz pierścienia o średnicy ok. 70 cm utworzonego z ryny zawierającej roztwór o specjalnie dobranym składzie. W roztworze tym zanurza pierścień i trzymając go poziomo, podnosi na wysokość wyciągniętej ręki. Tworzy się wówczas błona w kształcie cylindra o wklęsłej powierzchni obejmującej eksperymentatora. Podobnie, imponujący efekt daje doświadczenie wyjaśniające

zasadę powstawania obrazów w kalejdoskopie. Tu również zwiedzający wchodzi do wnętrza przyrządu, który stanowi trzy duże zwierciadła płaskie ustawione względem siebie pod kątem  $60^\circ$ . Dzięki temu może w nich obserwować zwielokrotnione obrazy swojej głowy.

Warto także zwrócić uwagę na doświadczenia z akustyki. Jedno z nich, „Anteny szpiegowskie”, polega na tym, że dwie paraboliczne anteny telewizyjnej satelitarnej o średnicy ok. 2 m zwrócone są ku sobie i ustawione w przeciwnych końcach sali. Po umieszczeniu ucha w ognisku jednej z anten słyszy się słowa wypowiedziane szeptem w pobliżu ogniska drugiej anteny. Drugie doświadczenie z akustyki nosi nazwę „Dźwięk w splątanej rurze”. W doświadczeniu tym należy wypowiedzieć słowo lub wydać dźwięk w pobliżu końca splątanej, karbowanej rury wykonanej z plastiku. Dźwięk ten bez trudu rozchodzi się wewnątrz rury i staje się łatwo słyszalny w drugim jej końcu.

Oprócz doświadczeń w Eksperymentarium można obejrzeć plansze przedstawiające złudzenia optyczne, np. figury niemożliwe, pozorne zmiany kształtów i odległości oraz, za dodatkową opłatą, doznać przeciążeń i stanu nieważkości na wirówce przeznaczonej do szkolenia pilotów. Eksperymentarium cieszy się dużą frekwencją zwiedzających. Dowodem na to jest fakt, że w pierwszym tygodniu po otwarciu odwiedziło je ponad dwa tysiące osób.

## Szczecin

Od listopada 2002 roku w Muzeum Narodowym w Szczecinie działa wystawa interaktywna Eureka. Koncepcja jej rozwoju i przekształcenia w eksploratorium została opracowana i jest rozwijana przez fizyków z Uniwersytetu Szczecińskiego. Obecnie dostępnych jest ponad 50 stanowisk doświadczalnych, zajmujących dwie duże sale Muzeum. Znaczna część wykorzystywanych tam przyrządów stanowi darowiznę od podobnego ośrodka niemieckiego znajdującego się w Peenemünde. Pozostałe przyrządy zostały wykonane przez pracowników Instytutu Fizyki US. Eksploratorium ma charakter rozwojowy i stale jest wzbogacane o nowe stanowiska. W przyszłości planuje się otwarcie w Szczecinie centrum nauki, którego częścią byłoby eksploratorium fizyczne.

Osoby odwiedzające mogą samodzielnie przeprowadzać wszystkie doświadczenia. Dodatkowych informacji i wskazówek może udzielić pracownik eksploratorium, najczęściej student fizyki. Na poszczególnych stanowiskach umieszczone są krótkie, kilkudziesięcioparafiszowe opisy złożone z dwóch części. Pierwsza część zawiera polecenia dla użytkownika, żeby wykonał określone czynności i uzyskał pożądaną efekt. W drugiej części, również krótko, opisane są podstawy fizyczne zachodzącego zjawiska. Wszystkie opisy zostały zebrane i wydrukowane w formie broszury, którą rozesłano do szczecińskich szkół.

Tematyka doświadczeń dostępnych w szczecińskiej placówce obejmuje wszystkie działy fizyki oraz elementy astronomii. Do najciekawszych doświadczeń z mechaniki należą: koło Maxwella (krążek o dużym momencie bezwładności zawieszony na dwóch niciach, który porusza

się w dół i w górę podczas nawijania i odwijania nici, zamieniając swoją energię potencjalną w kinetyczną i odwrotnie) wykonane z koła rowerowego, rezonans w układzie wahadeł o różnej długości oraz utrzymywanie dużej piłki w strumieniu powietrza wydobywającego się z dmuchawy. Z akustyki warto wymienić doświadczenie, w którym można usłyszeć szept ze znacznej odległości, ponieważ fala dźwiękowa ogniskowana jest przez dużą czaszę. Wśród doświadczeń z elektryczności największym powodzeniem cieszy się niewątpliwie kula plazmowa, pozwalająca obserwować wyładowania w rozrzedzonej gazie spowodowane wysokim napięciem w.c.z. Do najbardziej atrakcyjnych doświadczeń z optyki należy niekończący się tunel, uzyskany przez wielokrotne odbicie pierścienia świecących żaróweczek w dwóch równoległych zwierciadłach płaskich.

## Warszawa

Interesująca fizyczna wystawa interaktywna znajduje się w Muzeum Techniki mieszczącym się w Pałacu Kultury i Nauki. Nosi ona nazwę „Ciekawa fizyka” i jest jedną z kilkunastu wystaw stałych prezentowanych w tym muzeum. Warto tu wspomnieć, że Muzeum Techniki jest bezpośrednim kontynuatorem tradycji założonego w 1875 r. Muzeum Przemysłu i Rolnictwa, po którym niestety nie zachowały się żadne eksponaty, ponieważ uległy one całkowitemu zniszczeniu podczas II wojny światowej.

W skład ekspozycji „Ciekawa fizyka” wchodzi cztery działy tematyczne: Ruch w polu grawitacyjnym, Przemiany energii, Transport energii i informacji oraz Promieniowanie korpuskularne. Każdy z wymienionych działów składa się z kilku doświadczeń. W dziale „Ruch w polu grawitacyjnym” wykonać można trzy eksperymenty – spadek w rurze Galileusza (piórko i blaszka ołowiana spadają z różnymi prędkościami w rurze z powietrzem i z taką samą prędkością po wypompowaniu z niej powietrza), spadek swobodny oraz rzut poziomy.

Dział „Przemiany energii” obejmuje cztery doświadczenia – koło Maxwella, fotoogniwo, „bateria ręczna” (ogniwo galwaniczne utworzone z dwóch płytek z blachy miedzianej i cynkowej połączonych z miliamperomierzem, który wskazuje przepływ prądu po położeniu dłoni na płytkach), indukcja elektromagnetyczna.

Wybierając dział „Transport energii i informacji”, można badać rozchodzenie się i właściwości fal mechanicznych podłużnych i poprzecznych oraz fal świetlnych. Dla światła możliwe jest poznanie w atrakcyjny sposób prawa odbicia (za pomocą kalejdoskopu), prawa załamania (przy użyciu stolika optycznego) oraz obejrzenie jego widma przy wykorzystaniu spektroskopu.

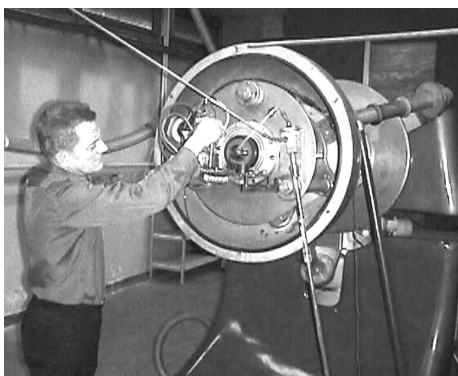
W dziale „Promieniowanie korpuskularne” bada się ruch elektronów, przeprowadzając doświadczenia z rurkami katodowymi, i wykrywa promieniowanie jonizujące, korzystając z licznika Geigera-Müllera. Wszystkie zestawy przyrządów przygotowane są bardzo starannie. Doświadczenia wykonuje pracownik muzeum z ewentualną pomocą opiekuna grupy. Zwiedzenie wystawy jest odpłatne (trzeba wykupić bilet wstępu do Muzeum Techniki).

Oprócz opisanej wystawy stałej w Warszawie odwiedzić można również interaktywną wystawę czasową, organizowaną w ramach Festiwalu Nauki w budynku Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego przy ulicy Hożej. Wystawa ta czynna jest tylko przez około 10 dni – we wrześniu, podczas Festiwalu Nauki. Prezentuje kilkadziesiąt dostępnych w sprzedaży zabawek fizycznych i kilka zestawów wykonanych przez pracowników WF UW. Zabawki i przyrządy zgrupowane są w kolejnych pomieszczeniach tematycznie według klasycznego układu działów fizyki występującego w programach nauczania – mechanika, ciepło, elektryczność i magnetyzm oraz optyka. Całe przedsięwzięcie nosi nazwę „Fizyka i zabawki” (fot. 3).



Fot. 3. Odwrócona krzywa łańcuchowa – tak kiedyś budowano samonośne sklepienia (wystawa „Fizyka i zabawki”, fot. Mirosław Wróblewski)

Wstęp na wystawę jest bezpłatny. Liczniejsze i zorganizowane grupy szkolne powinny wcześniej zarezerwować termin. Osoby przybywające indywidualnie wpuszczane są w miarę wolnych miejsc. Większość doświadczeń przy użyciu zabawek zwiedzający mogą wykonać samodzielnie. Dodatkowymi objaśnieniami i pomocą służą studenci WF UW.



Dr hab. STANISŁAW BEDNAREK jest profesorem nadzwyczajnym Uniwersytetu Łódzkiego. Główne kierunki jego prac badawczych to metody wytwarzania silnych i ultrasilnych pól magnetycznych oraz właściwości materiałów z rozproszoną fazą ferromagnetyczną – elastycznych kompozytów i przewodzących zawiesin magnetoreologicznych. Zajmuje się również problemami dydaktyki fizyki, szczególnie środkami dydaktycznymi i edukacyjnym eksperymentem fizycznym, oraz popularyzacją fizyki.

Już za 2 lata w Warszawie na Powiślu ma powstać nowoczesne eksploratorium i ośrodek promocji nauki – Centrum Nauki Kopernik. Zlokalizowane będzie na lewym brzegu Wisły w pobliżu Mostu Świętokrzyskiego. Całkowity koszt przedsięwzięcia szacowany jest na ponad 200 mln zł i pokryty zostanie ze środków rządowych oraz samorządowych. Wystawa stała powstaje przy współpracy z czołowymi firmami europejskimi specjalizującymi się w wyposażaniu najciekawszych centrów nauki oraz muzeów na świecie. (Dalsze informacje o planach i wykonanych już pracach zawarte są w tekście Anety Prymaki na następnych stronach tego zeszytu *PF* – red.).

Warto również poinformować, że w stolicy czynna jest interaktywna wystawa „Zabawy z Einsteinem – fizyka na wesoło”. Wystawa ta została sprowadzona z Włoch i można ją obejrzeć w Pałacu Kultury i Nauki do połowy września 2008 r.

### Przyszłość eksploratoriów

Na zakończenie można się pokusić o pewną prognozę. Wynika ona z faktu, że wszystkie zorganizowane dotąd w naszym kraju eksploratoria cieszyły się wysoką frekwencją odwiedzających i nie przynosiły strat. Można więc mieć nadzieję, iż w kolejnych polskich miastach zostaną uruchomione eksploratoria łączące w sobie wysoki potencjał edukacyjny i cele komercyjne. Wizyta w tych eksploratoriach może przyczynić się również do tego, że aktywni i twórczy nauczyciele zapragną zorganizować wraz z grupami uczniów bardziej kameralne i niekoniernie komercyjne eksploratoria w swoich szkołach [3]. Dzięki temu eksploratorium fizyczne przestanie być w Polsce rzadkością.

### Literatura

- [1] „Fizyka w internecie”, *Foton*, nr 92 (wiosna 2006), s. 70.
- [2] S. Bednarek, „Poprzez zabawki do wiedzy: Oryginalna popularyzacja fizyki”, *Kronika – Pismo Uniwersytetu Łódzkiego*, rocz. XI (2001), nr 4 (69), s. 26.
- [3] R. Gardner, *Make an Interactive Science Museum* (McGraw-Hill, New York 1995).

# Centrum Nauki Kopernik w Warszawie

*Po tej lekcji fizyki uczniowie nagrali hip-hopową piosenkę: „Idziemy do klasy na dwa-trzy pokazy, podczas których nie ziewnąłem ani razu. Widzieliśmy tam generator Van de Graaffa, kumuluje on ładunki, co wy na to?”. Śpiewają o zamrażaniu róży w ciekłym azocie i rozbijaniu jej, jakby była ze szkła, czy o wyścigu kulek na różnych torach – do ich szkoły przyjechała wystawa objazdowa „Eksperymentuj!” Centrum Nauki Kopernik, doświadczeń więc nie brakuje. Uczniowie, dla których fizyka często jest trudnym przedmiotem, tym razem – jak sami śpiewają – są wściekli, gdy lekcję przerywa dzwonek.*

Powstające w Warszawie Centrum Nauki Kopernik, które przygotowało opiewaną przez młodzież z VII LO w Poznaniu wystawę „Eksperymentuj!”, będzie największą i jedną z pierwszych tego typu instytucji w naszym kraju. Odwiedzający przeprowadzają samodzielnie doświadczenia lub obserwacje na specjalnie zaprojektowanych stanowiskach. Nie ma tu gablot z napisem „Nie dotykać eksponatów”, jak w tradycyjnych muzeach. Przeciwnie – nie tylko można wszystkiego dotknąć, ale goście są wręcz zachęceni do samodzielnego przeprowadzania eksperymentów. Dlaczego? Jak mówi stare chińskie przysłowie: „Opowiedz mi, a wkrótce zapomnę. Pokaż mi, może zapamiętam. Pozwól mi dotknąć, a zrozumieć”.

Centra nauki powstają na całym świecie i wszędzie są licznie odwiedzane przez grupy szkolne oraz indywidualnych gości. Od czasu, gdy amerykański fizyk, prof. Frank Oppenheimer, założył w 1969 r. pierwszą tego typu instytucję – Exploratorium w San Francisco – powstało ponad 500 centrów nauki, głównie w Ameryce Północnej, krajach Unii Europejskiej, Australii, a także dynamicznie rozwijających się krajach Azji.

## Jak doszło do powstania Centrum Nauki Kopernik?

Idea stworzenia w Warszawie centrum nauki pojawiła się w środowisku naukowców i popularyzatorów nauki w latach 90. W roku 1996 zorganizowali oni dwie duże imprezy: Festiwal Nauki oraz Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS. Obie przyciągnęły tłumy zainteresowanych, ujawniły też ogromne społeczne zapotrzebowanie, by w Warszawie powstało centrum, w którym przez okrągły rok w zrozumiałym sposób byłyby wyjaśniane zagadnienia związane ze współczesną nauką. Inicjatywę tworzenia takiej instytucji, po raz pierwszy zaprezentowaną w 1997 r. przez twórców Festiwalu i Pikniku, prof. Łukasza Turskiego (obecnie przewodniczącego Rady Programowej) i prof. Magdalenę Fikus (obecnie członka Rady), podjęły władze Warszawy w porozumieniu z rządem RP. W roku 2004 ówczesny prezydent Warszawy, Lech Kaczyński, powołał Zespół ds. Realizacji Projektu Centrum Nauki, kierowany przez Roberta Firmhofera (obecnie dyrektora Centrum). Zespół, współpracując ściśle z Radą Programową, opracował koncepcję ekspozycji stałej oraz przygotował dokumenty dla przyszłej instytucji. W wyniku porozumienia (a następnie umowy) pomiędzy m.st. Warszawą, Ministerstwem Nauki i Informatyzacji oraz Mi-

nisterstwem Edukacji Narodowej i Sportu 4 lipca 2006 r. powołano instytucję kultury Centrum Nauki Kopernik.

## Nowoczesny budynek i Park Odkrywców na Powiślu

Siedziba Centrum powstanie w Warszawie tuż przy lewym brzegu Wisły (patrz II strona okładki). W październiku 2007 r. Stołeczny Zarząd Rozbudowy Miasta, który jest investorem zastępczym, ogłosił przetarg na jej wykonanie. Zgodnie z harmonogramem, pierwszy moduł (z większością wystaw stałych) ma zostać oddany publiczności jesienią 2009 r. Cała inwestycja ma być zakończona na początku 2010 r.

Projekt wyłoniono w międzynarodowym konkursie. Jego zwycięzcy – młodzi architekci z pracowni RAR-2 Laboratorium Architektury z Rudy Śląskiej – przekonali jury doskonałym wpisaniem budynku w otoczenie oraz idealnym dopasowaniem do potrzeb funkcjonalnych instytucji. Niewysoki gmach (12 metrów) o dwóch kondygnacjach naziemnych pomieści na powierzchni 15 tys. m<sup>2</sup> wystawy stałe i czasowe, laboratoria, pracownie, centrum konferencyjne, kawiarnie, restauracje oraz część biurową. W kondygnacji podziemnej znajdzie się parking i warsztat, w którym będą przygotowywane nowe wystawy oraz konserwowane bieżące. Projekt budynku zakłada nowatorskie rozwiązania konstrukcji budynku, elewacji czy systemu wentylacji. Charakterystycznym elementem będzie planetarium usytuowane w bryle przypominającej wyglądem głaz narzutowy.

Na dachu Centrum znajdzie się niezwykle ogród, a wokół – Park Odkrywców z urządzeniami do naukowych zabaw i eksperymentów pod gołym niebem, zewnętrzną galerią sztuki oraz amfiteatrem z oczkiem wodnym. Dzięki temu nad Wisłą powstanie jedno z atrakcyjniejszych miejsc Warszawy, będzie to też ważny element rewitalizacji nadwiślańskiego wybrzeża oraz przywracania rzeki miastu.

## Oryginalne wystawy stałe

Jednocześnie z pracami nad budynkiem powstaje oryginalna, interdyscyplinarna wystawa stała, która się w nim znajdzie. Złoży się na nią ok. 500 urządzeń i interaktywnych stanowisk do przeprowadzania eksperymentów z różnych dziedzin nauki.

Wystawa została podzielona na siedem interdyscyplinarnych działów: „Świat w ruchu”, „Człowiek i środowisko”, „Korzenie cywilizacji”, „Strefa światła”, „Globalna

wioska?”, „Nowe technologie” oraz część przeznaczona dla najmłodszych (3–6 lat). W poszczególnych działach zwiedzający będą mogli m.in. wcielić się w rolę chirurgów i przeprowadzić operację, na innym stanowisku będą poruszać obiektami za pomocą własnych fal mózgowych czy badać właściwości światła, jeszcze gdzie indziej samodzielnie wyprodukują papier czerpany, a przed budynkiem utworzą bańkę mydlaną o średnicy porównywalnej do wysokości 2 pięter.

Koncepcja wystawy jest autorskim projektem Centrum Kopernik. Zaprojektowaniem i wykonaniem poszczególnych działów zajmują się renomowani specjaliści z całej Europy oraz Dział Produkcji i Eksploatacji Centrum. Przetarg na dwa największe działy – „Świat w ruchu” oraz „Człowiek i środowisko” – został rozstrzygnięty w listopadzie 2006 r. Wygrało go konsorcjum holenderskich firm Bruns i NorthernLight; obecnie wytwarzane są już prototypy wielu eksponatów. We wrześniu 2007 r. rozstrzygnięto konkurs na koncepcję wystawy dla najmłodszych. Zwyciężyła praca młodych krakowskich artystów Karoliny Perrin i Łukasza Wesołowskiego „Kształty w przyrodzie”. Przetarg na zaprojektowanie i wytworzenie kolejnego działu – „Korzenie cywilizacji”, miał zakończyć się w grudniu 2007 r. (brała w nim udział niemiecka firma Hüttinger).

W Centrum znajdzie się też jedno z najnowocześniejszych w Europie planetariów multimedialnych z kopułą o średnicy 16 metrów. Podczas projekcji filmów powstaną na niej przestrzenne, ruchome obrazy, dające wrażenie zanurzenia w pokazywanym świecie. Goście planetarium będą np. przedzierać się przez amazońską puszcza, pływać z delfinami czy oglądać narodziny Układu Słonecznego.

### „Eksperymentuj!” i inne działania programowe

Choć budynek oraz wystawy stałe, które się w nim znajdują, dopiero powstają, Kopernik prowadzi działalność programową skierowaną do różnych grup odbiorców. Od blisko półtora roku szkoły i ośrodki kultury w całej Polsce odwiedza wystawa objazdowa „Eksperymentuj!”. Składa się ona z 25 interaktywnych urządzeń obrazujących zjawiska z różnych dziedzin nauki: fizyki, chemii, biologii, matematyki. Zwiedzający sami prowadzą tu doświadczenia, podczas których mogą np. poczuć, jak pracuje ludzkie serce, gdy idący człowiek zaczyna biec, czy zrozumieć, dlaczego statek kosmiczny utrzymuje się na orbicie. Eksponaty i stanowiska zostały tak skonstruowane, by nie trzeba było objaśniać ich działania oraz obserwowanych wyników. Najlepszym wytłumaczeniem jest dla zwiedzającego sam przebieg doświadczenia. Jeśli zaś podczas eksperymentowania zrodzą się dodatkowe pytania, wyjaśnieniami będą służyli animatorzy Centrum Kopernik – studenci i doktoranci różnych dziedzin nauki.

Od września 2006 do września 2007 r. wystawa odwiedziła blisko 50 placówek (patrz II strona okładki); eksperymenty przeprowadzało na niej blisko 2 tys. klas różnych typów szkół (podstawowe, gimnazja, licea). Była wielokrotnie pokazywana także podczas imprez popularyzują-

cych nauk (festiwale nauki, Piknik Naukowy) oraz w ramach Lata w Mieście, gdzie obejrzało ją ponad 150 tys. osób. Reprezentowała także Polskę za granicą: w listopadzie 2006 r. w Barcelonie podczas Katalońskiego Tygodnia Nauki i w lutym 2007 r. podczas festiwalu nauki w Brnie.

Animatorzy Centrum odwiedzają także szkoły i inne ośrodki edukacyjno-kulturalne z tzw. Dniami Pokazów. To widowiskowe doświadczenia i eksperymenty (dotyczące np. elektryczności czy właściwości cieczy), tak prowadzone, by sama ich obserwacja dostarczała zrozumiałego wyjaśnienia zjawiska.

Działaniem skierowanym głównie do rodzin są warsztaty z cyklu „Projekt rodzinny – warsztaty edukacyjne dla dzieci i rodziców”. Dzieci w wieku 5–8 lat oraz ich rodzice lub dziadkowie wspólnie przeprowadzają doświadczenia wyjaśniające zjawiska z życia codziennego, np. skąd w gniazdku bierze się prąd czy jak działa płyta kompaktowa. Warsztaty te rozbudzają w najmłodszych ciekawość świata i chęć samodzielnego poszukiwania odpowiedzi na pojawiające się pytania; dla dorosłych są odpowiedzią, jak stać się dla swoich pociech przewodnikami po świecie wiedzy.

Ważną częścią działalności Centrum jest także integrowanie środowiska związanego z centrami nauki oraz promowanie wykorzystania doświadczeń w zajęciach szkolnych. W październiku 2007 r. przeprowadziło ono pierwsze warsztaty dla nauczycieli oraz osób prowadzących pokazy naukowe „Pokazać–przekazać”, podczas których kilkadziesiąt osób wymieniało się doświadczeniami (najciekawsze pokazy i doświadczenia można zobaczyć na stronie Centrum: [www.kopernik.org.pl](http://www.kopernik.org.pl)). W listopadzie i grudniu 2007 r. wspólnie z Biurem Edukacji Urzędu m.st. Warszawy Centrum Kopernik organizuje też szkolenia dla warszawskich nauczycieli, podczas których dowiadują się oni, jak przeprowadzić fizyczne pokazy w szkole i jak zaangażować uczniów do przygotowania takich pokazów dla młodszych kolegów.

W grudniu 2007 r. odbyła się pierwsza konferencja dla twórców centrów nauki w Polsce. Takich instytucji powstaje w naszym kraju coraz więcej; istnieją już wielkie centra lub interaktywne wystawy naukowe (patrz artykuł Stanisława Bednarka na s. 257 – red.). Wymiana doświadczeń oraz współpraca pozwoli na powstanie dalszych takich instytucji, dzięki czemu więcej osób zyska możliwość przeprowadzania doświadczeń.

Centrum Nauki Kopernik nie tylko będzie kontynuowało tę działalność po zakończeniu budowy w 2010 r., lecz wzbogaci ją wtedy i rozszerzy. Jest też wciąż otwarte na nowe pomysły i działania ze strony różnych środowisk, zwłaszcza naukowców.

Więcej o Centrum – patrz [www.kopernik.org.pl](http://www.kopernik.org.pl); na stronie tej można zaprenumerować bezpłatny biuletyn z aktualnymi informacjami o wydarzeniach ([www.kopernik.org.pl/newsletter.php](http://www.kopernik.org.pl/newsletter.php)).

Aneta Prymaka  
Centrum Nauki Kopernik  
Warszawa



# Dlaczego warto znać się na magii

Jerzy Kuczyński

*Planetarium Śląskie, Chorzów*

---

## Why it is good to know magic

*Abstract:* It is pointed out that arguments typically used in physics education are more suitable in magic than in physics.

---

### Wstęp

Od dłuższego już czasu uważam, że każdy przyrodnik, a więc i fizyk, powinien znać podstawowe cechy charakterystyczne dla magii, czarów i paranauk [1]. Nie poszerzy to jego wiedzy o przyrodzie, można zatem zapytać, po co ma poświęcać na to swój czas. Otóż nadmierne podkreślanie w nauce cech charakterystycznych dla magii (będę używał tego terminu w szerokim sensie obejmującym także paranauki itp.) powoduje zacieranie różnic między nimi, umożliwiając magii podszywanie się pod naukę, a z drugiej strony nadając nauce cechy magiczne. Oba te rodzaje nadużyć występują w dydaktyce i popularyzacji powszechnie, spontanicznie i – jak się wydaje – całkowicie w dobrej wierze, oba też przyczyniają się do powolnego, lecz skutecznego eliminowania nauk przyrodniczych z polskiej szkoły (w przypadku fizyki udało się to już niemal całkowicie!) i zastępowania ich praktykami magicznymi.

Prawie wszyscy popularyzatorzy i nauczyciele podkreślają w swojej działalności różne cechy jako charakterystyczne dla nauki, nie zdając sobie sprawy z tego, że cechy te często lepiej charakteryzują magię. Oczywiście główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest niezajomość tej ostatniej. Stąd moje przekonanie, że w edukacji przyrodniczej student powinien zapoznać się z elementami magii, tak by umiał możliwie precyzyjnie określić granicę między nauką a magią. Sprawa, przynajmniej na elementarnym poziomie, nie jest zbyt trudna, w gruncie rzeczy wystarczy poświęcić jej kilkanaście minut na jednym z wykładów kursowych (jeszcze lepiej byłoby zrobić to już w liceum, np. umieszczając odpowiedni podrozdział w podręczniku). Myślę, że warto to zrobić, bo – jak sądzę – popularność magii wynika w dużej mierze właśnie z niefortunnego podejścia, np. do fizyki, występującego powszechnie w szkole i popularyzacji. Poniżej próbuję przedstawić owe cechy charakterystyczne magii, porównując je ze standardowymi sposobami promowania fizyki oraz z tym, z czym rzeczywiście mamy w niej do czynienia.

### Praktycyzm magii a niepraktyczność nauki

Gdy czytamy opracowania etnograficzne dotyczące magii, zauważamy łatwo, że jej podstawową cechą jest

praktycyzm [2]. Mag, szaman czy wróżka stawiają sobie wyłącznie bezpośrednio użyteczne cele. Nie do pomyślenia jest mag odprawiający zaklęcia czy rytuały nieprzynoszące korzyści praktycznych. Warto to porównać z nauką. Mające nikłe znaczenie praktyczne czy wręcz niemające go wcale teorie i doświadczenia, np. prace z dziedziny kosmologii czy cząstek elementarnych, są często uważane za osiągnięcia o zasadniczym znaczeniu. Podobnie jest w przypadku stwierdzenia nieprawdziwości danej teorii naukowej. Stwierdzenie małej skuteczności zaklęcia jakiegoś typu to w magii uznanie porażki. W nauce weryfikacja negatywna bywa uznawana za poważny sukces. Stwierdzenie nieistnienia ciepłika, świetlika czy eteru to kamienie milowe fizyki, a brak zjawiska przewidywanego przez teorię nie musi przeszkadzać, by była ona ogromnym osiągnięciem. Przykładem takiej sytuacji może być reguła Lenza. Nie szkodzi jej fakt, że przewidywany przez nią diamagnetyzm wszystkich materiałów zawierających poruszające się ładunki na ogół nie występuje, przy powszechnym występowaniu absolutnie przez nią wykluczonego para- i ferromagnetyzmu.

Refleksja nad przyczynami tego faktu, choć oczywistymi dla każdego fizyka, jest bardzo pożyteczna. Otóż w nauce bezpośrednio zastosowanie nie jest istotne. Istotniejsze jest poznanie jakiegoś fragmentu rzeczywistości. Naukowiec zastosowania pozostawia inżynierowi, któremu reguła Lenza służy znakomicie. (Notabene, technika to w dużej mierze współczesny odpowiednik magii. Związki między techniką a nauką są trochę zbliżone do związków między magią a religią).

### Teoria a doświadczenie

Widać więc następną różnicę między nauką a magią. „Zdroworozsądkowa” zgodność teorii z doświadczeniem nie jest w nauce wymagana. Jeżeli w typowych, tj. często występujących przypadkach wnioski z teorii nie zgadzają się z tym, co widzimy, oznacza to niewiele albo wręcz nic. „W oczywisty sposób” pierwsza zasada dynamiki w życiu codziennym nie jest spełniona, a ruch uliczny „jawnie przeczy” zasadzie zachowania pędu (samochody przyspieszają i hamują bez żadnych wyraźnych zmian w otocze-

niu). A więc w typowych sytuacjach z życia codziennego zasady naukowe mogą się na pozór nie sprawdzać, choć sprawdzają się w sytuacjach precyzyjniej określonych, np. przy dokładniejszym oglądzie w laboratorium.

Na czym więc polega siła nauki, skoro sprawdza się ona najlepiej w sytuacjach szczególnych? Nieco upraszczając można powiedzieć, że nauka ma charakter hipotez i – tak jak w przypadku twierdzeń matematycznych – ich sens jest określony przez założenia. W ramach owych założeń hipotezy te mają „dowody”. To ostatnie słowo ująłem w cudzysłów, bo nawet w przypadku fizyki teoretycznej nie są to dowody logiczne, ale mniej lub bardziej precyzyjny zestaw argumentów, zarówno logicznych jak i wynikających z pomiarów oraz obserwacji. W nauce prawdopodobieństwo błędu w określonych założeniach ramach jest niewielkie. Gdy wykraczamy poza założenia, to prawie na pewno przewidywania i rzeczywistość będą się różnić (ciekawe, czy są w Polsce nauczyciele fizyki podkreślający założenia konieczne, by nauczać „prawdy naukowe” były zgodne z rzeczywistością – podręcznika szkolnego niosącego takie treści nie ma u nas na pewno).

W magii sytuacja jest diametralnie inna. Nie ma żadnych założeń. Zaklęcia można użyć zawsze, a gdy nie działa (tj. wynik jest niezgodny z oczekiwaniami), to przyczyna tkwi albo w błędzie, nieraz bardzo subtelnym (np. w niewłaściwej intonacji), albo w działalności konkurencji (inny mag rzucił przeciwne zaklęcie). Magia ma charakter totalny – przenika całość świata, wiąże ze sobą wszystkie jego elementy i – co najważniejsze – bez żadnych przybliżeń dotyczy rzeczywiście istniejących obiektów, podczas gdy nauka, zwłaszcza wysoko rozwinięta, np. fizyka, dotyczy w gruncie rzeczy obiektów fikcyjnych, które tylko z pewnym przybliżeniem opisują obiekty rzeczywiste. Rozważamy więc punkty materialne, bryły sztywne, momenty magnetyczne, ładunki punktowe itp. W magii na odwrót – zawsze mamy do czynienia z konkretem w jego pełnej komplikacji. Nie rzuca się zaklęcia na punkt materialny czy moment magnetyczny. Różnica ta idzie tak daleko, że przedmioty realne, ale bliskie „idealnych” tracą magiczne właściwości. Na przykład, „magiczna moc” kamieni szlachetnych [3] znika, gdy wytworzymy je w sposób bliski doskonałości, czyli po prostu otrzymamy sztucznie w laboratorium!

Magia w oczywisty sposób odwołuje się do doświadczenia i obserwacji – do tej ostatniej z reguły częściej i temu problemowi warto poświęcić chwilę refleksji. Według słownika języka polskiego doświadczenie to „wywoływanie lub odtwarzanie zjawiska w sztucznych warunkach”, a obserwacja to „dokonywanie planowych, systematycznych spostrzeżeń” za pomocą zmysłów i przyrządów. To radykalne rozróżnienie nie jest w rzeczywistości takie ostre. Jeżeli w laboratorium mamy niezupełnie przygotowany obiekt (np. próbka nie jest całkiem „czysta”), a i nie wszystkie zewnętrzne czynniki zostały wyeliminowane, to mimo częściowo sztucznych warunków mamy do czynienia z elementami obserwacji. Jest to sytuacja typowa dla magii. Rzucając zaklęcie czy dokonując obrzędu magicznego, szaman częściowo „przygotowuje rzeczywi-

stość” – czynność magiczna dokonuje zmian w „duchowej części świata”, co ma pociągnąć za sobą skutki w „normalnej” części rzeczywistości. I podobnie jak w przypadku takiego niezbyt „czystego” eksperymentu albo to się udaje, albo nie.

## O trudnościach dowodzenia

W tym miejscu warto przypomnieć pewną elementarną własność logiczną – w zaprzeczeniu małego kwantyfikatora występuje duży. W praktyce oznacza to brak możliwości przedstawienia dowodu faktu negatywnego. Demonstruje się to zwykle na przykładzie krasnoludków. Otóż jest dość łatwo udowodnić ich istnienie – wystarczy choćby jednego krasnoludka znaleźć i pokazać. Natomiast udowodnienie, że krasnoludków nie ma, jest skrajnie trudne, w tym celu trzeba bowiem przeszukać, ze skutkiem negatywnym, cały Wszechświat, i to na dodatek w jednej chwili. Praktyczny wniosek jest oczywisty – obowiązek przedstawienia dowodu spoczywa na zwolennikach poglądu pozytywnego. Fakt negatywny ma więc dużo większą „moc dowodową” od faktu pozytywnego [4] – w szczególności jeden negatywny wynik doświadczenia może wykazać błędność teorii. Jednak wspomniane już własności przyrody (przykład diamagnetyzmu!) albo raczej naszych teorii powodują, że koncepcji nie odrzucamy tak szybko (Imre Lakatos, patrz np. [5], s. 184).

W praktyce problem sprowadza się do przyjętej kolejności postępowania. Jeżeli najpierw sformulujemy teorię, to prawdopodobne jest znalezienie faktu lub faktów, które zmuszą nas do uznania, iż jest ona błędna. Jeżeli zaś przez dłuższy czas istnieje jakaś teoria i trudno o fakty jej przeczące, to warto uznać, że jest to teoria wartościowa. Jeżeli – na odwrót – najpierw zbierzemy fakty, to uzyskana teoria jest oczywiście zawsze prawdziwa, zwłaszcza gdy postępujemy konsekwentnie, czyli szukamy zgodnych z nią faktów, a nie próbujemy wyciągać z niej konsekwencji, które następnie można byłoby konfrontować z rzeczywistością. (Takie postępowanie dobrze opisuje znane powiedzenie, że „do dowolnych pięciu punktów pomiarowych daje się dofitować kształt słonia”).

W nauce oba sposoby działania są dopuszczalne – obowiązuje coś, co można by nazwać umiarkowanym masochizmem. Uczciwi autorzy koncepcji poszukują jej potwierdzenia z zachowaniem przyzwoitości, nie naciągając faktów, ale prawdziwa jej konfrontacja z rzeczywistością należy do ich konkurentów (jak to się stało np. w przypadku „zimnej fuzji”). Zupełnie inna jest sytuacja, gdy nie ma teorii lub gdy charakteryzuje się ona dowolną „naciągalnością”, a tak jest w przypadku magii. Oczywiście nie ma w niej możliwości znalezienia faktu przeczącego teorii. Po prostu demon (istota niezbyt jednoznacznie zdefiniowana) zawsze może zrobić, co zechce, a i tak nie zaprzeczy to „teorii” szamana (według określenia Poppera, magia jest „niewywrotna” [4]). Natomiast przypadków zajścia pożądanego zjawiska w momencie wypowiedziania „hokus-pokus” zawsze trochę znajdziemy, nawet bez „wspomagania” w tym celu rzeczywistości. Dlatego magia całkowicie bezpiecznie uzasadnia

swoje obserwacyjno-doświadczalne podstawy sekwencją: mamy taki zestaw faktów, więc magiczne cechy rzeczywistości są prawdą. Gdy zaś pojawiają się trudności i coś niezupełnie się zgadza, żąda dowodu obalającego tezę, oczywiście od osoby kwestionującej jej prawdziwość. A jak trudno udowodnić nieprawdziwość, wiemy już z przykładu o krasnoludkach.

Po tym ogólnym opisie warto zajrzeć do podręczników fizyki. Niestety, zasadą jest tu najpierw podawanie faktów i doświadczeń, a dopiero potem teorii, mającej jakoby z nich wynikać! Gdy zaś fakty na pozór przeczą teorii, jak w przypadku próby zastosowania zasad dynamiki Newtona do ruchu drogowego, to znajduje się jakieś wyjaśnienie wskazujące na „szczególne okoliczności”, które powodują, że „teoria ogólna nie ma w danym przypadku zastosowania”. W praktyce zwykle się po prostu ignoruje niewygodny fragment rzeczywistości.

## Wola w magii i nauce

Następną cechą charakterystyczną magii jest zależność zjawisk od woli maga. Nie jest to wprawdzie zbyt często uznawane za główną cechę magii, ale z reguły podkreśla się, że warunkiem udanych czarów jest odpowiednia wola maga [6]. Ponieważ nauka jest z zasady obiektywna – opisywane przez nią zjawiska przyrodnicze są niezależne od chęci i woli człowieka – więc zależność od woli człowieka jest bardzo skutecznym kryterium odróżniającym magię od nauki. Znalezienie w jakiejś dziedzinie fragmentów możliwych do zmiany aktem woli nie świadczy jednak o magicznym charakterze dziedziny. Nawet w tak naukowej dziedzinie jak fizyka jest sporo elementów zależnych od woli. Są to różnego rodzaju konwencje i cechowania. Akt woli wystarczy, by zmienić wartość liczbową siły (wybór innej jednostki), wyzerować prędkość (wybór układu odniesienia) czy usunąć składową pola elektromagnetycznego (wybór cechowania). Wystarczy jednak chwila refleksji, by zauważyć, że wola ma w fizyce zupełnie inne znaczenie niż w magii. W fizyce wszystko to, co zależy od woli, jest bez znaczenia. Fakt, że pewne wielkości fizyczne są względne, a więc zależne od naszej woli, to tylko skutek tego, że istotne fizycznie wielkości są ukryte głębiej, a teoria po prostu identyfikuje tę istotną strukturę, wskazując jednocześnie na ograniczenia sensu fizycznego wielkości, które dotychczas wydawały się obiektywne.

W przypadku magii sytuacja jest inna. Mag zmienia swoją wolą istotne cechy świata. Zaklęcie „hokus-pokus” jest w magii skuteczną metodą zmiany rzeczywistości. Niestety, z podręczników fizyki tej zasadniczej różnicy tak łatwo nie wyczytamy. Ogromna ilość precyzyjnych (w sensie „sztywno skonstruowanych”, a więc podobnych do zaklęć) definicji, podkreślanie znaczenia elementów *de facto* nieistotnych, takich jak układ jednostek czy wybrane konwencje (m.in. nazewnictwo, patrz np. niemądra kampania niektórych dydaktyków na rzecz wprowadzenia terminu „szybkość”) sugerują młodemu człowiekowi, studentowi czy uczniowi, że są to fragmenty o zasadniczym dla fizyki znaczeniu. Gdy zaś przyzwyczaj się on na lekcjach

fizyki, że to, jakiego słowa użyje, ma zasadnicze znaczenie, łatwo przyjmie, że odpowiedni zestaw słów wypowiedziany z właściwą intonacją przyniesie taki czy inny pożądaný skutek, tym bardziej że obiektywizm, w sensie niezależności od woli, to w świecie ludzkim raczej wyjątek niż reguła! Od dziecka wiemy, że stanowcze (poparte wrzaskiem i tupaniem nogami) wyrażenie woli bywa skuteczne. A potem już idzie jak burza, polecenia dyrektora, uchwały parlamentu, wyroki sądu. Wszystkie tego typu „rytualne oświadczenia woli” działają całkiem skutecznie. Codzienne doświadczenie życiowe przekonuje nas zatem do zaklęć i rytuałów jako skutecznego sposobu oddziaływania na rzeczywistość. Nic więc dziwnego, że bardzo łatwo jest przyjąć magiczne zasady działania. Jeżeli jeszcze na lekcjach szkolnych i wykładach uniwersyteckich z dziedziny nauk przyrodniczych nie zostanie jasno powiedziane, czym zasady tych nauk różnią się od zasad magii, to przeniesienie na te nauki zasad skutecznych w życiu codziennym wydawać się będzie naturalne.

## Dydaktyka magii czy magia (dobrej) dydaktyki?

Jak widać z powyższych rozważań, to, co zwyczajowo w dydaktyce uznaje się za cechy nauki, a więc praktycyzm, doświadczenie, precyzja sformułowań oraz ogólna i bezwzględna stosowalność, w praktyce lepiej charakteryzuje magię niż naukę. W tym kontekście warto przyrzec się chyba dziś najbardziej popularnemu magowi, jakim jest Harry Potter. Analizę warto przeprowadzić przede wszystkim dlatego, że cykl powieściowy pani Rowling przedstawia wyjątkowy w skali całej literatury światowej temat, jakim jest „dydaktyka magii”. Wymyślona przez nią uczelnia to realizacja marzeń współczesnych dydaktyków nauk przyrodniczych. Przede wszystkim przedmioty są nauczane bardzo nowocześnie – w pracowniach, gdzie praktycznie i bezpośrednio uczniowie zdobywają konkretne i bezpośrednio użyteczne umiejętności. Można by rzec: „maksimum użyteczności, minimum teorii”. Do tego pewna standaryzacja (Standardowe Umiejętności Magiczne) i bardzo bliski kontakt z nauczycielami (uczniowie biorą udział w ich rozgrywkach). Wreszcie sporo może nieco brutalnego, ale emocjonującego wszystkich sportu. Powyższe stwierdzenia to nie dowcip ani paszkwil na dydaktykę (no, może tylko odrobina ironii). Po prostu magia świetnie pasuje do współczesnej cywilizacji. To, co w większości przypadków przedstawia się jako nowoczesne, ma cechy doskonale zgadzające się z własnościami magii, w dużej mierze ze względu na to, że obecnie mamy do czynienia z przewagą nauk humanistycznych, a w nich zaklęcia i rytuały z naturalnych powodów działają skuteczniej. Tym samym szeroko rozpowszechniony pogląd o samoistnym wygasaniu popularności magicznego podejścia do świata przyjdzie uznać za błędny. Należy się raczej liczyć ze spontanicznym (częściowo już chyba obserwowanym) wzrostem magicznej mentalności.

My jednak reprezentujemy nauki mające inne zasady i powinniśmy te zasady promować, przynajmniej na lek-

cyjach i wykładach z fizyki. Niestety, zamiast tego propagujemy najczęściej zasady lepiej opisujące podstawy magii, ze szkodą dla nas samych, ale przede wszystkim dla naszych uczniów. Pamiętajmy bowiem, że choć podstawy logiczne, na których zbudowano nauki przyrodnicze, nie mają charakteru uniwersalnego (wbrew temu, co się czasem na lekcjach fizyki twierdzi!) i np. w naukach humanistycznych się nie sprawdzają, to jednak w kontakcie z naturą są naprawdę „jedynie słuszne”, a i w części społecznej naszego otoczenia nierzadko się sprawdzają lepiej od zasad magicznych. Aby jednak zauważyć, czym różnią się nasze zasady od reguł obowiązujących w magii, trzeba o tej ostatniej coś niecoś wiedzieć.



Dr JERZY KUCZYŃSKI ma zainteresowania naukowe związane z teorią pola i kosmologią. Zawodowo zajmuje się głównie popularyzacją astronomii i dydaktyką (działa w Olimpiadzie Astronomicznej i Komisji PAU ds. oceny podręczników szkolnych). Prywatnie jest jachtowym kapitanem żeglugi wielkiej; najczęściej pływa po Bałtyku i północnym Atlantyku (m.in. Islandia i Wyspy Owcze).

## Literatura

- [1] J. Kuczyński, *Delta*, zes. 1/1996.
- [2] Patrz K.J. Brozi, *Antropologia funkcjonalna Bronisława Malinowskiego. Problemy metodologiczne* (Wydawnictwo Lubelskie, Lublin 1983).
- [3] M. Florkowa, *Tajemnice kamieni szlachetnych* (Kastel, Kraków 1993).
- [4] K.R. Popper, *Logika odkrycia naukowego* (PWN, Warszawa 1977).
- [5] M. Heller, *Filozofia przyrody* (Znak, Kraków 2004).
- [6] José Luis Barceló, *Czarna magia XX wieku* (Wydawnictwo 4&F, Warszawa 1991).

## PTF



### Oddział Częstochowski

Od roku akad. 2006/07 dotychczasowe Seminarium Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Jana Długosza z zakresu fizyki (patrz *PF* 57, 78 i 199 (2006)) na wniosek przewodniczącego Oddziału Częstochowskiego PTF, Michała Piaseckiego, i za aprobatą dziekana Wydziału, prof. Michała Wieczorka, jest wspólnym Seminarium WM-P AJD oraz Oddziału. Poniżej omówione są pokrótce niektóre wykłady z roku 2007.

Na seminarium 14 marca 2007 r. referat „Spintronika w gromadzeniu i przetwarzaniu informacji” wygłosił prof. Tomasz Stobiecki z AGH. Dzięki zależnym od spinu efektom magnetooporowym: gigantycznemu (GMR) i tunelowemu (TMR), osiąga się bardzo duże gęstości upakowania zapisu informacji na twardych dyskach. Wykorzystujące te zjawiska zawory spinowe i spinowe złącza tunelowe stosowane są w nieulotnych pamięciach operacyjnych MRAM i reprogramowalnych układach logicznych. Dyskusja po ponadgodzinnym wykładzie trwała ok. 35 minut.

22 marca 2007 r. referat na temat „ZnO – dlaczego ten półprzewodnik robi karierę?” przedstawił prof. Jacek Kos-



Podczas seminarium prof. Kossuta

sut, dyrektor Instytutu Fizyki PAN w Warszawie. Renesans zainteresowania tlenkiem cynku wynika z jego możliwych zastosowań w przyrządach optoelektrycznych i spintronicznych. Zastosowań takich do niedawna nie było, gdyż nie umiano wytworzyć ZnO typu p. Wykładowca wyjaśnił, dlaczego jest to trudne oraz opisał opracowany w IF PAN sposób obejścia tych trudności. Wykład trwał ponad godzinę, a dyskusja – 30 minut.

(dokończenie na stronie 268)

## 80 lat Jerzego Janika

Jerzy Janik urodził się 30 kwietnia 1927 r. we Lwowie. Uroczystości jubileuszowe rozpoczęły się pod koniec kwietnia w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN. Najpierw kameralnie – na forum kierowanego wiele lat przez Profesora Zakładu III Badań Strukturalnych IFJ – gratulacje, podziękowania i życzenia składali obecni pracownicy oraz doktoranci Zakładu. 26 kwietnia 2007 r. dyrekcja i Rada Naukowa IFJ zorganizowały uroczyste seminarium instytucyjne. Do wygłoszenia okolicznościowego referatu został zaproszony bliski współpracownik Jubilata, prof. Lucjan Sobczyk z Uniwersytetu Wrocławskiego, który swój referat zatytułował „Neutronowe badania dynamiki grup metylowych w kompleksach molekularnych”. Po dyskusji naukowej nastąpił czas składania życzeń. Pierwszy złożył je prof. Marek Jeżabek, dyrektor IFJ PAN, następnie w imieniu Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej wystąpił prof. Wojciech Nawrocik. Przeczytał przywieziony stamtąd adres podkreślający zasługi Profesora dla współpracy polsko-dubieńskiej. Adres podpisał dyrektor ZIBJ, prof. Aleksiej Sisakian. Do gratulacji dołączony był wspaniały bukiet róż, też prosto z Dubnej. Prof. Nawrocik przywiózł ponadto adres od władz Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, które przed kilku laty nadały Jubilatowi doktorat honoris causa. Gratulacje złożyli też: prof. Małgorzata Witko, dyrektor Instytutu Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN, uczniowie i współpracownicy Profesora z Instytutu Fizyki oraz Wydziału Chemii UJ, no i oczywiście licznie przybyli na uroczystość pracownicy IFJ PAN.



W auli IFJ PAN – gratulacje od prof. Nawrocika i kwiaty z Dubnej (fot. Wojciech Zajęc)

Jerzy Janik zainicjował w latach 50. w Krakowie badanie struktury i dynamiki molekularnej materii skondensowanej metodą rozpraszania neutronów. Razem z żoną, śp. prof. Janiną Janikową, stworzyli krakowską grupę kryształów molekularnych i ciekłych kryształów. Nawiązali szeroką współpracę zagraniczną, czego wyrazem stały się m.in. międzynarodowe konferencje pod nazwą Janik's Friends Meetings. Od dziesięciu lat uczniowie Profesora, naśladując swego mistrza, organizują co 2 lata w Chlewickach k. Siedlec krajowe konferencje poświęcone neutronowym i komplementarnym metodom badania materii skondensowanej. W jubileuszowym dla Profesora roku odbyły się obie imprezy, też o jubileuszowym charakterze. Spotkanie w Chlewickach (patrz s. 269) zorganizowano po raz piąty, a konferencję Janik's Friends Meeting w Zakopanem po raz 25. – pierwsze spotkanie przyjaciół prof. Janika odbyło się prawie 50 lat temu!

Zakopiańską konferencję otworzył uroczyste dyrektor IFJ PAN, prof. Marek Jeżabek, podkreślając liczne zasługi Jubilata jako uczonego i wychowawcy nowych pokoleń fizyków. Uświetnił ją również koncert chóru Organum pod dyrekcją Bogusława Grzybka, nagrodzony przez zebranych huczными brawami.



Obiad konferencyjny w Zakopanem – od lewej: Marek Jeżabek, Aud Riste, Jerzy Janik, jego córka Małgorzata, Tadeusz Wasiutynski i Karl Michel (fot. Wojciech Zajęc)

Ze względu na Jubilata w tegorocznych seminariach uczestniczyło szczególnie dużo zaprzyjaźnionych z nim osób: w Chlewickach około 60, a w Zakopanem ponad 70, w tym 23 osoby spoza Polski i blisko 10 doktorantów IFJ PAN. Zagraniczni przyjaciele Profesora Janika to przede wszystkim Norwegowie, Niemcy, Japończycy, naukowcy z Rosji, Korei, Belgii, Holandii, Francji i Włoch.

Polacy z instytutów Krakowa, Warszawy, Poznania, Wrocławia i Siedlec są wdzięczni prof. Janikowi za pomoc w rozwoju ich kariery naukowej, a także za zapraszanie na spotkania z Karolem Wojtyłą. Przez długie lata

jego działalności w Krakowie, początkowo jako wikarego w parafii św. Floriana, potem jako biskupa, arcybiskupa i kardynała, Profesor zapraszał go oraz swoich współpracowników do brania udziału w dyskusjach filozoficznych odbywających się w mieszkaniu państwa Janików lub na wycieczkach górskich. Stał się przez to animatorem grupy intelektualistów zgromadzonych wokół krakowskiego kardynała. Po jego wyborze na papieża seminarium otrzymało nazwę „Nauka–Religia–Dzieje”, a prof. Janik organizował je w papieskiej rezydencji letniej w Castel Gandolfo.

Jerzy Janik jest wymieniony w *Encyklopedii Krakowa* (PWN, Warszawa–Kraków 2000) jako fizyk neutronowy, przyjaciel Papieża, filozof. Ostatnio, dzięki inicjatywie jego oraz prof. Andrzeja Szytuły, Polska została członkiem Instytutu Lauego–Langevina w Grenoble. Obecnie jest diskutowany udział naszego kraju w programie budowy europejskiego spalacyjnego źródła neutronów ESS w Szwecji.

Podczas głównej uroczystości w IFJ PAN w odpowiedzi na adresy, gratulacje i życzenia Jubilat odczytał refleksje na swoje 80. urodziny. Pozwolę je sobie na zakończenie zacytować w całości.

Moje życie było długie. Bóg był dla mnie łaskaw. Nie wiem, jaki czas mi jeszcze przeznaczą. Mimo dramatycznych przeżyć (okupacja sowiecka we Lwowie, uniknięcie cudem deportacji w głąb Związku Radzieckiego, okupacja niemiecka w Krakowie, wojna) mogę powiedzieć, że miałem dobre życie. A nawet pełne sukcesów (udało mi się zostać profesorem, członkiem obu Aka-

demii, członkiem jednej akademii zagranicznej, doktorem honoris causa). Robienie tego typu kariery niewątpliwie odbiło się ujemnie na głębi mojej wiedzy. Teraz sobie myślę, że może byłoby lepiej być mniej powierzchownym uczonym przy mniejszej liczbie zaszczytów.

Fizyka była moim wyborem jako przedmiot studiów i pracy, ale nigdy nie uważałem jej za szczytowy wybór. Jako zwieńczenie fizyki traktowałem zawsze filozofię, a właściwie ontologię. Wielki wpływ na to miała moja przyjaźń z Janem Pawłem II, który nauczył mnie rozróżniać między dwoma rodzajami abstrakcji: fizycznej i metafizycznej. Natomiast nigdy mnie nie pociągały aplikacje, mimo że raz zabrałem w tego rodzaju działania, skonstruowawszy urządzenie do badania wilgotności murów.

Mimo ogłoszenia przeze mnie stu kilkudziesięciu prac naukowych nie sądzę, żeby można o nich mówić jako o wybitnych osiągnięciach, chociaż nie uważam też, żeby to były słabe prace. Natomiast za szczytowe osiągnięcia mojego życia uważam zorganizowane przeze mnie seminarium. Mam tu na myśli zarówno „szeregowe” seminarium zakładowe, te, które są znane jako Janik’s Friends Meetings, jak i te, które odbywały się z udziałem Papieża w Castel Gandolfo. Seminarium z pełną swobodą dyskusji uważam za najważniejszą działalność środowiska naukowego.

Niech mi wolno będzie jeszcze powiedzieć, że chyba do niczego bym nie doszedł w życiu bez pomocy i zaangażowania mojej śp. Żony, Janiny Janikowej, a także troski moich córek Barbary, Joanny i Małgorzaty.

Małgorzata Nowina Konopka  
Instytut Fizyki Jądrowej PAN  
Kraków



## Oddział Częstochowski

(dokończenie ze strony 266)

Kolejne Seminarium odbyło się 4 kwietnia 2007 r. Ponadgodzinny referat „Ferromagnetyzm w półprzewodnikach indukowany nośnikami ładunku” wygłosił prof. Tomasz Story z IF PAN. Wykładowca przedstawił mechanizm fizyczny indukowania ferromagnetyzmu w kilku rodzinach materiałów oraz spektakularne przykłady możliwości sterowania stanem magnetycznym półprzewodników w nowych strukturach spintronicznych. W trakcie dyskusji prof. Story porównał też różne modele teoretyczne opisujące długozasięgowe oddziaływania magnetyczne i wykazał, że model RKKY de facto nie ma obecnie konkurenta.

25 kwietnia 2007 r. o „Wybranych problemach ekofizyki” mówił dr Dariusz Grech z Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego. Tytułowe problemy dotyczyły analizy danych finansowych za pomocą metodologii stosowanej w fizyce (zwłaszcza fizyce układów złożonych). Na zakończenie dr Grech podzielił się swymi spostrzeżeniami co do perspektyw ekofizyki jako dyscypliny naukowej i specjalności wyższego wykształcenia akademickiego. Wykład przyciągnął najwięcej (81) słuchaczy, w tym 17 licealistów.

Na seminarium 9 maja 2007 r. referat „Akustyka pikosekundowa w badaniach struktur nanowarstwowych” przedstawił dr Mikołaj Aleksiejuk z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie. Omówił on zastosowania akustyki pikosekundowej, w której fale sprężyste wzbudzone są przez femtosekundowe impulsy laserowe, do badania wielokrotnych nanowarstw podwójnych, wytwarzania fononowej przerwy energetycznej w układzie nanostruktury periodycznej oraz wzbudzenia drgań sprężystych zlokalizowanych w tej przerwie.

23 maja 2007 r. odbyło się interdyscyplinarne seminarium z fizyki, chemii, biologii i medycyny. Referat „Zastosowanie mikroskopii sił atomowych do badania tkanek ludzkich oraz biomateriałów wytwarzanych na bazie tkanek zwierzęcych” wygłosiła dr Iwona Mróz z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego. Podczas wykładu dr Mróz m.in. omówiła przykłady wykorzystania mikroskopii sił atomowych (AFM) do badania powierzchni zastawek serca ludzkiego oraz tkanki osierdzia wieprzowego stosowanej w transplantologii. Na prośbę sekretarza Seminarium i zarazem autora tego sprawozdania cały referat przygotowała tak, aby był przystępny także dla licealistów z I LO im. Juliusza Słowackiego w Częstochowie. Dyskusja – już w węższym gronie – trwała ponad godzinę.

Wojciech Gruhn

## Rozpraszanie neutronów i metody komplementarne badania materii skondensowanej

W dniach 2–6 czerwca 2007 r. odbyła się piąta już ogólnopolska konferencja na temat neutronowych i komplementarnych do nich metod badania materii skondensowanej. Pierwsza została zorganizowana w 1996 r. w Krakowie, a następne odbywały się co dwa lata w Chlewiszkach koło Siedlec, w dworcu „Reymontówka”. Organizatorami były: Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Polskie Towarzystwo Rozpraszania Neutronów i Instytut Chemii Akademii Podlaskiej. Przewodniczącym Konferencji był prof. Janusz Chruściel z ICh AP. W tegorocznej Konferencji uczestniczyło ponad 60 osób, w tym blisko 20 profesorów, ze wszystkich ośrodków polskich uprawiających tematykę neutronową.



Uczestnicy Konferencji przed „Reymontówką” (fot. Wojciech Zając)

Program obejmował 7 sesji, podczas których wygłoszono 30 referatów. Po jednej sesji poświęcono badaniom metodami neutronowymi oraz ich zastosowaniom i przejściom fazowym, a po dwie ciekłym kryształom i magnetykom. Każdy referat kończyła kilkuminutowa dyskusja będąca początkiem dalszych rozmów podczas przerw czy spotkań wieczornych. Konferencja stanowiła znakomite forum zwłaszcza dla młodych fizyków przedstawiających swoje wyniki, będące niejednokrotnie fragmentami ich prac doktorskich. Referaty były wygłaszane po polsku, więc uczestnicy nie musieli koncentrować się na płynności oraz poprawności angielszczyzny i mogli się skupić na stronie merytorycznej wystąpień. Większość referatów zawierała wyniki badań przeprowadzonych kilkoma metodami doświadczalnymi, a także obliczenia komputerowe, co dawało pełniejszy obraz zjawisk fizycznych zachodzących w próbkach.

W Polsce rozwinęliśmy metody spektrometrii rentgenowskiej oraz spektroskopii we wszystkich zakresach podczerwieni (FIR, FTIR, MIR), metody NMR, optyczne (mikroskopia interferencyjno-polaryzacyjna), fluorescencyjne, dyfrakcyjne, kalorymetryczne, pomiary magnetyczne, wysokociśnieniowe i inne. Oprócz prowadzonych od wielu lat badań wykonanych przy użyciu neutronów z reaktora

w Świerku, Dubnej czy Kjeller w Norwegii referowano wiele prac wykonanych w wielkich europejskich ośrodkach neutronowych: ILL w Grenoble, CEA w Saclay, ISIS przy Rutherford Appleton Laboratory czy Hahn-Meitner-Institut w Berlinie. Przekazywano informacje o możliwościach coraz szerszego dostępu do najsilniejszych źródeł neutronów.

Nie zabrakło też referatów teoretycznych. Jeden z nich dotyczył analizy dynamiki dysypacji energii w układach niemagnetycznych, inny anatomii przejścia fazowego w układzie  $N$  identycznych spinów Isinga.

Można było zauważyć rezultaty znakomitej współpracy chemików z fizykami polegającej na syntetyzowaniu niezmiernie ciekawych próbek, ale nie tylko. W badaniach materii miękkiej chemicy i fizycy prowadzą podobne pomiary oraz obliczenia komputerowe coraz bardziej zaawansowanymi metodami *ab initio*, funkcjonału gęstości i in., wykazując pełny profesjonalizm.

Prace przedstawione na Konferencji będą opublikowane w specjalnym zeszycie *Acta Physica Polonica A* oraz w materiałach konferencyjnych wydanych w języku polskim przez siedlecką Akademię Podlaską.

Podczas Konferencji obok naukowego stworzono bogaty program socjalno-kulturalny: uroczysty obiad konferencyjny, ognisko z tańcami przy akompaniamencie siedleckiej kapeli ludowej, wycieczkę do zespołu pałacowo-parkowego w Kozłówe i wieczór wspomnień.



Janusz Chruściel wręcza Jerzemu Janikowi obraz dworku (fot. Wojciech Zając)

Tegoroczna Konferencja w Chlewiszkach stanowiła znakomite forum do uczczenia 80. urodzin prof. Jerzego Janika (patrz s. 267), który jest inicjatorem i organizatorem badań metodą rozpraszania neutronów struktury i dynamiki molekularnej materii skondensowanej. Jako prezent urodzinowy wręczono Profesorowi specjalne wydanie czasopisma *Phase Transitions* z najnowszymi pracami jego uczniów i współpracowników. Od siedleckich organizatorów Konferencji Jubilat otrzymał obraz olejny, przedstawiający reymontowski dworek w Chlewiszkach.

Małgorzata Nowina Konopka  
Instytut Fizyki Jądrowej PAN  
Kraków

## Spojrzenie z szerszej perspektywy, czyli...

XXIII Sympozjum Maksa Borna  
„Zjawiska krytyczne w układach złożonych”  
dla uczczenia 70. urodzin  
Profesora Andrzeja Pękalskiego

Od roku 1991 Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego organizuje międzynarodowe Sympozja Maksa Borna. Tematyka Sympozjów ([www.ift.uni.wroc.pl/symposia/maxlist.html](http://www.ift.uni.wroc.pl/symposia/maxlist.html)) jest niezwykle różnorodna – od grup kwantowych poprzez chaos i układy stochastyczne, zjawiska krytyczne i dyfuzję anomalną aż po biofizykę i interdyscyplinarne zastosowania fizyki statystycznej. Tegoroczne, XXIII już Sympozjum „Zjawiska Krytyczne w Układach Złożonych” ([www.ift.uni.wroc.pl/~born23](http://www.ift.uni.wroc.pl/~born23)) odbyło się w dniach 2–6 września 2007 r. w Polanicy Zdroju.

Zjawiska krytyczne są powszechne w różnego rodzaju układach złożonych – począwszy od fizycznych poprzez chemiczne, geologiczne, biologiczne, społeczne czy finansowe. Ostatnio coraz częściej do ich opisu i analizy używa się języka i metod fizyki statystycznej, a w szczególności teorii przejść fazowych. W efekcie powstają nowe działy fizyki, takie jak socjofizyka czy ekonofizyka, przeżywające w ostatnich latach burzliwy rozwój. Coraz częściej organizowane są konferencje, a nawet sekcje towarzystw fizycznych poświęcone zastosowaniom fizyki w tych – pozornie odległych od niej – obszarach nauki. Przykładem może być powołanie 13 marca 2004 r. przez Zarząd Główny Polskiego Towarzystwa Fizycznego nowej Sekcji PTF „Fizyka w ekonomii i naukach społecznych” ([ptf.fuw.edu.pl/fens](http://ptf.fuw.edu.pl/fens)). Takie sekcje, powstające też w innych krajach, umożliwiają komunikację między badaczami zajmującymi się zastosowaniami fizyki w odmiennych dziedzinach nauki oraz przepływ informacji o nowych metodach badawczych stosowanych w różnych typach układów złożonych.

Celem zorganizowanego przez Instytut Fizyki Teoretycznej UWr XXIII Sympozjum Maksa Borna „Zjawiska krytyczne w układach złożonych” była przede wszystkim konfrontacja nowych idei, które rozwijały się niezależnie na gruncie socjofizyki, ekonofizyki, biofizyki czy fizyki fazy skondensowanej. Trzeba bowiem pamiętać, że we wszystkich wymienionych przypadkach mamy do czynienia z układami złożonymi i pochodzenie różnego typu zjawisk krytycznych – pozornie bardzo odległych – może mieć charakter uniwersalny.

W odpowiedzi na nasze zaproszenie w Konferencji wzięło udział 12 wybitnych naukowców z całego świata: Marcel Ausloos (Belgia), Stanisław Cebirat (Polska), Michel Droz (Szwajcaria), Serge Galam (Francja), Shlomo Havlin (Izrael), Joseph Indekeu (Belgia), Ryszard Kutner (Polska), Adam Lipowski (Polska), Suzana Moss de Oliveira (Brazylia), Dietrich Stauffer (Niemcy), Józef Sznajd (Polska) i Haim Taitelbaum (Izrael), którzy wygłosili godzinne wykłady. Ponadto uczestnicy Sympozjum mieli okazję wysłuchać dziesięciu (20-minutowych) referatów oraz uczest-

niczyć w sesji plakatowej. W Sympozjum wzięło udział 58 naukowców z 10 krajów, nawet z tak odległych zakątków świata jak Brazylia.

Tegoroczne Sympozjum miało charakter wyjątkowy z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze, zostało zorganizowane dla uczczenia 70. urodzin Profesora Andrzeja Pękalskiego – dziekana (w latach 1990–96) Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii oraz kierownika Zakładu „Układy Złożone i Dynamika Nieliniowa” w IFT UWr ([www.ift.uni.wroc.pl/cosynody](http://www.ift.uni.wroc.pl/cosynody)). Po drugie, po raz pierwszy współorganizatorem Sympozjum została Katedra UNESCO Studiów Interdyscyplinarnych przy Uniwersytecie Wrocławskim ([www.kusi.ift.uni.wroc.pl](http://www.kusi.ift.uni.wroc.pl)), której kierownikiem i założycielem jest Profesor.



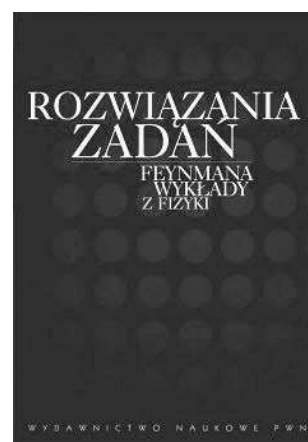
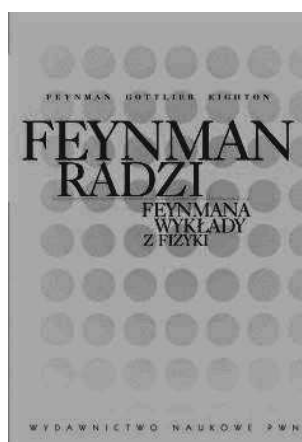
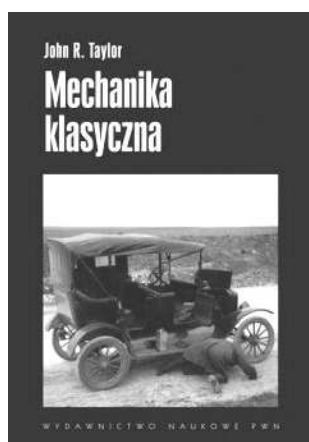
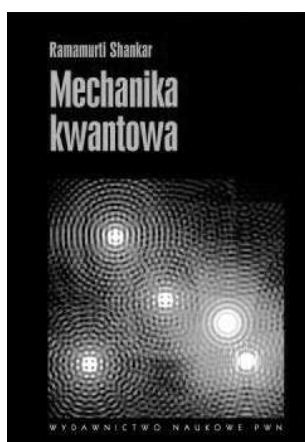
Od lewej: Andrzej Pękalski, jego żona Joanna i Józef Sznajd (dyrektor INTiBS PAN, wieloletni przyjaciel Profesora) w trakcie uroczystej kolacji (fot. Paulette Clippe)

Jubilat ponad 40 lat swej pracy naukowej poświęcił badaniu przeróżnych układów złożonych (począwszy od magnetyzmu poprzez dyfuzję nieliniową po układy ekonomiczne i biologiczne), ale również integracji badaczy z różnych dziedzin nauki poprzez organizowanie od wielu lat interdyscyplinarnego seminarium, w którym udział biorą fizycy, matematycy, chemicy, filozofowie, biologowie, socjologowie i ekonomiści. Tematyka XXIII Sympozjum Maksa Borna jest więc zgodna nie tylko z naukowymi zainteresowaniami Profesora, ale przede wszystkim z ideą, którą starał się nam latami wpoić – niektóre problemy mogą być rozwiązane dopiero wtedy, gdy spojrzysz na nie z szerszej perspektywy.

Na zakończenie chciałabym podziękować naszym sponsorom, bez których organizacja XXIII Sympozjum Maksa Borna nie byłaby możliwa: Sparda-Bank Münster eG, Komitetowi Fizyki Polskiej Akademii Nauk i Uniwersytetowi Wrocławskiemu.

*Katarzyna Sznajd-Weron*  
Instytut Fizyki Teoretycznej  
Uniwersytet Wrocławski  
Dyrektor Sympozjum





## Mechanika kwantowa

Ramamurti Shankar: *Mechanika kwantowa*, z jęz. angielskiego tłumaczył Mirosław Łukaszewski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006, s. 621 (podręcznik akademicki dofinansowany przez Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie i Uniwersytet Śląski w Katowicach).

Podręcznik mechaniki kwantowej Ramamurtiego Shankara powstał na podstawie rocznych wykładów, jakie Autor prowadził pod koniec lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku na studiach licencjackich i magisterskich uniwersytetów Harvarda i Yale'a. Książka, pod tytułem *Principles of Quantum Mechanics*, miała w Stanach Zjednoczonych dwa wydania, w latach 1994 i 2004. Na język polski przetłumaczone zostało wydanie drugie, w stosunku do pierwszego dość znacznie poprawione i poszerzone. W przedmowie do I wydania Autor pisze:

Pisząc tę książkę, wyobrażałem sobie jej adresata jako studenta, który chce sam nauczyć się mechaniki kwantowej (...). Zdaję sobie jednak sprawę z tego, że w praktyce książka będzie najczęściej używana w połączeniu z wykładem. Zawarty w niej materiał może być podstawą rocznego wykładu na studiach magisterskich. Można ją jednak wykorzystać także jako podręcznik do rocznego wykładu na poziomie licencjackim.

Moim zdaniem Autor, zapewne w dążeniu do zainteresowania swoją książką możliwie szerokiego grona czytelników, dość mocno przecenił możliwości fizyków amatorów lub słuchaczy studiów licencjackich. Nie polecałbym tej książki ani jako samouczka, ani jako podręcznika dla takich studiów. W bibliotekach jest wiele podręczników, które nadają się do tego celu znacznie lepiej, np. *Fizyka kwantowa* (E.W. Wichman, PWN, Warszawa 1973), *Feynmana wykłady z fizyki* (R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, PWN, Warszawa 1974), *Teoria kwantów* (I. Białynicki-Birula, M. Cieplak, J. Kamiński, PWN, Warszawa 2001) albo *Quantum Mechanics* R.W. Robinetta (Oxford University Press, 2006). *Mechanika kwantowa* Shankara jest po prostu zbyt trudna.

Na okładce książki Wydawca umieścił następującą charakterystykę podręcznika:

Uniwersalny podręcznik mechaniki kwantowej! Publikacja spełnia wszystkie wymogi podstawowego podręcznika do wy-

kładu mechaniki kwantowej zgodnego ze standardami nauczania obowiązującymi na polskich uczelniach. Konstrukcja książki jest następująca: na początku autor przypomina wiadomości z dziedziny matematyki oraz elementy mechaniki klasycznej niezbędne do właściwego zrozumienia postulatów mechaniki kwantowej, po czym w kolejnych rozdziałach opisuje jej podstawowe zagadnienia: cząstkę swobodną, oscylator harmoniczny, całki po trajektoriach, relacje nieoznaczoności, układy wielu cząstek, symetrie, atom wodoru, spin, rozpraszanie cząstek, metody przybliżone, zagadnienia relatywistyczne. Poszczególne zagadnienia są zaprezentowane w taki sposób, że wiele rozdziałów książki można studiować niezależnie od innych, dzięki czemu podręcznik jest uniwersalny – wykładowca może sam dobrać materiał stosownie do poziomu swoich studentów i ram czasowych wykładu. Dużą zaletą książki jest przejrzysty sposób prezentacji oraz liczne zadania do rozwiązania, dzięki którym Czytelnicy mogą utrwalić i pogłębić zdobyte wiadomości.

Ten opis jest zgodny ze stanem faktycznym, ale nie ma w nim niczego, co w istotny sposób odróżniałoby podręcznik Shankara od wielu innych dostępnych w języku polskim podręczników mechaniki kwantowej, np. od klasycznych dzieł Dawydowa, Landaua i Lifszycy, Schiffa czy niedawno ponownie wydanego wspomnianego podręcznika Białynickiego-Biruli i współpracowników.

Podręcznik Shankara ma nadzwyczaj dobre recenzje internetowe. Oceny w rodzaju „Remarkably clear and self-contained” czy „It was a miracle when it first came out” należą do typowych. W internetowym rankingu *Mechanika kwantowa* Shankara wyprzedza tak wybitne pozycje, jak podręczniki D.J. Griffithsa, J.J. Sakurajiego czy nawet C. Cohen-Tannoudjiego i współpracowników. Niestety, moje wysokie oczekiwania będące skutkiem lektury tych recenzji nie spełniły się po bliższym zaznajomieniu się z tą książką. Po przeczytaniu kilku rozdziałów byłem rozczarowany stylem oraz poziomem wykładu i początkowo nie bardzo rozumiałem, skąd się bierze zachwyt recenzentów i czytelników. Dopiero po dłuższym czasie uświadomiłem sobie, że popularność książki ma swoje źródło w tym, co mnie w niej razi, a mianowicie w świadomie realizowanej wulgaryzacji teorii. Autor zredukował mechanikę kwantową do szczegółowego, algorytmicznego przepisu na rozwiązywanie problemów. Precyzyjne definicje zastępuje półintuicyj-

nym powoływaniem się na analogie, a trudne problemy pojęciowe albo trywializuje, albo zręcznie omija. Wydaje się, że taka wulgaryzacja jest nieuniknioną ceną za zrobienie z jednej z najbardziej złożonych teorii fizycznych prostej układanki, ale moim zdaniem czytelnik, dla którego jest to pierwszy kontakt z mechaniką kwantową, powinien mieć świadomość, że ma do czynienia z opisem mocno uproszczonym. Tymczasem, w wielu przypadkach, Autor wydaje się ukrywać przed czytelnikiem te uproszczenia.

Oto kilka przykładów wspomnianej przed chwilą wulgaryzacji. Są to głównie błędne lub niezręczne sformułowania i uproszczenia, których, moim zdaniem, nie powinno być w bardzo dobrym akademickim podręczniku mechaniki kwantowej:

- Na s. 140 czytamy: „Wszystkie te informacje można wygodnie przedstawić w postaci macierzy gęstości (będącej naprawdę operatorem, któremu w pewnej bazie odpowiada macierz) zdefiniowanej jako (...)”, po czym następuje wzór definiujący operator (a nie macierz) gęstości.
- Na s. 153–54 Autor przekonuje czytelnika o wyższości reprezentacji położeniowej nad reprezentacją pędową (reprezentacje te nazywa odpowiednio „bazą  $X$ ” i „bazą  $P$ ”). Pisze m.in.: „Baza  $X$  jest zawsze trochę bardziej uprzywilejowana niż baza  $P$ , gdyż przestrzeń  $x$ , to przestrzeń, w której żyjemy”. Wprawdzie za chwilę wycofuje się z tezy, że jest to naprawdę istotne, ale po co robić cały ten szum? Niestety, nieco wcześniej używa argumentów, które nie tylko robią zamęt, ale wprowadzają czytelnika w błąd. Pisze: „Jeżeli (...)  $H = T + V$  (...), to wybór zależy od postaci  $V(X)$ . Ponieważ  $V(X)$  zależy zwykle w bardziej złożony sposób od  $X$  niż  $T$  od  $P$ , najczęściej wykorzystuje się bazę  $X$ ”. Dotąd wszystko dobrze, ale w następnym zdaniu podaje przykład z potencjałem  $V(X) = 1/\cosh^2(X)$ , przy czym pisze odpowiednie równanie Schrödingera w „bazie  $P$ ”, w którym umieszcza wyraz postaci  $1/\cosh^2(\hbar d/dp)$  i komentuje „którego postać jest dość przerażająca”. Otóż po pierwsze, całe instrumentarium matematyczne potrzebne do napisania poprawnej postaci równania Schrödingera w reprezentacji pędowej zostało wcześniej wprowadzone w p. 1.10 i z pewnością napisanie takiego równania byłoby bardziej pożyteczne dla czytelnika niż straszenie go „przerażającymi postaciami”, a po drugie, z dydaktycznego punktu widzenia cała ta demagogia jest do niczego niepotrzebna.
- Na s. 248 dyskutowany jest problem dwóch oddziałujących cząstek. Autor pisze, że separacja ruchu środka masy jest możliwa, gdy oddziałujące cząstki „nie znajdują się w żadnym polu zewnętrznym”. Szkoda, że nie wspomniał przy tej okazji, że separacji można dokonać również wtedy, gdy mamy harmoniczny potencjał ograniczający. Prowadzi to, jak wiadomo, do ściśle rozwiązywalnego przypadku atomu Hooke’a. Ostatnie zdanie tego paragrafu: „Krótko mówiąc, ruchem środka masy można tak samo się nie przejmować w mechanice kwantowej, jak w klasycznej”, jest zdecydowanie zbyt kategoryczne.

Nie byłoby np. prawdziwe, gdybyśmy zajęli się atomem Hooke’a.

- Na s. 264–68 Autor zastanawia się nad problemem, kiedy można pominąć symetryzację lub antysymetryzację funkcji falowej. Przy tej okazji pisze o ważnym i nietrywialnym problemie separowalności. Niestety, ten jeden z centralnych problemów mechaniki kwantowej (piękną i głęboką jego dyskusję można m.in. znaleźć w bardzo dobrym podręczniku mechaniki kwantowej Arno Bohma, Springer 2001) sprowadza do pseudonaukowego bełkotu o funkcji falowej wszechświata i o dwóch pionach, z których jeden jest na Ziemi, a drugi na Księżycu. Koncepcję funkcji falowej wszechświata wprowadza po prostu tak: „W mechanice kwantowej separowalność hamiltonianu  $H$  prowadzi do faktoryzacji funkcji falowej wszechświata  $\psi_{\text{wszechświata}} = \psi_{\text{układu}}\psi_{\text{reszty}}$ ”. Jeśli pamiętamy, że książka jest adresowana do czytelnika, który po raz pierwszy styka się z mechaniką kwantową i zapewne nigdy nie słyszał o równaniu Wheelera–De Witta, o kwantowej kosmologii, ani nawet o tym, że przy poprawnym uwzględnieniu oddziaływań mamy kłopot z napisaniem funkcji falowej stanu podstawowego atomu helu, to takie bez troskie żonglowanie pojęciami, które nie bardzo wiadomo jak zdefiniować, jest co najmniej niewłaściwe i jeżeli czegoś uczy, to przede wszystkim braku troski o precyzję sformułowań i rozumienie znaczenia używanych pojęć. W podobnym duchu są kosmologiczne dywagacje w przypisie 11 na s. 282, gdzie Autor pisze m.in.: „jedynym układem naprawdę izolowanym jest cały wszechświat (a więc tylko jego pęd jest dokładnie zachowany)”, i dalej: „Komu przyda się stwierdzenie, że cały wszechświat jest niezmienniczy translacyjnie, a zatem jego pęd się nie zmienia?”. Niestety, w dalszym ciągu książki adept mechaniki kwantowej nie dowiadyuje się, w jakiej przestrzeni tę translację wszechświata należałoby przeprowadzić.
- Paragraf 13.4, „Atomy o wielu elektronach i układ okresowy”, jest napisany w sposób wyjątkowo niedbały. Nie znam podręcznika mechaniki kwantowej, w którym ten temat byłby opisany w sposób tak niestaranny i niekompletny jak w podręczniku Shankara. Już drugie zdanie tego paragrafu mówi nieprawdę: „Wprawdzie dla dowolnie złożonego atomu wieloelektronowego można w zasadzie rozwiązać ściśle równanie Schrödingera numerycznie, lecz w praktyce najwygodniej jest stosować metody przybliżone”. A zatem, stosowanie metod przybliżonych miałyby być tylko sprawą wygodnego wyboru! W dalszym ciągu nie ma ani słowa o energii wymiany, o metodzie Hartree’ego–Focka albo choćby o modelu Thomasa–Fermiego. Są natomiast naiwne i nieprawdziwe rozważania na temat symetrii rozkładu gęstości elektronowej w atomach i tworzenia się wiązań chemicznych.
- Podana w książce definicja spinora mogłaby stanowić cenne uzupełnienie serii dowcipów o szkoleniu wojskowym na tematy związane z fizyką. Otóż Autor informuje adeptów mechaniki kwantowej, że: „Spinor elektronu jest obiektem o dwóch składowych, czyli czymś pośrednim

między skalarem, który ma jedną składową, a wektorem, który ma ich trzy”. I w następnym zdaniu, zapewne aby czytelnik zbyt wcześnie nie uznał, że już wie, co to jest spinor, dodaje: „Pamiętajmy jednak, że składowe spinora są zespolone” (s. 355). Dalej mamy trochę bardziej wyrafinowanej matematyki: „wprowadzenie spinu podwaja wymiar przestrzeni Hilberta: uprzednio wynosił on  $\infty$ , a teraz wynosi  $2\infty$ , jeśli wiecie, co przez to rozumiem”.

- W równaniu ewolucji wektora stanu pochodna względem czasu jest w niektórych przypadkach zwyczajna (np. na s. 123 i 149), a w niektórych cząstkowa (np. na s. 12, 150 i 522). Zrozumienie różnicy między funkcją falową a wektorem stanu sprawia trudności wielu studentom, dlatego tego rodzaju niedopatrzienia są szczególnie szkodliwe.

Podobnych przykładów można by podać dużo więcej. W pewnym sensie ten bałaganiarski tok wykładu jest istotą recenzowanej książki.

Jedną z wad książki Shankara jest niewystarczające odniesienie do współczesności. Wprawdzie fizyka kwantowa istnieje od stu lat, a zasadnicze ramy jej prezentacji utrwaliły się w połowie ubiegłego wieku, ale w ostatnich dwóch dziesięcioleciach nastąpił ogromny rozwój metod doświadczalnych. W efekcie większość eksperymentów myślowych twórców fizyki kwantowej została zrealizowana w praktyce. Dzięki temu rozwiązano ważne problemy interpretacyjne, dokonano wielu nowych odkryć i stworzono perspektywy dla fascynujących zastosowań. Niestety, w książce Shankara można na ten temat przeczytać stosunkowo niewiele. Brak w niej dyskusji nieseparowalnych korelacji kwantowych i związanego z nimi paradoksu EPR. Nie ma ani słowa na temat nierówności Bella czy stanów splątanych. Brak dyskusji stanów kolektywnych układów wielu cząstek. Ani słowa na temat funkcjonalów gęstości. Tematy, których brakuje, można by mnożyć. Dlatego wykład Shankara nie jest w pełni nowoczesny. Pod tym względem znacznie lepsza, choć nieco trudniejsza jest np. *Physique quantique* Michela Le Bellaca (EDP Sciences 2003, wydanie angielskie Cambridge University Press 2006) albo wspomniana już *Quantum mechanics* Arno Bohma.

Do tej pory koncentrowałem się głównie na wadach recenzowanego podręcznika. Zostałem do tego, w pewnym sensie, sprowokowany przez liczne bardzo pochlebne (moim zdaniem zbyt pochlebne) recenzje. Jednak, również moim zdaniem, książka ma wiele zalet. Trzy pierwsze rozdziały (Wprowadzenie matematyczne, Przegląd metod mechaniki klasycznej i Mechanika klasyczna w kłopotach) pozwalają na szybkie przypomnienie istotnych elementów matematyki i mechaniki klasycznej oraz dobrze uzasadniają konieczność sformułowania nowej teorii. Dobra i zwięzła jest dyskusja doświadczenia z dwiema szczylinami. Nieźle czyta się rozdziały poświęcone rachunkowi zaburzeń. Nie znam opisu w języku polskim metody całek po trajektoriach, a dwa rozdziały podręcznika Shankara nieźle tę lukę wypełniają. Sporo miejsca poświęcono omówieniu kwantowego zjawiska Halla, fazy Berry’ego, symetrii cechowania, efektu Aharonova–Bohma. Jest rozdział

na temat kwantowania pola. Wszystko to znacznie osłabia moją wcześniejszą krytykę dotyczącą braku nowoczesności podręcznika.

Różnego rodzaju przekształcenia wzorów prezentowane są bardzo szczegółowo. Moim zdaniem, zbyt szczegółowo. Z powodu tej szczegółowości podręcznik jest bardzo obszerny (621 stron), a czytelnik nie jest zmuszany do aktywnego myślenia i czytania „z ołówkiem w rękę”. Wielu czytelników może to jednak uznać (i uznaje) za ważną zaletę podręcznika. Niewątpliwie dużą zaletą książki są liczne, na ogół dobrze dobrane zadania i powtarzana w wielu miejscach zachęta do ich rozwiązywania.

Książka wydana jest starannie. Pomyłek edytorskich jest mało. Trochę razi niedbały język wykładu, ale nie jest to wina tłumacza. Takim właśnie językiem Shankar napisał swój podręcznik. Jeden z internetowych recenzentów pisze: „The style is controversial, more like a corridor talk or lecture notes, though arranged as a text” (Styl jest kontrowersyjny, przypomina bardziej rozmowę na przerwie lub notatki z wykładu, choć ma układ podręcznika). W kilku miejscach tłumaczenie mogłoby być lepsze. Dotyczy to, na przykład, dwóch pierwszych zdań: „Celem tej książki jest zapoznanie cię z podstawami (. . .). Pierwszy rozdział ma cię wyposażać (. . .)” (podkreślenia moje). Również użycie terminu „szybkość przejścia” zamiast „prawdopodobieństwo przejścia” (s. 348) nie wydaje się trafne.

Nie potrafię jednoznacznie odpowiedzieć na pytanie, czy warto było tłumaczyć książkę Shankara. Uważam, że nie jest to najlepszy z obecnie dostępnych podręczników mechaniki kwantowej. Jest on jednak tak inny, a sukcesy jego amerykańskiego wydania świadczą tak dobitnie o jego przydatności dla masowego odbiorcy, że skłaniam się do opinii, że pomysł przetłumaczenia go na język polski był uzasadniony. Sformułowanie mechaniki kwantowej oferowane przez Shankara porównałbym do restauracji McDonalda, gdzie można zjeść szybko, tanio, obficie i w miarę czysto, ale chociaż dania z wołowiny lub ryb zajmują czołowe miejsce w jadłospisie, ktoś, kto chciałby poznać smak dobrze przyrządzonego befsztyka albo sandacza, powinien udać się gdzie indziej. Klientela McDonalda jest jednak bardzo liczna i to nie tylko z powodu niskich cen.

Jacek Karwowski  
Instytut Fizyki UMK  
Toruń

## Mechanika klasyczna

John R. Taylor: *Mechanika klasyczna*, z jęz. angielskiego tłumaczył Piotr Rączka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006, t. 1 s. 486, t. 2 s. 310.

Książka Johna R. Taylora *Mechanika klasyczna* jest obszernym i nowoczesnym podręcznikiem akademickim. W polskich bibliotekach naukowych jest dość dużo podręczników mechaniki klasycznej, nazywanej czasem mechaniką teoretyczną bądź analityczną, poczynając od klasycznej już pozycji autorstwa Wojciecha Rubinowicza

i Wojciecha Królikowskiego, poprzez wiele pozycji autorów polskich i obcych, do również obszernego podręcznika napisanego przez Grzegorza Białkowskiego. Czy więc w tej sytuacji warto było tłumaczyć i wydawać książkę Taylora? Według mnie zdecydowanie tak. Powodów jest kilka. Po pierwsze, w podręczniku Taylora oprócz właściwie wszystkich tematów tradycyjnie należących do działu „mechanika klasyczna”, a więc formalizmu Newtona, Lagrange’a, Hamiltona, bryły sztywnej czy szczególnej teorii względności, znalazł się również spory rozdział poświęcony teorii chaosu, a także rozdziały omawiające układy nieinercjalne, teorię zderzeń, mechanikę ośrodków ciągłych i drgania oscylatorów sprzężonych. Materiał ten jest zbyt obszerny na jeden wykład, lecz zagadnienia przedstawione w tomie drugim mogą być z powodzeniem wykorzystane w wykładzie typu „Zastosowania mechaniki klasycznej” czy „Mechanika klasyczna dla zaawansowanych”. Taylor stara się, aby każdy omawiany przez niego dział mechaniki ilustrowany był przykładami odnoszącymi się do nowoczesnej fizyki i do ważnych naukowo zagadnień.

Następnym argumentem na korzyść tej książki jest sposób prezentacji całego materiału. Jest on według mnie bliski filozofii Feynmana z jego *Wykładów z fizyki*. W obu przypadkach nie chodzi tylko o to, by student potrafił rozwiązać jakieś zadanie, a więc posiadał pewną biegłość rachunkową, lecz aby zrozumiał, dlaczego procesy fizyczne zachodzą właśnie tak. Taylor niejako „prowadzi za rękę” czytelnika, przypominając po drodze podstawowe fakty z matematyki i wyjaśniając istotę problemu. Oczywiście najlepsi studenci nie potrzebują takiej pomocy, choć i oni zapewne znajdą tu rzeczy dla siebie nowe. Dla średnich i słabszych studentów, a takich mamy teraz niestety coraz więcej, tego typu pomoc będzie bardzo cenna. Pozwoli być może na rzeczywiste zrozumienie mechaniki, a nie tylko nabycie sprawności w operowaniu wzorami i definicjami. Taylor poświęca o wiele więcej uwagi, niż to jest czynione w znacznej większości podręczników, na wytłumaczenie „dlaczego”. Myślę, że ten sposób prezentacji mechaniki klasycznej będzie także pożyteczny dla wykładowców, przypominając im, że warto poświęcić trochę czasu na dokładne wyjaśnienie rzeczy podstawowych.

Następnym walorem książki Taylora jest bardzo duża liczba zadań i to o różnym stopniu trudności. Nie są to tylko tyle razy wykorzystywane wahadła, bloczki i inne maszyny proste. Wiele jest naprawdę interesujących, w tym także sporo wymagających korzystania z komputera, co w oczach studentów podnosi atrakcyjność zadań. Dzięki m.in. takim zadaniom mechanika klasyczna w ujęciu Taylora przestaje być nieco archaicznym działem fizyki, służącym głównie do nabrania intuicji fizycznych i wyrobienia sprawności rachunkowej, lecz staje się pełnoprawną i interesującą dziedziną współczesnej fizyki teoretycznej. Tak jak wiele zadań z amerykańskich podręczników fizyki, również i te mają wyrobić zdolność uzyskania odpowiedzi nie tylko na drodze rachunkowej, lecz także poprzez oszacowania.

Kolejną zaletą tego podręcznika jest to, że np. w rozdziale poświęconym chaosowi, gdzie jest wiele rysunków otrzymanych drogą obliczeń numerycznych wg wzo-

rów z tekstu, podane są wartości parametrów, dla których rysunki te zostały uzyskane. Student bądź wykładowca może więc sam te lub podobne wykresy otrzymać i samemu sprawdzić, jaką rolę grają w rozwiązaniach poszczególne parametry. Jest to bardzo ważne dla zrozumienia mechanizmów opisywanych zjawisk. Każdy, kto próbował np. dobrać parametry tak, aby otrzymać reprodukowany w wielu książkach potencjał Lennarda–Jonesa, zrozumie, jak cenne są informacje o wartościach parametrów.

Książka napisana jest bardzo ciekawie, językiem dalekim od akademickiej sztywności i – jak już pisałem – w stylu podobnym do *Wykładów Feynmana*. O ile jednak te ostatnie są podręcznikiem raczej trudnym, o tyle książka Taylora może być wykorzystywana także do samodzielnej nauki mechaniki klasycznej, nawet przez średnio zdolnych studentów. Spora liczba rysunków ułatwia zrozumienie tekstu. Zamieszczenie na końcu każdego rozdziału krótkiego zestawienia najważniejszych wzorów i definicji niewątpliwie przyda się studentom w usystematyzowaniu materiału.

Podoba mi się także strona edytorska książki. Układ typograficzny jest ciekawy, zawiera kilka graficznych rozwiązań nieczęsto spotykanych w książkach naukowych. *Mechanika* Taylora złożona jest ładną i czytelną czcionką, wydrukowana na papierze dobrej jakości. Marginesy, aczkolwiek niezbyt imponujące, są wystarczająco duże, aby móc czytać całe wiersze bez konieczności rozrywania oprawy.

Tłumaczenie jest dobre. Z przyjemnością zauważyłem, że tłumacz używa polskiego zwrotu „pochodna względem czasu”, a nie coraz powszechniej stosowanego rusycyzmu „pochodna po czasie”. Zauważyłem niewiele błędów typograficznych.

Podsumowując uważam, że PWN podjął dobrą decyzję przetłumaczenia i wydania *Mechaniki klasycznej* Johna R. Taylora. Należy Wydawnictwu pogratulować szybkiego tempa pracy (wydanie amerykańskie ukazało się w roku 2005), które szczęśliwie nie odbiło się na końcowej jakości. Myślę, że ten nowoczesny i przyjazny dla użytkownika podręcznik znajdzie wielu czytelników.

Andrzej Pękalski

Instytut Fizyki Teoretycznej  
Uniwersytet Wrocławski

## Suplement do wykładów Feynmana

R.P. Feynman, M.A. Gottlieb, R. Leighton: *Feynmana wykłady z fizyki. Feynman radzi*, z jęz. angielskiego tłumaczył Zygmunt Ajduk, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, s.152.

Po czterdziestu latach czytelnicy *Feynmana wykładów z fizyki* otrzymali niespodziewany prezent. Mike Gottlieb, przyjaciel Ralpa Leightona (syna współtwórcy *Wykładów*) podczas prac nad korektą nowego wydania znalazł wzmianki o wykładach, które zostały wygłoszone przez Feynmana, ale pominięte w wydaniu książkowym. Notatki do tych wykładów, jak się okazało, zachowały się w całości i posłużyły za podstawę nowej książki. Zawiera ona

trzy wykłady poświęcone głównie metodom rozwiązywania zadań i stanowiące swoiste powtórzenie najważniejszych zagadnień pierwszego trymestru wykładów oraz wykład o nawigacji bezwładnościowej, który był ilustracją do teoretycznej dyskusji mechaniki ruchu obrotowego. Tekst wykładów jest „obudowany” licznymi dodatkami: przedmową Ralphi Leightona, wstępem Mike’a Gottlieba opisującym genezę powstania książki, wspomnieniami Matthew Sandsa (z których możemy się dowiedzieć, jak trudno było doprowadzić do powstania legendarnych wykładów Feynmana) i wyborem zadań z odpowiedziami, a w polskim wydaniu – także esejem Andrzeja Kajetana Wróblewskiego o Feynmanie i jego wykładach.

Jak wiadomo, wykłady Feynmana wydano w milionach egzemplarzy na całym świecie. Nie oznacza to jednak wcale powszechnej akceptacji jego stylu nauczania fizyki. W wielu ośrodkach używa się podręczników Feynmana tylko podczas zajęć dla doktorantów, bo uważa się je za zbyt trudne dla zwykłych studentów. Liczni wykładowcy wybierają pojedyncze tematy, które omawiają „według Feynmana” w ramach wykładu skonstruowanego na zupełnie innych zasadach. Zapewne tak musi być – indywidualność Feynmana była tak niezwykła, że niewielu fizyków ośmiela się naśladować go wiernie jako wykładowcę. Być może omawiana książka okaże się pomocna w rozszerzaniu grona fizyków wykorzystujących doświadczenia dydaktyczne Feynmana, bo pozwala ona na lepsze zrozumienie jego intencji i uzasadnienia jego metod nauczania.

Pierwszy wykład zaczyna się od bardzo oryginalnego „wstępu socjologicznego”, w którym Feynman dodaje otuchy studentom słabszym (w skali Caltechu), oraz „wstępu matematycznego”, a następnie zawiera omówienie ciekawego zadania statycznego, na przykładzie którego Autor pokazuje, jak stosować algebrę wektorów i jak uniknąć błędów (zadanie to wróci jeszcze jako przykład różnych metod rozwiązań). Wykład kończy bardzo osobiste wezwanie do rezygnacji z „uczenia się wzorów” na rzecz „rozumienia wzajemnych zależności w przyrodzie”.

Drugi wykład rozpoczyna podsumowanie praw dynamiki w wersji relatywistycznej i ich przybliżenia nierelatywistycznego, pojęcia sił i energii potencjalnej. Służą one do nowego rozwiązania zadania z wykładu pierwszego i jego modyfikacji dynamicznej (jeszcze inne rozwiązania podaje w uzupełnieniu Gottlieb). Na koniec wykładu Feynman przedstawia dyskusję prędkości ucieczki z Ziemi.

W trzecim wykładzie Feynman kontynuuje rozważania prędkości ucieczki jako granicznego przypadku ruchu satelity, porównuje ten problem z odchyleniem ruchu w polu kulombowskim (doświadczenie Rutherforda), a następnie dyskutuje prawa ruchu rakiet i możliwości napędów: chemicznego, jonowego oraz fotonowego. Wykład kończy dyskusja odchylenia elektrostatycznego wiązki i wyznaczania masy pionu z rozpadu.

Czwarty wykład ma charakter techniczny: po krótkim wprowadzeniu zasady budowy żyroskopu (nazywanego tu uparcie giroskopem wbrew polskiej tradycji technicznej i wbrew preferencji encyklopedii wydanej przez PWN) Feynman opisuje zastosowania tego urządzenia do

utrzymania kursu samolotu, do konstrukcji „sztucznego horyzontu” i do stabilizacji statku. Następnie omawia prosty żyroskop i jego późniejsze udoskonalenia, a także przyspieszeniomierz i pełny układ nawigacji bezwładnościowej. Wykład kończy omówienie innych zagadnień związanych z dynamiką ruchu obrotowego: kilku efektów związanych z obrotem Ziemi, niektórych problemów ruchu obrotowego ciał sztywnych, nutacji Ziemi oraz roli momentu pędu w astronomii i mechanice kwantowej.

Po tym wykładzie umieszczono dodatkowy „prezent”: spisane na żywo z magnetofonu pytania studentów i odpowiedzi Feynmana. Następnie, jak już wspomniano, zamieszczono wybrane zadania ze zbioru zadań Leightona i Vogta, odpowiadające pierwszym 20 wykładom poprzedzającym trzy wykłady „powtórzeniowe” (w polskich wydaniach *Wykładów* zadania te są dołączone do tekstu kolejnych tomów).

Nie ulega chyba wątpliwości, że książka ta jest skierowana raczej do wykładowców niż studentów, choć lektura pierwszego wykładu byłaby niewątpliwie bardzo przydatna dla wielu studentów wątpiących w swoje możliwości i uskarżających się na trudności podczas studiów fizyki. Uważam zresztą, że powinien ją przeczytać każdy fizyk lub nauczyciel fizyki, który chciałby czegoś więcej niż rutynowej pracy w swojej dziedzinie, a także każdy student, który poważnie myśli o przyszłej pracy naukowej lub dydaktycznej.

Nie znalazłem w książce błędów literowych ani rachunkowych (może naprawdę ich w niej nie ma?). Chciałbym więc zakończyć tę recenzję dwoma przykładami kontrowersyjnych zagadnień dydaktycznych, co do których większość dzisiejszych polskich wykładowców nie zgadza się z Feynmanem (ja nie zgadzam się tylko w jednym przypadku).

Pierwsza uwaga dotyczy tzw. masy relatywistycznej. Feynman używa tego pojęcia w drugim wykładzie, choć nigdzie nie wprowadza stosownego oznaczenia. Oznaczenie  $m$  zawsze dotyczy masy spoczynkowej, czyli niezmiennika relatywistycznego. Feynman jest więc „w pół drogi” między dzisiejszymi relatywistami, którzy przestrzegają skrupulatnie użycia wyłącznie wielkości, które są skalarami lorentzowskimi albo składowymi czterowektorów lub czterotensorów, a popularyzatorami, którzy uważają, że „prawdziwa” jest masa relatywistyczna, a „zwykłą” masę oznaczają  $m_0$ . Osobiście zgadzam się z relatywistami, że „masa relatywistyczna” była największym błędem dydaktycznym Einsteina (co sam zresztą później przyznawał), bo odwraca uwagę od konieczności konsekwentnego niezmienniczego (lub współzmienniczego) zapisu całej fizyki. Co więcej, u uczniów w liceum wyrabia fałszywe przekonanie, że wystarczy zastąpić „zwykłą” masę przez „masę relatywistyczną”, aby „przerobić” dynamikę Newtona na dynamikę relatywistyczną. Jest to oczywiście nieprawda. Szkoda więc może, że Feynman tak beztrudno używa wzorów wektorowych i skalarnych (2.2 do 2.5), nie wspominając, że to w rzeczywistości składowe wzorów czterowektorowych.

Druga uwaga dotyczy słów „velocity” i „speed”, konsekwentnie używanych przez Feynmana jako wektor prędkości i jego wartość skalarna. W tłumaczeniu polskim „ve-

locity” to „prędkość”, a „speed” – „szybkość”. Sam używam tych słów w takim znaczeniu od wielu dziesięcioleci, ale wciąż spotykam się z zarzutami, że to niepotrzebna komplikacja. Warto więc może się zastanowić, dlaczego Feynman, który w słownikach języka angielskiego mógł oczywiście przeczytać, że „velocity” i „speed” to synonimy (jest tak do dziś!), uznał, że dla fizyków warto wprowadzić takie rozróżnienie. Może jednak moglibyśmy się umówić, że skalarna miara pochodnej czasowej wielkości fizycznej (nie tylko położenia, ale np. temperatury lub objętości wody w basenie) to szybkość – speed, a wektorowa to prędkość – velocity? Wiem, że nie wszystkie podręczniki angielskojęzyczne zgadzają się z Feynmanem, ale czy nie powinniśmy raczej brać przykładu z najlepszych?

Krzysztof Fiałkowski

Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego  
Uniwersytet Jagielloński

## Rozwiązania feynmanowskich zadań

*Feynmana wykłady z fizyki. Rozwiązania zadań*, red. A.P. Lewaniuk, red. nauk. wydania polskiego Tadeusz Paszkiewicz, z jęz. rosyjskiego tłumaczyli Małgorzata Pociask, Małgorzata Sznajder i Sławomir Wolski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, s. 384.

Zbiór rozwiązań zadań to bardzo nietypowa książka i słusznie jej redaktor pisze we wstępie, że nie jest wcale pewne, czy jej wydanie przyniesie korzyść czytelnikom. Z pewnością stanie się tak tylko wtedy, gdy czytelnik będzie sprawdzał w niej poprawność swoich rozwiązań, a nie szukał rozwiązań zadań, z którymi nie próbował samodzielnie się zmierzyć. W omawianej książce na 370 stronach przedstawiono rozwiązania 618 zadań. Uważne przeczytanie wszystkich rozwiązań i sprawdzenie przedstawionych w nich obliczeń jest, niestety, zadaniem praktycznie niewykonalnym dla jednej osoby, choćby poświęciła mu w całości kilka tygodni ciężkiej pracy. Pragnę więc jedynie przedstawić kilka uwag krytycznych i kilka sugestii.

Po pierwsze, mimo ciężkiej pracy zespołu tłumaczy do tekstu zakradło się sporo niefortunnie dobranych terminów lub zwrotów trudnych do zaakceptowania w poprawnej polszczyźnie. Na przykład, już we wstępie na s. 9 czytamy „czasami ma sens zajrzeć”, na s. 13 cząsteczka poruszająca się w ośrodku „styka się” (zamiast „zderza się”) z innymi cząsteczkami, na s. 18 powierzchnie są „pokryte, być może bardzo małymi, jednak wzniesieniami”, na s. 20 czytamy „zrobiliśmy wyłącznie w celu pogłębienia”, a na s. 108 napisano „okresy obrotu Ziemi i Księżyca wokół środka masy są jednakowe” (chodzi oczywiście o okresy obiegu). Nie jest to może zarzut zbyt poważny, bo rozwiązujący zadania zapewne nawet nie zauważy tych niezręczności, ale firma PWN zobowiązuje.

Po drugie, zastrzeżenia budzą podane w książce rozwiązania zadań z rozdziału 1 pierwszego tomu wykładów Feynmana. Zadania te wymagają zwykle tylko oszacowa-

nia wyniku – w podręczniku nie przedstawiono odpowiedzi liczbowych, a do ich rozwiązania należy z reguły przyjąć dodatkowe założenia. Wydaje mi się, że podany sposób rozwiązywania tych zadań często nie spotkałby się z aprobatą Feynmana. Na przykład, obliczana w rozwiązaniu zadania 1.1 średnia droga swobodna cząsteczki powietrza w warunkach normalnych ma oczywiście wymiar długości. Tymczasem w zadaniu 1.3 wielkość ta jest traktowana jak bezwymiarowa. Feynman był znany z tego, że analizę wymiarową problemu uważał za najważniejszy element rozwiązania! Ponadto w odstępnie kilku linijek podaje się zupełnie różne wartości wilgotności powietrza: najpierw „za normalną uważa się” 60–80%, a potem zakłada 50%. A przecież zadanie ułożono dla studentów kalifornijskich, więc nawet 80% może być zbyt małą wartością. Na koniec w punkcie c tego rozwiązania odwołano się do wyniku „otrzymanego w punkcie (a)”, którego w rzeczywistości wcale tam nie podano (i w gruncie rzeczy nie odpowiedziano na zadane przez Feynmana pytanie).

Dziwne jest też rozwiązanie zadania 1.11. Najpierw podano tu (poprawnie), że dla sytuacji z rys. Z.1.3.b na jeden sześcian przypadają 4 kulki, a następnie bez uzasadnienia stwierdzono, że „kulki zajmują teraz 73% całej objętości”. Dopiero kilka linijek niżej (pod rysunkiem) oblicza się poprawnie „stosunek objętości zajmowanej przez kulki do całkowitej objętości naczynia” i otrzymuje wynik  $\pi\sqrt{2}/6 \approx 0,74$ . Co oznaczał więc podany poprzednio (fałszywy) wynik? Do tego na zakończenie wynik ten jest porównany z współczynnikiem upakowania dla „zwykłego, tj. nieuporządkowanego wypełnienia naczynia kulkami”. Ani to wypełnienie nie jest nigdzie zdefiniowane, ani odpowiedni współczynnik obliczony. Może Autorzy mieli na myśli obliczony uprzednio współczynnik upakowania dla sytuacji z rys. Z.1.3.a?

Rozwiązania zadań, dla których podano w podręczniku Feynmana wyniki liczbowe, oraz zadań stanowiących przeliczenia czysto matematyczne (np. z rozdziałów 1.1.11, 1.1.22) budzą mniej wątpliwości. Poważna dyskusja niektórych z tych rozwiązań wymagałaby zresztą rozważenia także treści zadań (które nie zawsze sformułowane są w sposób jednoznaczny i w pełni zadowalający) i z pewnością nie da się zmieścić w krótkiej recenzji.

Należy przy tym podkreślić, że ani staranność Autorów i Tłumaczy, ani (znacznie mniej staranne) przeczytanie książki przez autora tej recenzji nie gwarantuje, że w rozwiązaniach nie ma dalszych błędów. Chciałem więc zakończyć moje uwagi apelem do Czytelników: zagłębajcie do tej książki, aby porównać Wasze rozwiązania z tymi, które tu podano, a jeśli coś się nie zgadza, sprawdźcie oba! A jeśli nadal będziecie uważali, że rozwiązanie z książki jest wadliwe, przekażcie uwagi pod adres podany na s. 11: sekretariat1@pwn.com.pl.

Krzysztof Fiałkowski

Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego  
Uniwersytet Jagielloński

## Jerzy Rogaczewski (1926–2007)

17 stycznia 2007 r. na cmentarzu w Rembertowie pożegnaliśmy dr. Jerzego Rogaczewskiego, jednego z tych kolegów, którzy w latach powojennych niemal od początku uczestniczyli w rekonstrukcji na Hożej Zakładu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego. Oprócz rodziny Zmarłego – m.in. jego żony, trójki dzieci z pierwszego małżeństwa i wnuków – w pogrzebie uczestniczyła liczna grupa przyjaciół i dawnych kolegów z różnych środowisk naukowych oraz towarzysze broni z szeregów Armii Krajowej, którzy uczcili pamięć Jurka okolicznościowymi przemówieniami, a kompania honorowa, towarzysząca konduktowi, oddała salwę honorową. Odszedł człowiek wyjątkowy, o nieprzeciętnych zasługach, rozległych zainteresowaniach i dużej wiedzy, a przy tym niezwykle skromny.



Jerzy Rogaczewski (w środku) w rozmowie z Maciejem Kolwasem i autorką wspomnienia po okolicznościowym seminarium na Hożej w czerwcu 2005 r. (fot. Tadeusz Stacewicz)

Poznałam Jurka jesienią 1959 r., kiedy to po długich wahaniach, zachęcona przez Tadeusza Skalińskiego, zdecydowałam się porzucić fascynującą mnie od dzieciństwa dziedzinę fizyki jądrowej i specjalizować się w szeroko pojętej optyce. Nieco wcześniej prof. Skaliński – kierownik Katedry Optyki w Instytucie Fizyki Doświadczalnej na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii UW – rozpoczął bardzo obiecujące badania doświadczalne efektów ciśnieniowych dla linii widmowych, włączając się w nurt takich badań prowadzonych przez najlepsze ośrodki naukowe na świecie. Badania warszawskie były dodatkowo mocno inspirowane przez prace prof. Aleksandra Jabłońskiego, twórcy ogólnej, kwantowej teorii rozszerzenia ciśnieniowego linii widmowych, będącej uwiecznieniem jego wcześniejszych badań teoretycznych w tej dziedzinie przeprowadzonych w latach 1931–37 w Zakładzie

prof. Stefana Pieńkowskiego na Hożej. Tak więc trafiłam do grupy prof. Skalińskiego, zajmującej się badaniami kształtu linii widmowych, pod opieką mgr. Jerzego Rogaczewskiego, który wprowadził mnie w tajniki „kuchni” precyzyjnych, ilościowych badań spektroskopowych w warunkach, gdy jedynym dostępnym detektorem była klisza fotograficzna. W latach późniejszych, Jurek – zawsze niezmiernie uprzejmy i chętnie spieszący z pomocą – był dla mnie, a sądzę, że również dla wielu naszych kolegów, autorytetem w różnych kwestiach doświadczalnych.

Jurek urodził się w Grudziądzu 23 kwietnia 1926 r. w rodzinie wojskowej. Jego ojciec Konrad Rogaczewski był majorem Wojska Polskiego. Matka, Salomea z Liszewskich, nie pracowała zawodowo, choć miała staranne wykształcenie humanistyczne. To właśnie matka nauczyła Jurka gry na fortepianie i dzięki niej poznał język niemiecki, którym tak świetnie władał. W roku 1936 rodzina przeniosła się do Rembertowa, gdzie ojciec został wykładowcą w Centrum Wyszkożenia Piechoty, a Jurek, po ukończeniu szkoły podstawowej, w roku 1938 rozpoczął naukę w Gimnazjum im. Adama Mickiewicza w Warszawie. Niestety, już po pierwszej klasie musiał ją przerwać i aby uchronić się przed wywiezieniem na roboty do Niemiec, przez jakiś czas ukrywał się u krewnych na Pomorzu. Po powrocie do Rembertowa w roku 1941 podjął pracę na kolei. Praca ta dawała mu pewną możliwość maskowania działalności konspiracyjnej w ruchu oporu oraz przynosiła skromne środki na utrzymanie matki i młodszej siostry, ojciec bowiem przebywał w oflagu w Woldenbergu.

Przerwaną naukę mógł Jurek podjąć dopiero w roku 1946. Dwa lata później otrzymał świadectwo dojrzałości i został studentem Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Uniwersytetu Warszawskiego. Dyplom magistra otrzymał w styczniu 1953 r., ale już wcześniej, w październiku 1951 r., został zatrudniony w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej i włączony do różnych zajęć dydaktycznych oraz do badań w dziedzinie fizyki atomowej i molekularnej prowadzonych pod kierunkiem Stefana Pieńkowskiego. Po śmierci Profesora przez kilka lat zajmował się badaniami luminescencji roztworów organicznych, ale ostatecznie, w roku 1959, podjął wspomnianą wyżej tematykę rozszerzenia ciśnieniowego linii widmowych, która pozostała jego pasją do końca życia.

Należy przypomnieć, że studia i pierwsze lata pracy Jurka na Hożej przypadły w okresie reaktywacji pracy badawczej po pożodze wojennej. W szczególności przez kilka lat trwały prace, aby podnieść z gruzów laboratorium spektroskopii wysokiej zdolności rozdzielczej znajdujące się w głębokim podziemiu, zbudowane przez Pieńkowskiego w okresie międzywojennym i będące „oczkiem w głowie” Profesora. Dopiero jesienią 1960 r. udało się ukończyć podstawowe prace remontowe, a prof. Skaliński zdobył fundusze na zakup w Instytucie Optyki w Le-

ningradzie wielkiej wklęsłej siatki dyfrakcyjnej, podobnej do siatki Wooda zniszczonej w czasie wojny. Wspólnie z Jurkiem, pod okiem Skalińskiego, zaprojektowaliśmy całą konstrukcję mechaniczną odtworzonego spektrografu i już na jesieni 1961 r. rozpoczęliśmy ustawianie siatki w Pracowni, dla której właśnie wtedy Jurek zaproponował używaną do dzisiaj nazwę „Hades”. Dzięki ogromnemu zaangażowaniu Jurka prace nad kalibracją tego bardzo wyjątkowego (jedyne w Europie) spektrografu, którego pudło stanowiła ogromna ciemnia fotograficzna o powierzchni (wówczas) ok. 60 m<sup>2</sup>, szybko posuwały się naprzód, tak że już w r. akad. 1962/63 przy użyciu tego urządzenia została wykonana pierwsza praca magisterska i rozpoczęło się intensywne życie naukowe w Hadesie.

Początkowo były to badania profilu interkombinacyjnej linii rezonansowej rtęci o długości fali 253,7 nm, w których Jurek czynnie uczestniczył, ale jako temat pracy doktorskiej wybrał singletową linię rezonansową o długości fali 184,9 nm, dla której w owym czasie nie było jeszcze żadnych wyników doświadczalnych. Nie było też możliwości aparaturowych do wykonania badań w zakresie nadfioletu próżniowego nie tylko w ówczesnej Katedrze Optyki UW, ale i w innych ośrodkach w Polsce.

Jurek, jako zapalony eksperymentator, postanowił zbudować taką aparaturę. Wykorzystując dostępny monochromator Zeissa SPM1, przebudował go na spektrograf z możliwością automatycznego przesuwu kliszy fotograficznej bez otwierania kasety. Pomiary widma były wykonywane po napełnieniu spektrografu argonem, którego absorpcja w zakresie badanego widma jest bliska zeru. Po starannym przygotowaniu i zestawieniu wszystkich innych elementów układu doświadczalnego otrzymał pierwszy zapis profilu rozszerzonej ciśnieniowo linii Hg-184,9 nm i w roku 1966 przedstawił pracę doktorską „Rozszerzenie ciśnieniowe singletowej linii rezonansowej rtęci”, w której zawarł wyniki badań tej linii w odpowiednio gęstych czystych parach Hg i w atmosferze gazu szlachetnego. Skromna publikacja części tych wyników (*Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Sci. Math. Astronom. Phys.* **14**, 663 (1966)) wyprzedziła o 8 lat kolejne prace na ten temat wykonane w dobrze wyposażonych ośrodkach Europy Zachodniej.

Niestety, Jurkowi nie było dane kontynuować dobrze zapowiadających się badań. Po uzyskaniu stopnia doktora opuścił Zakład Optyki na Hożej i w roku 1967 został zatrudniony na Politechnice Warszawskiej, w nowo utworzonym Instytucie Fizyki. Ogromne obciążenie zajęciami dydaktycznymi nie zostawiało miejsca na badania. Jurek oddał się całkowicie tym zajęciom, co nie było dla niego trudne, ponieważ dydaktyka, a szczególnie eksperymenty i pokazy fizyczne, zawsze dawały mu dużo satysfakcji. Wielu z nas jeszcze pamięta go jako świetnego prelegenta tradycyjnych wykładów dla młodzieży szkolnej, wypełnionych spektakularnymi pokazami. Wykłady te były organizowane od lat przez Oddział Warszawski Polskiego Towarzystwa Fizycznego, którego Jurek był członkiem od początku swojej kariery zawodowej. Co więcej, niektórzy ówcześni uczniowie pamiętają, że Jurek już w latach pięćdziesiątych razem ze swoim przyjacielem Stefanem Czar-

neckim, fizykiem z Hożej, przyjeżdżał z takimi wykładami do szkół podwarszawskich.

Jurek lubił bardzo prosto, a zarazem elegancko opowiadać o fizyce. Być może właśnie to zachęciło go do podjęcia wykładów z fizyki na Wydziale Filozoficznym KUL; do Lublina dojeżdżał co tydzień w latach 1969–80. Regularnie pisał też krótkie felietony do *Młodego Technika*, z których dałoby się złożyć ładną książeczkę. Przetłumaczył również kilka niemieckich książek z zakresu fizyki.

Wciąż jednak nurtowała go myśl o powrocie do badań. W roku 1980 podjął w Instytucie Matematyki i Fizyki Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Olsztynie pracę, która dawała mu pewne możliwości badań w ramach prowadzonych doświadczalnych prac magisterskich. Ich tematem były głównie problemy optyczne, w tym zagadnienia związane z kształtem linii widmowych. Pamiętam, z jakim entuzjazmem opowiadał nam o tym, gdy często nas odwiedzał, korzystając przy tym czasem z naszych metod i aparatury (wówczas już znacznie rozwiniętych) do analizy uzyskanych w Olsztynie widm.

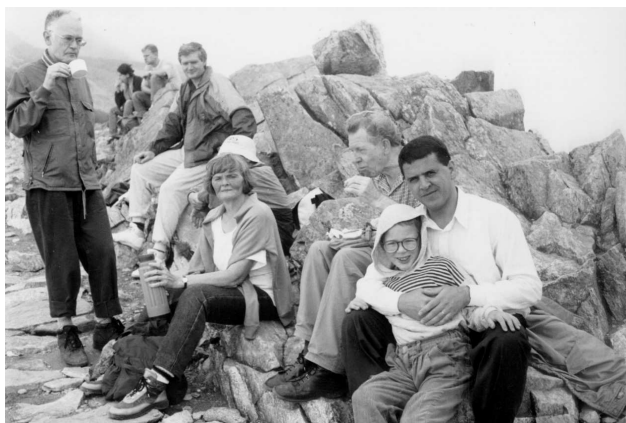
Szansa na powrót Jurka do pracy badawczej wzrosła realnie dopiero pod koniec lat osiemdziesiątych, zwłaszcza gdy przeszedł na emeryturę w roku 1991. Jeszcze dość długo był zatrudniony na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, a niepełny wymiar zatrudnienia pozwalał mu na częste wizyty w pracowni oddziaływań międzyatomowych w Hadesie, gdzie zajmowaliśmy się spektroskopią prostych układów van der Waalsowskich. Współpracowaliśmy wówczas z Uniwersytetami w Sankt Petersburgu, Düsseldorfie i Aleksandrii; w pracowni prawie zawsze byli jacyś cudzoziemcy i robota szła pełną parą. Mimo nienajlepszego już zdrowia Jurek ochoczo przyłączył się do pomiarów, które często przeciągały się na całą noc.

Moja przyjaźń z nim zacieśniła się w tym okresie. W okresach letnich po zakończeniu serii pomiarów organizowaliśmy kilkudniowe wypady w Tatry, które były naszym wspólnym hobby. Brali w nich udział także niektórzy dawni członkowie naszego zespołu oraz nasi aktualni goście zagraniczni. Lubiliśmy również słuchać dobrej muzyki, dlatego dość często, po trudach ciężkiej pracy w laboratorium, wybieraliśmy się na koncert lub muzyczne przedstawienie, najczęściej w ramach Festiwalu Mozartowskich. Ze względu na szeroką wiedzę Jurka w różnych dziedzinach kultury i dobrą znajomość języka niemieckiego jego obecność była szczególnie miła dla prof. Wolfganga Behmenburga z Düsseldorfu, także melomana, któremu tylko Jurek potrafił wyjaśnić zawiłości problemów spoza kręgu fizyki.

Ostatnią publikację napisaliśmy z Jurkiem w roku 2003 i wiele jeszcze planowaliśmy zrobić. Stan jego zdrowia pogarszał się jednak systematycznie i tylko dzięki wspaniałej opiece oraz czujności żony Isi „odżywał” po każdym pobycie w szpitalu. Wtedy znów z entuzjazmem snuł plany i wracał do różnych prac koncepcyjnych, a nawet fizycznych, kontynuowanych od lat w celu przystosowania ciasnego warszawskiego mieszkania do pomieszczenia choćby części jego ogromnego księgozbioru i nie-



których cennych mebli rodzinnych. Tego jednak nie udało się zrobić i staraniem Isi na przełomie lat 2005/06 Rogaczewscy zamienili swoje mieszkanie na duży dom wśród brzoźowego lasu w okolicy Sochaczewa.



Na Przełęczy Kondrackiej, lipiec 1994 r. Od lewej: Wolfgang Behmenburg (stoi), Michał Findeisen, autorka wspomnienia, Jerzy Rogaczewski i Daniel Gamal Roston, doktorant z Aleksandrii, z synem Michała Piotrusiem (fot. Staś Findeisen).

Ważne miejsce w życiu Jurka zajmowała działalność patriotyczna. Już w roku 1941 został zaprzysiężony w Związku Walki Zbrojnej, przyjął pseudonim „Zan” i został podporządkowany VII Kompanii „Pług”. Brał udział w wielu akcjach dywersyjnych na rozrządach i bocznicach kolejowych, a do jego podstawowych zadań należało rejestrowanie ruchu niemieckich pociągów wojskowych. Dzia-

łalność ta sprawiła, że został uhonorowany wieloma odznaczeniami, a w 2004 r. otrzymał stopień porucznika. Jurek był aktywnym członkiem Światowego Związku Żołnierzy AK, od 1998 r. sekretarzem Koła nr 10, a od roku 2004 sekretarzem Zarządu Okręgu Warszawskiego tego Związku. Czynnie uczestniczył też w pracach Stowarzyszenia „Pax Populis”, które opiekowało się cmentarzem polskich oficerów w Dössel w Niemczech. W ramach tych prac kilkakrotnie wyjeżdżał do Niemiec.

Ostatni raz widziałam się z Jurkiem w jego nowym domu w sierpniu 2006 r. Kilkunastoletnia choroba serca bardzo go już osłabiła, ale cieszył się swoim ładnie już urządzonej domem, w którym nareszcie wszystko się swobodnie zmieściło, i z radością pokazywał mi różne zakamarki całej posesji, po której biegały dwa przyjazne owczarki niemieckie.

Ubiegłej zimy Jurek poczuł się jednak gorzej. Odśledził 10 stycznia 2007 r. Do końca życia grywał na fortepianie swoje ulubione utwory. Utrzymywał też ożywione kontakty z dawnymi towarzyszami broni, którzy go odwiedzali, radząc się w sprawach związanych z planami działań w Związku.

Dla wielu z nas, którzy pamiętali Jurka z jego o kilkanaście miesięcy wcześniejszego wystąpienia na seminarium w IFD na Hożej, jego śmierć była zaskoczeniem. Jego wygląd i zachowanie, jak zwykle pełne taktu i spokojnej elegancji, nie zdradzały wtedy ani zaawansowanego już wieku, ani choroby. Takim był prawie do końca swoich dni i takim pozostanie w naszej pamięci.

Teresa Grycuk

Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Uniwersytet Warszawski

## Pierre-Gilles de Gennes (1932–2007)

Po 22 maja 2007 r. adres mailowy pgg@curie.fr już nie odpowie... Laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki z roku 1991, profesor Pierre-Gilles de Gennes, tego dnia zmarł w podparyskim Orsay.

O roli i znaczeniu jego dokonań w fizyce fazy skondensowanej miałem przyjemność pisać dwukrotnie na łamach *Postępów Fizyki* w roku 2000 [1,2]. W obu przypadkach informacje o nim i jego dziele pojawiły się w rubryce „Ze zjazdów i konferencji”. W pierwszym przypadku chodziło o udział noblisty w budapeszteńskiej konferencji nt. zastosowań fizyki statystycznej. De Gennes wygłosił na niej wykład inauguracyjny, przedstawiając prosty model teoretyczny opisujący przejście cząsteczki DNA przez kanał w błonie komórkowej i skupiając uwagę słuchaczy na stosunkowo krótkich czasach realizacji takiego przejścia. Wykład ten ukazał się później w *Physica A* [3]. W drugim przypadku nazwisko de Gennes’a pojawiło się w związku z tym, że paryska konferencja nt. skalowania i jego zastosowania w układach nieuporządkowanych materii miękkiej

odbywała się w paryskiej uczelni (Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris), której był przez kilkanaście lat rektorem. Uczestnicy Konferencji wielokrotnie zwracali uwagę na dorobek de Gennes’a w teorii skalowania, stosowanej do układów „nieklasycznych”, takich jak polimery czy ciekłe kryształy. Znali potężną zdolność autora koncepcji skalowania w fizyce polimerów do czerpania – poprzez analogie – z tego, co udało się wcześniej za jej pomocą wyjaśnić w dziedzinie magnetyków i nadprzewodników.

Wypada w tym miejscu zwrócić uwagę na dwie sprawy. Po pierwsze, warto podkreślić, iż Nagrodę Nobla przyznano de Gennes’owi za odkrycie, że metody rozwijane twórczo w fizyce ciała stałego w celu wyjaśnienia natury zjawisk występujących w układach „prostszych”, jak ww. nadprzewodniki i magnetyki, można uogólnić i zastosować do opisu właściwości układów bardziej złożonych, jak polimery i ciekłe kryształy (por. [4]). Po drugie podkreślimy fakt, że z wydanych przez de Gennes’a

książek największą poczytnością cieszy się pozycja *Scaling Concepts in Polymer Physics* [5] (pierwsze wydanie z roku 1979). Credo de Gennes'a z zachętą, by fizycy zajmowali się tzw. materią miękką, a więc polimerami i ciekłymi kryształami, membranami, żelami, granulami, emulsjami, zawiesinami, koloidami i surfaktantami czy wreszcie biomaterią, znaleźć można w przetłumaczonym przez Roberta Hołysta dla *PF* artykule „Miękką materia” [6] autorstwa samego noblisty.



Pierre-Gilles de Gennes (2005)

Ostatnie lata życia de Gennes spędził w Orsay pod Paryżem, gdzie jako emerytowany profesor Collège de France zajmował się we współpracy z grupą neurologów dziecięcych zagadnieniami biofizycznymi związanymi głównie z (samo)organizacją procesów pamięciowych u dzieci. Proponował m.in. model prymitywnej pamięci [7] z rozszerzeniem na zagadnienie kolektywnego wzrostu neuronów i samoorganizacji aksonów [8]. Zajmowały go także zagadnienia fenomenologicznego modelowania dynamiki procesu adhezji komórek do specyficznych ligandów w tkance. Wspólnie z Françoise Brochard-Wyart opublikowali swoje rozważania na ten temat [9], modelując zmienne pole kontaktu komórki z ligandem za pomocą mechanizmu dyfuzji z opóźnieniem czasowym (reprint z podpisem noblisty znajduje się w posiadaniu autora tej noty poźegnalnej).

Zanim jednak doszło do tak znacznego odejścia od klasycznie pojmowanej i uprawianej fizyki (fazy skondensowanej), de Gennes zajmował się ze znacznym sukcesem fizyką ciała stałego. Rozpoczął przed 50 laty od analizy kolektywnych wzbudzeń spinów w ferromagnetykach; opisywał też zjawisko rezonansu magnetycznego w ferrytach, badał wreszcie teoretycznie i doświadczalnie związki między magnetycznymi i nadprzewodzącymi

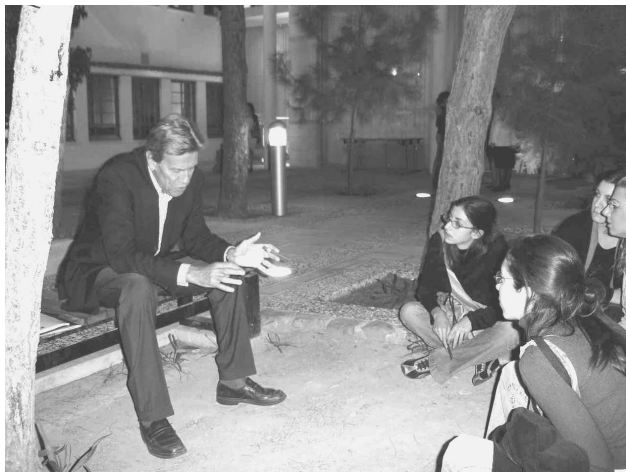
własnościami materiałów (jego książka o nadprzewodnictwie stała się dość szybko klasykiem w tej dziedzinie fizyki), rolę defektów i ich wpływ na zmianę przewodnictwa układu itp. Pojawiają się przy tym nazwiska niektórych współautorów jego prac, jak Jacques Friedel (promotor pracy doktorskiej z roku 1959), Philippe Nozières (do końca życia jeden z najbliższych przyjaciół, por. [10]) czy też Charles Kittel (u którego de Gennes odbył pierwszy dłuższy staż naukowy za oceanem).

Zainteresowanie polimerami (m.in. fibrylami – zjawisko opalescencji krytycznej jako świadectwo przemiany fazowej typu ciągłego) oraz ciekłymi kryształami (fluktuacje orientacji wektorów kierunkowych) pojawia się na dobre z końcem lat sześćdziesiątych wraz z nazwiskami znanych współpracowników, jak choćby Gérarda Janninka. W chwilę później bądź prawie równocześnie rozpoczyna się wieloletnia i bardzo owocna współpraca z Françoise Brochard (później Brochard-Wyart) nad dynamiką emulsji i zawiesin, pojawiają się także cenne doświadczenia w dziedzinie innych „niesfornych” układów materii miękkiej, tzn. koloidów (współpraca z Philipem Pincusem nad analizą korelacji par w ferromagnetykach koloidalnych). Zaowocuje to m.in. udaną próbą rozwiązania zagadnienia korelacji par w mieszaninie dwuskładnikowej w reżimie krytycznym, a współautorem pracy z roku 1978 będzie Michael Fisher. Mniej więcej trzy lata wcześniej zawiąże się współpraca z Mohamedem Daoudem w zakresie analizy właściwości roztworów oraz stopów z giętkimi łańcuchami polimerowymi, zaś pod koniec lat siedemdziesiątych jako współautor pojawi się Jean-François Joanny – będą to również roztwory polimerów i badanie ich stabilności termodynamicznej. (W tym miejscu można wskazać na polski akcent w badaniach prowadzonych przez de Gennes'a, gdyż tematyką stabilności roztworów koloidalnych zajmował się również Ludwik Leibler, który po ukończeniu doktoratu u prof. Jerzego Mycielskiego w Warszawie na Hożej przebywał przez dwa lata na stażu w grupie noblisty).

Właśnie od tych lat intensywnej pracy nad zagadnieniami fizyki polimerów i ciekłych kryształów, podsumowanych wydaniem wspomnianej książki *Scaling Concepts in Polymer Physics* [5], a nieco później *The Physics of Liquid Crystals* [11], z Jacques'iem Prostem jako współautorem (1993), zaczęła się – poprzez zdobywanie niejako mimochodem licznych innych (aczkolwiek często także bardzo wartościowych i znaczących!) nagród i wyróżnień na wniosek różnych międzynarodowych gremiów fizyków – prosta droga de Gennes'a do Szwedzkiej Królewskiej Akademii Nauk w roku 1991.

Zupełnie nieoficjalnie można by powiedzieć, że była to nagroda za wszechstronność i opartą na sile analogii wyobraźnię w dostrzeganiu związków między układami prostszymi w swej fizycznej naturze a gigantycznymi układami wieloatomowymi, które pomimo swej złożoności niespodziewanie wykazują, przynajmniej na pewnym poziomie organizacji (i opisu), podobne właściwości. Później były już głównie prace rozwijające koncepcje skalowania i renormalizacji w układach polimerowych, kolo-

idalnych, a nawet granularnych (ok. roku 1995). Pojawiały się, zwłaszcza od połowy lat dziewięćdziesiątych, przede wszystkim we współpracy z Armandem Ajdarim prace z dynamiki układów biofizycznych w skali nanometrów, z eksploracją zagadnień nanoreologii włącznie. Kontynuowane były prace nad ciekłymi kryształami (m.in. z J. Prostem), z zakresu mikrostruktur polimerowych (z Elie Raphaëlem) czy też nad biokompozytami, we współpracy z grupami japońskimi – nie sposób wymienić wszystkich jego współpracowników, z góry więc należy przeprosić za pominięcie wielu nazwisk.



Spośród różnych form działalności naukowej de Gennes zawsze najbardziej lubił popularyzację

De Gennes stał się – niejako przy okazji, ponad fizyką materii miękkiej – prekursorem nowego sposobu uprawiania fizyki (myślenia pragmatycznego?), zaliczanego do działu „interdisciplinary physics” np. w *Physical Review E*. (Notabene *Postępy* opublikowały przed kilkoma laty ciekawy artykuł de Gennes’a o błędach popełnianych przez fizyków, *PF* **50**, 248 (1999) – red.). Także dzięki temu do wielkości jego dokonań pasuje chyba jak ulał niemieckie tłumaczenie tytułu jednej z książek Stanisława

Lema – *Imaginäre Größe* (Suhkamp, 1996), która w swej treści podkreśla uniwersalny charakter ludzkiego myślenia. Nie chodzi przy tym bynajmniej o znaną fizykom z analizy zespolonej wielkość urojoną, lecz o... wielkość, ba, potęgę twórczej wyobraźni autora ok. 550 artykułów i książek z zakresu szeroko pojętej fizyki fazy skondensowanej (patrz [www.college-de-france.fr/chaire/chaire2/pgg.htm](http://www.college-de-france.fr/chaire/chaire2/pgg.htm) – adres wciąż aktywny w dniu pisania noty).

Szkoda, że PGG (jak zwali go najbliżsi), wielki w swej skromności i pragmatyzmie działania, niestrudzony w ostatnich latach życia entuzjasta wchodzenia z osiągnięciami fizyki pod przysłowiowe strzechy, od 22 maja 2007 r. nie odpowie już nigdy osobiście na mailowe zapytania... Można jednak sądzić, iż pozostawił fizykom trop, którym należy iść dalej, kontynuując jego drogę. Jest to droga w kierunku opisu i poznania wszelkich układów złożonych, czyli fizyki układów złożonych. On sam zagwarantował już sobie w tej „krucjacie” udział – pokazał, jak można opisać tzw. ciecze złożone (amer. complex fluids, ang. soft matter), ogromną resztę wielkiego dzieła pozostawiając kolejnym pokoleniom badaczy i następców.

Adam Gadomski

Instytut Matematyki i Fizyki  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
Bydgoszcz

- [1] A. Gadomski, *Postępy Fizyki* **51**, 98 (2000).
- [2] A. Gadomski, *Postępy Fizyki* **51**, 321 (2000).
- [3] P.-G. de Gennes, *Physica A* **274**, 1 (1999).
- [4] R. Holyst, *Soft Matter* **1**, 329 (2005).
- [5] P.-G. de Gennes, *Scaling Concepts in Polymer Physics* (Cornell University Press, Ithaca, NY 1979).
- [6] P.-G. de Gennes, *Postępy Fizyki* **44**, 121 (1993).
- [7] P.-G. de Gennes, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **101**, 15778 (2004).
- [8] P.-G. de Gennes, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **104**, 4904 (2007).
- [9] F. Brochard-Wyart, P.-G. de Gennes, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **99**, 7854 (2002).
- [10] E. Guyon, *Europhys. News* **38**, zes. 4, 8 (2007).
- [11] P.-G. de Gennes, J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals*, wyd. 2 (Oxford University Press, New York 1995).

## LISTY DO REDAKCJI

### Wrażenia z pobytu w CERN-ie w ramach Polish School Teachers Programme

Dzięki wspólnemu przedsięwzięciu Ministerstwa Edukacji Narodowej oraz Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN) powstał program szkolenia nauczycieli fizyki w siedzibie CERN-u. Założenia przewidują przeszkolenie w ciągu 15 najbliższych miesięcy 100 nauczy-

cieli z całej Polski. Uniwersytet Śląski w Katowicach, który od wielu lat pod kierunkiem prof. Marka Zrałka prowadzi wykłady dla nauczycieli i warsztaty dla uczniów, we współpracy ze Śląskim Kuratorium Oświaty zorganizował w dniach 14–22 kwietnia 2007 r. wyjazd 42 nauczycieli fizyki z woj. śląskiego, Łodzi i Warszawy. Opiekunem grupy był dr Jerzy Jarosz z Zakładu Dydaktyki Fizyki UŚ, a w Genewie zajął się nami dr Mick Storr, znany nam ze styczniowego spotkania z nauczycielami na UŚ, który jest odpowiedzialny za programy i koordynację współpracy edukacyjnej

z ramienia CERN-u. Mick, bardzo miły, przyjazny i życzliwy człowiek, od samego początku zdobył naszą sympatię. Przez cały czas dbał, abyśmy jak najwięcej skorzystali ze wszystkich form szkolenia. Program obejmował bowiem oprócz wykładów też inne formy zajęć: warsztaty, oględziny unikalnych urządzeń znanych nam dotychczas jedynie z fotografii, zwiedzenie interaktywnej wystawy MICROCOSM i samodzielne wykonanie proponowanych tam doświadczeń, a także codzienną pisemną „pracę domową”.

Pierwszy wykład, „Introduction to CERN”, wygłosił dr Andrzej Siemko. Dowiedzieliśmy się, czym jest CERN, jaka jest jego misja i historia, jak funkcjonuje, jakie są jego główne osiągnięcia, kto w nim pracuje. Zaznajomiliśmy się z urządzeniami do przyspieszania cząstek (akceleratorami), ich spowalniania (dezakceleratorami), doprowadzania do ich zderzeń (zderzaczami) i ich detekcji. Dowiedzieliśmy się, że zespół cernowskich akceleratorów jest największym i jednym z najbardziej uniwersalnych na świecie. Zapoznaliśmy się ze schematami tuneli LHC i SPS, które później obejrzelśmy na własne oczy.

O roli Polski w badaniach naukowych w CERN-ie mówił prof. Jan Nassalski, który jest przedstawicielem polskiego środowiska naukowego w Radzie CERN-u. Z dumą dowiedzieliśmy się, że Polska, obecna w CERN-ie od ponad 50 lat, jest jego współwłaścicielem i odgrywa w nim dużo większą rolę, niż wskazywałby jej 2-procentowy wkład do budżetu.

Ostatnie wykłady pierwszego dnia: „Particle detectors – how to see the invisible” i „Introduction to ATLAS”, wygłoszone przez dr. inż. Zbigniewa Hajduka, dostarczyły nam informacji na temat aparatury stosowanej w badaniach świata cząstek oraz przypomniały budowę i zasadę działania detektorów, pozwalających „zobaczyć niewidzialne”. Wykładowca objaśnił nam, jak jest zbudowany detektor ATLAS i na czym będzie polegał eksperyment o tej samej nazwie. Wykłady ułatwiły nam również oglądanie detektora, a przede wszystkim przygotowały do zwiedzania tuneli LHC i SPS w naturze.

I wreszcie oczekiwana przez nas wszystkich wyprawa do tunelu stała się faktem! Wyposażeni w kaski i maski tlenowe, zjechaliśmy ponad 100 m pod ziemię. Pierścien tunelu, w którym obecnie budowany jest wielki zderzacz hadronów LHC i detektor ATLAS, ma obwód o długości ok. 27 km. Uczni mają nadzieję, że w akceleratorze LHC po zderzeniu wiązek przeciwbieżnych hadronów (protonów) o wielkiej energii (14 TeV) powstaną cząstki elementarne, które istniały tylko w krótkim czasie po Wielkim Wybuchu.

W tunelu LHC prowadzone będą 4 eksperymenty: ATLAS, ALICE, CMS oraz LHCb. Biorą w nich udział polscy fizycy, inżynierowie i pracownicy techniczni, budując detektory i uczestnicząc w przygotowaniu programu badań oraz w ich realizacji. Detektor ATLAS, który ma średnicę ok. 24 m, budową swą przypomina cebulę. Wszystkie jego elementy opisywał oprowadzający nas po tunelu LHC dr inż. Jan Godlewski. Zwiedzanie tunelu wywarło na wszystkich uczestnikach szkolenia bardzo duże wrażenie. Była to ze wszech miar wspaniała lekcja pogłówna –

dzięki niej wyobrażenia, które zdołaliśmy sobie wyrobić na podstawie fotografii, przybrały realny kształt.

W następnym dniu od rana do wieczora słuchaliśmy wykładów, zwiedzaliśmy pod kierunkiem dr. Siemki „fabrykę antymaterii” (to stąd czerpał pomysły Dan Brown, autor książki *Anioły i demony*), a prof. Nassalski wtajemniczył nas w szczegóły COMPASS-u, który mogliśmy zobaczyć z bliska. Do ciekawszych form naszego szkolenia należy również zaliczyć zwiedzanie interaktywnej wystawy MICROCOSM. Warto ją polecić wszystkim nauczycielom fizyki i ich uczniom. Ekspozycje tam zgromadzone stanowią wspaniały materiał dydaktyczny wspomagający nauczanie trudnych zagadnień z fizyki współczesnej, ukazując atrakcyjność nauki poprzez wyjaśnianie podstaw fizyki wysokich energii w sposób niekonwencjonalny, ciekawy i przystępny dla wszystkich.

W kolejnych dniach wysłuchaliśmy wykładów z fizyki cząstek elementarnych („Introduction to particle physics”) prowadzonych przez prof. Krzysztofa Fiałkowskiego, który specjalnie w tym celu przyjechał z Krakowa. Wykłady dostarczyły nam aktualnych wiadomości o stanie wiedzy w tej dziedzinie i pozwoliły na jej usystematyzowanie oraz pogłębienie.

W wykładzie na temat akceleratorów („Introduction to accelerators”) dr Sławomir Wronka poszerzył naszą wiedzę na temat ich budowy i zasad działania. Ta ładna pod względem graficznym prezentacja może być przydatna na lekcjach fizyki w szkole przy omawianiu tematu „Narzędzia współczesnej fizyki”. Drugi jego ciekawy wykład („Accelerators around us”) dotyczył zastosowań akceleratorów w różnorodnych dziedzinach działalności człowieka: badaniach naukowych, medycynie (diagnostyce i terapii), przemyśle, ochronie środowiska oraz ludności (służby celne i antyterrorystyczne). Z całym przekonaniem można polecić go wszystkim nauczycielom (nie tylko fizyki) do wykorzystania podczas lekcji dotyczących zastosowania promieniowania jądrowego, przy realizacji tzw. projektów uczniowskich, które są skuteczną formą nauczania, podczas lekcji z wykorzystaniem innych aktywizujących metod nauczania, np. debaty uczniowskiej na temat: „Energetyka jądrowa – za czy przeciw?”, czy nawet podczas lekcji wychowawczych. Ciekawą prezentacją komputerową poleciłabym nauczycielom do wykorzystania w pracy dydaktycznej i jako pomoc w działalności na rzecz przekonywania społeczeństwa o wyższości energetyki jądrowej nad konwencjonalną.

Wiadomości z dziedziny współczesnej kosmologii, ciemnej materii i ciemnej energii dostarczył nam wykład („Introduction to cosmology”) dr. Stanisława Bajtlika z Centrum Astronomicznego PAN im. Mikołaja Kopernika. Treści wykładu były cenne dla naszego doskonalenia zawodowego i mogą być w pewnej części przeniesione na grunt szkolny przy omawianiu tematu „Budowa i ewolucja Wszechświata”.

Ciekawych informacji na temat zastosowań komputerów w badaniach naukowych prowadzonych w CERN-ie dostarczył nam wykład dr. Szymona Gadomskiego z Uniwersytetu w Bernie. Wykładowca opowiedział o największym wynalazku kojarzonym z CERN-em – Internecie. (Mieli-

śmy okazję zrobić sobie zdjęcia przed tablicą pamiątkową i drzwiami pomieszczenia, w którym narodziła się „światowa pajęczyna”). Dowiedzieliśmy się, jaką rolę odgrywają komputery we współczesnej fizyce, jak są wykorzystywane do analizy danych w eksperymentach. Zapoznaliśmy się z cernowskim centrum obliczeniowym i pracą polskich programistów oraz poznaliśmy historię GRID-u, który ma umożliwić korzystanie z zasobów rozproszonych na całym świecie.

Bardzo cenne były warsztaty („Hands-on: Build a Cloud Chamber”), na których nauczyliśmy się, jak zbudować komorę mgłową. Zostaliśmy podzieleni na trzyosobowe zespoły i po teoretycznym zapoznaniu się ze schematem budowy komory sami ją wykonaliśmy, po czym z zachwytem obserwowaliśmy efekty naszej pracy: ślady cząstek promieniowania kosmicznego. Podczas tych zajęć nauczyliśmy się czegoś nowego, nieznanego i w praktyce szkolnej dotychczas niewykorzystywanego (a to takie proste!). Z pewnością zdobyte doświadczenia i umiejętności przekażemy innym nauczycielom, a to z kolei ułatwi naszym uczniom przyswajanie wiedzy z fizyki współczesnej.

Każdego dnia po wykładach spotykaliśmy się przed kafełką i odrabialiśmy w grupach zadawaną nam codziennie przez Micka Storra „pracę domową”. Po kolacji każda grupa referowała swoje zadanie. Wspomnieć również warto o przyjemnościach, które były nagrodą za pracowicie spędzane dni. Jednego wieczoru udaliśmy się na spacer po Genewie, a w czwartym dniu pobytu zwiedziliśmy Genewę w nietypowy, zaplanowany przez Micka Storra sposób, przypominający harcerskie podchody. Drugą wyprawą, na którą zażyliśmy dzięki wcześniejszemu wywiązaniu się z nałożonych obowiązków, była wyprawa do Chamonix. Uroczysta kolacja w szwajcarskim stylu, na którą zostaliśmy zaproszeni, dostarczyła nam również

wielu miłych wspomnień, integrując nas z wykładawcami. Niezapomniane fondue i białe wino, gra na dzwoneczkach oraz trombicie (niezrównany w wydobywaniu dźwięków z tego olbrzymiego instrumentu okazał się dr Jerzy Jarosz) były dopełnieniem wspaniałej atmosfery.

Po 7 dniach zakończyliśmy tę wspaniałą „przygodę z cząstkami elementarnymi” i pożegnaliśmy największe na świecie laboratorium pod Genewą. W drodze powrotnej zwiedziliśmy jeszcze jedną atrakcję – bawarski zamek w Neuschwanstein. Teraz zdobytą wiedzą i doświadczeniami będziemy dzielić się z innymi nauczycielami oraz będziemy je wykorzystywać w pracy z uczniami. Nasz własny entuzjazm powinien rozbudzić w nich pasję do odkrywania nieznanego i zaszczerpić w nich fascynację badaniami zagadek współczesnej fizyki, dzięki której tak wiele odkryć dokonanych w laboratoriach wykorzystano do zastosowań w różnych dziedzinach ludzkiej działalności. Przeniesiemy na grunt szkolny tego „ducha wiedzy” na wysokim europejskim poziomie, a to dzięki tym osobom, które nam ten wyjazd umożliwiły. Dziękujemy Ministerstwu Edukacji Narodowej, Centralnemu Ośrodkowi Doskonalenia Nauczycieli, Śląskiemu Kuratorowi Oświaty – Marianowi Drosio, pracownikom Uniwersytetu Śląskiego: prof. Krystianowi Roderowi – dyrektorowi IF, prof. Zrałkowi, dr. Jaroszowi, władzom naszych miast i gmin, dyrektorom naszych szkół oraz oczywiście stronie szwajcarskiej i reprezentującemu ją Mickowi Storrowi. Mam nadzieję, że nasz wyjazd do CERN-u zapoczątkował wspaniałą ideę i dowiódł słuszności oraz celowości organizowania tego typu szkoleń, w takiej formie i na takim poziomie.

*Barbara Biskup*

nauczyciel

doradca metodyczny fizyki i chemii

## KRONIKA

### ■ Tytuły profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymali w dniu 22 listopada 2007 r.: Stanisław Krzysztof Bednarek (AGH), Ryszard Ireneusz Gonczarek (PWr), Piotr Przyśłupski (IF PAN), Anna Ewa Ślawska-Waniewska (IF PAN) i Zbigniew Tylczyński (UAM).

[www.prezydent.pl](http://www.prezydent.pl)

### ■ Nagrody FNP

Najwyższe wyróżnienia naukowe w Polsce – Nagrody Fundacji na rzecz Nauki Polskiej za wybitne osiągnięcia i odkrycia – zostały w roku 2007 przyznane po raz szesnasty. Laureatami zostali:

► w dziedzinie nauk humanistycznych i społecznych – prof. Karol Modzelewski (Instytut Historyczny Uniwersy-

tetu Warszawskiego) za badania nad historią powstawania tożsamości europejskiej odkrywające znaczenie tradycji przedchrześcijańskiej i wielokulturowej dla współczesnego pojęcia Europy, przedstawione w dziele *Barbarzyńska Europa*;

- w dziedzinie nauk przyrodniczych i medycznych – prof. Włodzimierz J. Krzyżosiak (Instytut Chemii Bioorganicznej PAN, Poznań) za odkrycie mechanizmu selektywnego wyciszania informacji genetycznej mogącej prowadzić do chorób neurodegeneracyjnych;
- w dziedzinie nauk ścisłych – prof. Andrzej L. Sobolewski (Instytut Fizyki PAN, Warszawa) za wyjaśnienie fotostabilności materii biologicznej przez odkrycie nowego mechanizmu dezaktywacji bezpromienistej elektronowo wzbudzonych stanów DNA i białek;
- w dziedzinie nauk technicznych – prof. Andrzej Nowicki (Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, War-

szawa) za opracowanie podstaw teoretycznych i wdrożenie do produkcji ultrasonografów z obrazowaniem kolorowym przepływu krwi.

Wręczenie Nagród odbyło się 7 grudnia 2007 r. jak zwykle na Zamku Królewskim w Warszawie. W roku 2007 ich wysokość wynosiła 200 tys. zł.

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

B. W.

## ■ Nagroda Marii Skłodowskiej-Curie

Nagrodę im. Marii Skłodowskiej-Curie przyznaje Wydział III Polskiej Akademii Nauk corocznie, na przemian w zakresie fizyki (lata nieparzyste) i chemii (lata parzyste). Jest ona przyznawana osobom niebędącym członkami PAN.

W roku 2007 laureatem został prof. Jakub Zakrzewski z Instytutu Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego UJ. Przedstawił on do Nagrody cykl prac, na który składało się 9 publikacji: w *Phys. Rev. Lett.* (4), *Phys. Rev.* (3), *Europhys. Lett.* i *New J. Phys.* (po jednej) oraz trzy referaty wygłoszone na zaproszenie organizatorów międzynarodowych konferencji, a następnie opublikowane w *J. Phys. B* oraz *Acta Phys. Pol. A i B*. Laureat zajmuje się problemem wielu ciał, a ściślej biorąc, nietrywialnymi korelacjami między cząstkami, których badanie doświadczalne stało się ostatnio możliwe.

Większość przedstawionych do Nagrody prac dotyczy skorelowanych efektów w zimnych gazach atomowych umieszczonych w sieci potencjału optycznego, a w szczególności powstawania nowych faz. Laureat jest współautorem pionierskiej pracy, która inicjuje badania układów nieuporządkowanych w fizyce zimnych gazów i pokazuje specyfikę tych układów. Praca ta w ciągu 4 lat doczekała się ponad 70 cytowań. Zaproponowano w niej możliwość zaobserwowania tzw. szkła bozonowego – nowej fazy nieuporządkowanej. W układach zimnych atomów istnieje wyjątkowa możliwość kontrolowania i powtarzania realizacji nieporządku. Otwiera to zupełnie nowe perspektywy – typowe dla fizyki fazy skondensowanej uśrednianie względem nieporządku staje się zbędne.

Zimne gazy atomowe umożliwiają badanie nie tylko układu bozonów, ale także mieszanin fermionów i bozonów. Takie mieszaniny umieszczone w potencjale sieci optycznej pozwalają, przy stosowaniu technik złożonych fermionów, np. na realizację innych modeli szkieł spinowych.

Jakub Zakrzewski badał również układy standardowe, np. podstawowy model Bosego–Hubbarda, a w szczególności własności kwantowego przejścia fazowego izolator Motta – stan nadciekły. Przeprowadził analizę modelu teoretycznego, stosując rozwinięcie perturbacyjne oraz numeryczne symulacje podstawowego w tej dziedzinie eksperymentu Blocha i współpracowników.

Wraz z grupą doświadczalników z Hanoweru Laureat podjął próbę zaobserwowania lokalizacji Andersona dla słabo oddziałujących bozonów. O ile głębokie sieci optyczne pozwalają na analizę typowych dla fizyki fazy skondensowanej modeli ciasnego wiązania, to nie jest

oczywiste, w jakim stopniu słaby nieporządek wpływa na właściwości kondensatu w obecności sieci płytkiej. Udało się wykazać, że w obecnych warunkach eksperymentalnych oddziaływanie skutecznie ekranują nieporządek i uniemożliwiają obserwację nietrywialnej lokalizacji.

W kilku innych pracach badano korelacje między oddziałującymi cząstkami w przypadku podwójnej jonizacji atomów i molekuł za pomocą silnych impulsów laserowych. Przeanalizowano klasycznie jonizację molekuł i pokazano istotną rolę, jaką odgrywają korelacje międzyelektronowe, a następnie uogólniono tę analizę na przypadek kwantowy w modelu uproszczonym. Model ten jest efektywnie dwuwymiarowy, co pozwala na dokładną analizę dynamiki procesu jonizacji i m.in. wytłumaczenie, dlaczego elektrony „lubią” wylatywać parami, z pędami symetrycznymi względem osi polaryzacji światła.

Przedstawione prace powstały we współpracy krakowskiej grupy kierowanej przez Laureata z zespołami z Hanoweru i Barcelony. Prace te stanowią istotny i uznany wkład w fizykę zimnych gazów kwantowych z nieporządkiem optycznym, analizę występujących w nich korelacji i w zrozumienie procesu jednoczesnej jonizacji skorelowanej.



Jakub Zakrzewski

Kuba Zakrzewski jest żonaty, jego żona Katarzyna jest profesorem AGH (w Katedrze Elektroniki), mają 10-letniego syna Kubę juniora. Kuba senior lubi podróże i zwiedzanie nowych miejsc, architekturę, malarstwo (o nim może mówić dużo i ciekawie), sport, choć niestety uprawiany ostatnio raczej biernie (przed telewizorem) niż aktywnie, z wyjątkiem ping-ponga czy nart, którymi wciąż para się nie tylko teoretycznie. Z innych sportów lubi dobre wino, single malt whisky, wiśniówkę Janusza, kolegi z roku, smaczne jadalno. – Kubę i Kasię znają wszyscy – powiedział kiedyś nasz wspólny amerykański znajomy, Richie Temple. I coś w tym jest.

Małgorzata Nowina Konopka

## ■ Nagroda Stefana Pieńkowskiego

Nagrodę Naukową im. Stefana Pieńkowskiego Wydziału III PAN w zakresie astronomii i fizyki otrzymał w roku

2007 dr hab. Jacek Dziarmaga z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego za cykl 19 prac opublikowanych w latach 2004–07 w czołowych czasopiśmie naukowych. Prace te dotyczyły teorii kondensatów Bosego–Einsteina jako otwartych układów kwantowych, tzn. układów oddziałujących z otoczeniem. Otoczenie takie stopniowo splątuje się ze stanem kwantowym kondensatu, powodując całkowitą zapaść funkcji falowej lub stochastyczne zaburzenia jej ewolucji. Kondensat jest układem wielu atomów w tym samym stanie kwantowym, więc efekty dekoherencji mogą ulegać wzmocnieniu i przejawiać się w sposób niemal makroskopowy.



Jacek Dziarmaga

Nieco innego wątku dotyczą prace Laureata na temat powstawania defektów topologicznych w kwantowych przemianach fazowych w temperaturze zera bezwzględnego. Istnieje teoria Kibble'a–Żurka, opisująca powstawanie defektów topologicznych w przemianach w temperaturze skończonej. Oryginalną motywacją opracowania tej teorii były kosmologiczne przejścia fazowe, w których miałyby powstawać struny kosmiczne. Ponieważ zjawisko przemian fazowych jest uniwersalne, mechanizm Kibble'a–Żurka został sprawdzony doświadczalnie w fizyce fazy skondensowanej. Jacek Dziarmaga w nagrodzonych pracach wykazał, że podobne zjawiska mogą występować również w kwantowych przejściach fazowych w zerowej temperaturze. Przygotowywane są próby weryfikacji doświadczalnej tych prac za pomocą zimnych atomów pułapkowanych w sieci optycznej.

W swoich badaniach Laureat uzyskał wiele istotnych wyników. Jest on wybitnym naukowcem młodego pokolenia, od lat wyróżniającym się pasją i aktywnością. Szczególnie ważna jest jego praca opublikowana w *Phys. Rev. Lett.* **95**, 245701 (2005). Zawiera ona jeden z pierwszych w literaturze światowej analitycznych opisów czasowego przebiegu kwantowego przejścia fazowego w jednowymiarowym modelu Isinga z okresowymi warunkami brzegowymi. Warto dodać, że od kilku lat teoria kwantowych przejść fazowych jest zaliczana do grupy najważniejszych nurtów badań w fizyce fazy skondensowanej i teorii pola.

Jacek Dziarmaga jest żonaty. Jego żona Maria Lubińska pracuje jako nauczycielka fizyki w III LO w Krakowie. Synek Tazio chodzi do I klasy podstawówki. Szczęśliwy mąż i ojciec znajduje jeszcze czas na uprawianie na co dzień oprócz pracy naukowej także kolarstwa szosowego, a podczas wakacji robi wyprawy rowerowe w egzotycznych terenach, np. Transylwanii (2005), Bułgarii (2006) czy Czarnogóry (2007).

Małgorzata Nowina Konopka

## ■ Stulecie TNW



W pierwszym dziesięcioleciu XX w. dzięki inicjatywie i staraniom (przede wszystkim o uzyskanie zgody władz carskich) dawnych profesorów i wychowanków Szkoły Głównej (zlikwidowanej w 1869 r.) powstało Towarzystwo Naukowe Warszawskie. Pierwsze ogólne zebranie członków odbyło się 25 listopada 1907 r. Celem TNW, według jego statutu, było „rozwijanie i popieranie badań we wszystkich gałęziach wiedzy oraz ogłaszanie dzieł naukowych w języku polskim”. Działalność Towarzystwa była finansowana przez zamożniejszych członków TNW, a także dzięki zapisom i dotacjom osób spoza środowiska naukowego.

TNW stało się główną polską instytucją naukową w zaborze rosyjskim. W miarę zdobywania funduszy powstawały pracownie naukowe. Józef Potocki ofiarował Towarzystwu budynek przy ul. (obecnie) Śniadeckich 8. Tam w 1913 r. została ulokowana Pracownia Radiologiczna im. Mirosława Kernbauma, której patronką była Maria Skłodowska-Curie, a pierwszym kierownikiem Jan Kazimierz Danysz, zaś po jego śmierci na froncie francuskim – Ludwik Wertenstein. W Pracowni tej prowadzono wiele doniosłych badań, m.in. nad własnościami radonu i odrzutem jąder w przemianach  $\alpha$  oraz  $\beta$ , odkryto promieniotwórczy kobalt-60, radiofluor i radioskand. Być może najważniejsze prace dotyczyły jednak rozpraszania niesprężystego neutronów. Pracownia działała do września 1939 r.

Po ostatniej wojnie TNW wznowiło działalność, lecz w 1951 r. zostało decyzją władz państwowych zamknięte, a jego majątek przekazany nowo powstającej Polskiej Akademii Nauk. W roku 1981 Towarzystwo reaktywowano; ma ono obecnie 6 Wydziałów, w tym Wydział III Nauk Matematycznych i Fizycznych, wznowiono także wydawanie *Rocznika Towarzystwa Naukowego Warszawskiego*.

B. W.

## ■ Mistrzowie

Program Fundacji na rzecz Nauki Polskiej MISTRZ – subsydia profesorskie – działa od 1998 r., kolejno w różnych dziedzinach nauki. Są to trzyletnie subsydia obejmujące imienne stypendium laureata oraz środki, którymi może on rozporządzać zgodnie ze swoim uznaniem, przeznaczając je np. na stypendia dla doktorantów, zakup książek, aparatury, wyjazdy konferencyjne itp. Program adresowany jest do osób aktywnych naukowo, których dotychczasowy dorobek jest rękojmią właściwego wykorzystania subsydium i którzy potrafią skutecznie łączyć pracę naukową z kształceniem młodej kadry. Wyłączone są osoby piastujące stanowisko rektora, prorektora lub dyrektora instytutu naukowego, a także osoby w wieku ponad 60 lat. Subsydium jest trzyletnie, a jego wysokość wynosi 100 tys. zł rocznie. W roku 2007 programem objęto nauki ścisłe, a laureatami zostali m.in.:

- ▶ prof. Robert Hołyst (Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa) – temat badawczy: fizykochemia inspirowana biologią i nanotechnologią;
- ▶ prof. Janusz Kałużny (CAMK, Warszawa) – astrofizyka gromad kulistych i gwiazd podwójnych;
- ▶ prof. Jerzy Lewandowski (Instytut Fizyki Teoretycznej UW) – kwantowe i klasyczne zagadnienia teorii względności;
- ▶ prof. Andrzej Michał Oleś (Instytut Fizyki UJ) – zjawiska kwantowe w układach silnie skorelowanych elektronów;
- ▶ prof. Marek Szymoński (Instytut Fizyki UJ) – samoorganizacja struktur molekularnych na powierzchniach półprzewodników i izolatorów;
- ▶ prof. Tomasz Wojtowicz (Instytut Fizyki PAN) – nanodrut półprzewodnikowe związków II–VI dla nanoelektroniki, biologii i medycyny.

Uroczystość wręczenia dyplomów laureatom odbyła się 20 listopada 2007 r.

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

B. W.

## ■ 50 lat Sputników

Pięćdziesiąt lat temu, 4 października 1957 r., z kosmodromu Bajkonur w ZSRR rakieta nośna wyniosła na orbitę okołozemską pierwszego sztucznego satelity Ziemi o nazwie Sputnik 1. Miał on masę 83 kg i średnicę 60 cm. Był wyposażony w dwa nadajniki radiowe. Okrążył Ziemię 1400 razy.

Od końca II wojny światowej rozpoczął się wyścig między USA i ZSRR, kto pierwszy skonstruuje rakietę balistyczną mogącą przenieść ładunek broni jądrowej. W Stanach pracował nad tym Wernher von Braun, niemiecki konstruktor pocisków V-2, którego Amerykanie zdążyli „zdobyć” wraz z kilkoma egzemplarzami gotowych rakiet oraz bogatą dokumentacją. Wojska radzieckie zastały ośrodki budowy rakiet już pusty, ale ich „zdobyczą” był z kolei niemiecki ekspert Helmut Gröttrup. W ZSRR pionierem budowy rakiet był Siergiej Korolow, który notabene spędził ponad 10 lat w łagrach i został zwolniony dopiero wówczas, gdy jego wiedza okazała się nieodzowna. Współpracował

z nim także Walentin Głuszko. Amerykańsko-radziecki wyścig w budowie rakiet balistycznych zmienił nieco charakter, gdy w 1956 r., Międzynarodowym Roku Geofizycznym, powstała potrzeba umieszczenia na orbicie sztucznego satelity Ziemi. Korolow zaproponował, aby wykorzystać do tego rakietę balistyczną. Próba się powiodła, co wzbudziło ogromne zaniepokojenie w USA i zainicjowało amerykańskie działania w tej dziedzinie.

Dziś nie sposób przecenić użyteczności sztucznych satelitów – zapewniają nam dogodną komunikację, są podstawą systemu GPS, służą do monitorowania wybranych miejsc na Ziemi, a więc mają zastosowania zarówno pokojowe jak i militarne. Natomiast rozwój techniki raketowej umożliwił stały postęp w badaniach kosmosu, a niegdyśjsza rywalizacja między mocarstwami przerodziła się w międzynarodową eksplorację przestrzeni kosmicznej.

*Phys. World* 20, nr 10 (2007)

B. W.

## ■ Doktorat honorowy Georga Bednorza

24 kwietnia 2007 r. Uniwersytet Śląski nadał tytuł doktora honoris causa Johannesowi Georgowi Bednorzowi, niemieckiemu laureatowi Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki. Otrzymał ją w 1987 r. wraz ze Szwajcaram Karlem Alexem Müllerem za odkrycie nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego w nowej klasie materiałów.



Johannes Georg Bednorz, laureat Nagrody Nobla (1987) i doktor honoris causa Uniwersytetu Śląskiego (2007)

Promotorem doktoratu był prof. Krystian Roleder, dyrektor Instytutu Fizyki UŚ, który wygłosił znakomitą i bardzo piękną laudację na cześć dostojnego Doktoranta. Recenzentami byli: prof. Alicja Ratuszna, także IF UŚ, prof. Hans Lüth, Forschungszentrum Jülich, Niemcy, oraz prof. Jim F. Scott, University of Cambridge, Wlk. Brytania.



Zarówno promotor w laudacji, jak i recenzenci w swych recenzjach podkreślili, że Johannes Georg Bednorz nie porzucił w swej aktywności twórczej na Nagrodzie Nobla, lecz jest wciąż niezwykle twórczym i wybitnym specjalistą w dziedzinie fizyki doświadczalnej: nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego, przejść fazowych i ferroelektrycznych właściwości perowskitów tlenkowych, tlenków metali i ich zastosowań w mikroelektronice oraz cienkich warstw i heterostruktur typu metal–izolator–metal.

Nazwisko Bednorz jest znane na Śląsku (zarówno Górnym jak i Opolskim). Wspomnijmy tu ks. biskupa Herberta Bednorza, ordynariusza Diecezji Katowickiej (przed ks. arcybiskupem Damianem Zimoniem) rodem z Gliwic. Spod Gliwic pochodzili też rodzice Johannesesa Georga Bednorza. Jego ojciec Anton pracował w kopalni „Bobrek” w Bytomiu, uczył też w polskiej szkole w Boronowie, lecz przyszły noblista i doktor h.c. Uniwersytetu Śląskiego przyszedł na świat już w Niemczech, w 1950 r. – Byłem głęboko wzruszony, kiedy dowiedziałem się o tym wyróżnieniu, bo zdałem sobie sprawę, że dzięki temu powrócę do miejsca, z którego wywodzi się moja rodzina. Myślę, że mój ojciec przyjąłby tę informację z równym entuzjazmem i siedziałby tu tak dumny, jak 20 lat temu w Sztokholmie – powiedział Bednorz na konferencji prasowej w Katowicach. Podczas pierwszej wizyty w Polsce 35 lat temu wraz z rodzicami odwiedził te miejsca w okolicach Gliwic, gdzie się oni wychowywali i spędzili młodość. W roku 1997 Bednorz – już jako noblista – był gościem wraz z trzema innymi laureatami Nagrody Nobla: Herbertem Hauptmanem (USA), Rudolfem Mössbauerem (Niemcy) i sir Haroldem Kroto (Wlk. Brytania) na pamiętnym XXXIV Zjeździe Fizyków Polskich zorganizowanym także na UŚ w Katowicach. Wszyscy czterej laureaci wygłosili wtedy na Zjeździe fascynujące wykłady. Warto tu wspomnieć, że prócz Bednorza jeszcze Kroto pochodzi z ziem polskich, mianowicie z Krotoszyna!

Trzeba tu jeszcze dodać, że zarówno ten doktorat honorowy Bednorza, jak i jego uczestnictwo we wspomnianym Zjeździe w Katowicach, jak też wreszcie jego nostalgia za krajem rodziców (za ojczyzną?), tj. za Śląskiem, stanowią obiecujący punkt wyjścia do zawiązania ściślej współpracy jego laboratorium z laboratoriami IF UŚ.

*Jerzy Warczewski*

## ■ Young-Scientist Award

Nagroda Young-Scientist Award for Socio- and Econophysics jest przyznawana przez sekcję AKSOE (Arbeitskreis Physik sozio-ökonomischer Systeme) Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego, sponsorowana przez firmę McKinsey & Company, Inc. i wynosi 5 tys. euro. Nagradzanią są młodzi naukowcy (do 40. roku życia) za oryginalny wkład w zastosowanie metod fizycznych do lepszego zrozumienia problemów socjoekonomicznych.

W roku 2007 Nagrodę otrzymała Katarzyna Sznajd-Weron (Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego) w uznaniu jej prac nad modelowaniem procesów urabiania opinii w grupach społecznych.

[www.dpg-physik.de/static/fachlich/aksoe](http://www.dpg-physik.de/static/fachlich/aksoe)

*B. W.*

## ■ Łódzkie dydaktyczne seminarium doktoranckie

Na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego od bieżącego roku akademickiego rozpoczęło działalność Ogólnopolskie Seminarium Doktoranckie dla nauczycieli fizyki. Celem Seminarium jest ich przygotowanie do starania się o uzyskanie stopnia doktora nauk fizycznych w zakresie dydaktyki fizyki, co niewątpliwie przyczyni się do podniesienia kwalifikacji polskiej kadry nauczycielskiej w naszej dziedzinie.

Szczegółowe informacje na temat Seminarium są dostępne w elektronicznym serwisie informacyjnym pod adresem [www.wfis.uni.lodz.pl/edu](http://www.wfis.uni.lodz.pl/edu).

*Michał Tadeusz Szanecki*

## ■ Kai Siegbahn (1918–2007)

20 lipca 2007 r. zmarł wybitny fizyk szwedzki Kai Manne Börje Siegbahn, laureat Nagrody Nobla (1981) z fizyki za badania w dziedzinie spektroskopii fotoelektronów.



Kai Siegbahn

Kai Siegbahn urodził się 20 kwietnia 1918 r. w Lund. Jego ojciec, Karl Manne Georg Siegbahn (1886–1978), był również laureatem Nagrody Nobla (1924), którą otrzymał za odkrycia i badania w dziedzinie spektroskopii rentgenowskiej. Główne kierunki badań Siegbahna juniora to spektroskopia promieniowania  $\alpha$ ,  $\beta$  oraz  $\gamma$ , fotoelektronów i optyka elektronowa. Stworzył nową metodykę badań struktury elektronowej atomów i cząsteczek, opracował podstawy stosowania spektroskopii elektronów w analizie chemicznej, rozwijając metodę ESCA (analizę chemiczną za pomocą spektroskopii elektronów). Był członkiem Królewskiej Szwedzkiej Akademii Nauk, jak również Norweskiej Akademii Nauk, doktorem honoris causa uniwersytetów w Durham, Bazylei i Liège, w latach 1981–83 prezesem Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP).

*B. W.*

## NOWE KSIĄŻKI

- Zbigniew Paweł Zagórski, *Sterylizacja radiacyjna z elementami chemii radiacyjnej i badań radiacyjnych*, wyd. II poprawione i uzupełnione, Inst. Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa 2007, s. 272.
- *Historia astronomii*, red. Michael Hoskin, tłum. z jęz. angielskiego Jarosław Włodarczyk, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2007, s. 368.
- Grażyna Janowska, Władysław Przygocki, Andrzej Włochowicz, *Palność polimerów i materiałów polimerowych*, WNT, Warszawa 2007, s. 340.
- K.-H. Lauterschlager, W. Schröter, A. Wanninger, *Nowoczesne kompendium chemii*, z jęz. niemieckiego tłum. Andrzej Dworak, Ewa Hawlicka, Grzegorz Mlostoń, Danuta Serwołka, red. tłumaczenia Grzegorz Mlostoń; PWN, Warszawa 2007, s. 878.
- Jan Piskurewicz, *Między nauką a polityką. Maria Skłodowska-Curie w laboratorium i w Lidze Narodów*, Wyd. UMCS, Lublin 2007, s. 248.
- Krzysztof Gęsicki, *Fizyka otoczek wokółgwiazdowych – teoria widma liniowego i rozpędzanie wiatrów*, Wyd. UMK, Toruń 2007, s. 134 + 8 nl.

## POSTĘPY FIZYKI W INTERNECIE

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

- ▶ archiwum zawierające spisy treści *PF* z lat 1949–1992 oraz szczególne spisy treści wszystkich zeszytów wydanych od 1993 r.
- ▶ materiały dodatkowe, uzupełniające treść niektórych artykułów
- ▶ materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich (Białystok, 1999 r.) i XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich (Toruń, 2001 r.)
- ▶ WYBRANE ARTYKUŁY W FORMACIE PDF, w tym:
  - wykłady noblowskie z lat 2001–05
  - zamieszczone w *Postęпах Fizyki* teksty wykładów na XXXVII Zjeździe Fizyków Polskich (Gdańsk, 2003 r.) i XXXVIII Zjeździe Fizyków Polskich (Warszawa, 2005 r.)

## WKRÓTCE W POSTĘPACH

- *Wykłady noblowskie Johna Mathera i George'a Smoota*
- *Jarosław Koperski o zimnych cząsteczkach w wiązkach naddźwiękowych i nowych testach nierówności Bella*
- *Andrzej Bielski, Franciszek Rozpłoch i Jarosław Zaremba o historii badań ciepła właściwego*

## WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2007 r. wynosi 36,00 zł za pół roku, 72,00 zł za rok. Prenumeratę przyjmują:

### I. „RUCH” S.A.

1. Wpłaty na prenumeratę przyjmują jednostki kolportażowe „RUCH” S.A. właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora.
2. Terminy przyjmowania wpłat na prenumeratę krajową: do 5 każdego miesiąca poprzedzającego okres rozpoczęcia prenumeraty.
3. Informacji o prenumeracie ze zleceniem dostawy za granicę udziela Dział Obrót Zagraniczny, ul. Jana Kazimierza 31/33, 01-248 Warszawa, tel. 022-5328731, e-mail: prenumerata@okdp.ruch.com.pl, Internet: www.ruch.pol.pl.

### II. ZARZĄD GŁÓWNY PTF

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

### III. ODDZIAŁY PTF

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

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

## INFORMACJE DLA AUTORÓW

Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być dostępne 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).

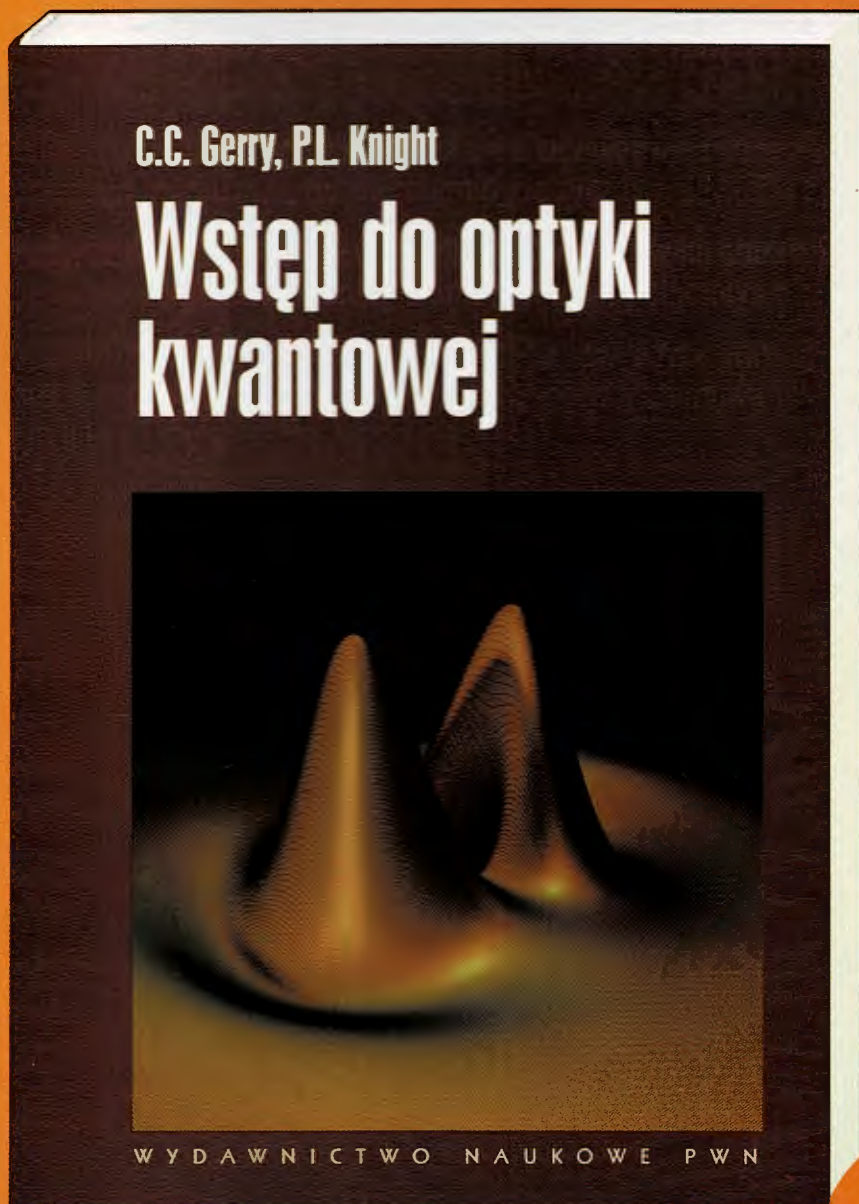
## POSTĘPY FIZYKI (ADVANCES IN PHYSICS)

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>).

# Wprowadzenie do optyki kwantowej!



**Klasyczne tematy optyki kwantowej**, takie jak:

- kwantowanie pola elektromagnetycznego
- stany spójne
- kwantowy opis oddziaływania światła z atomem

**Zagadnienia informatyki kwantowej**, a między innymi:

- optyczne testy mechaniki kwantowej
- zastosowania kwantowego splątania do przetwarzania informacji kwantowej
- kryptografia kwantowa

**NOWOŚĆ**

Wykład jest bardzo przystępny i zawiera wszelkie niezbędne podstawy do zrozumienia przedmiotu, poparte przejrzystymi ilustracjami. Walorem dydaktycznym są liczne zadania oraz obszerna bibliografia.

Rozwiązania zadań są dostępne dla wykładowców na stronie internetowej wydawcy angielskojęzycznego oryginału książki: [solutions@cambridge.org](mailto:solutions@cambridge.org)

Podręcznik przeznaczony jest dla studentów fizyki oraz fizyków zajmujących się: optyką kwantową, mechaniką kwantową, fizyką atomową, optyką atomową i cząsteczkową, fizyką laserów, spektroskopią atomową i molekularną, optoelektroniką.

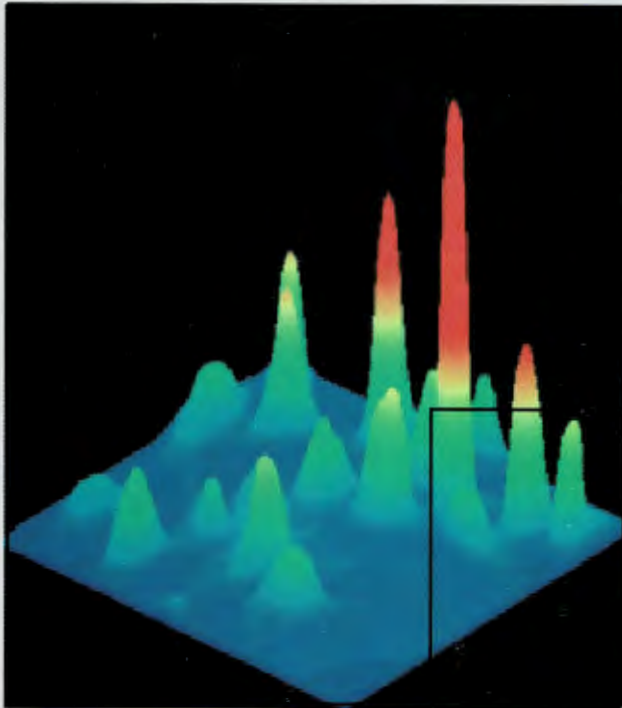
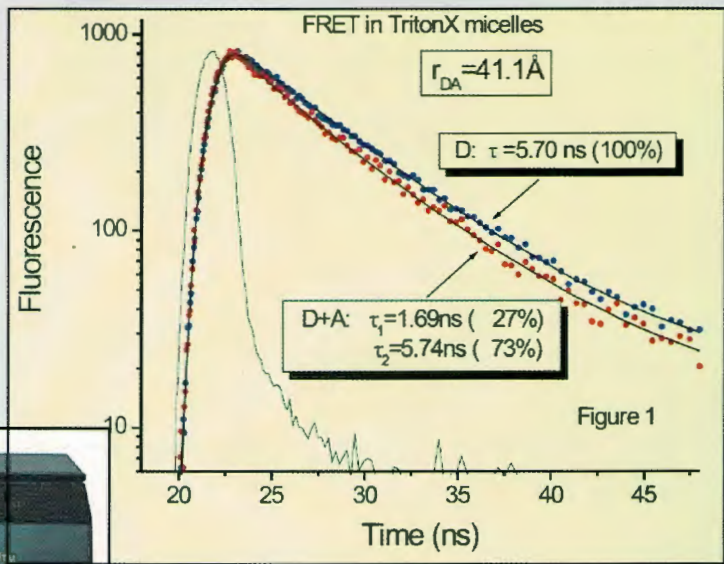
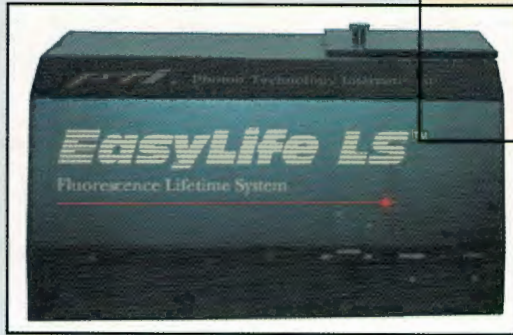
 WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

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

# EasyLife LS

Fluorescencyjny spektrometr kinetyczny

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



## ImageMaster

Mikroskopowy układ do obrazowania fluorescencji i do spektroskopii emisyjnej.

Mierzy fluorescencję i fosforescencję rozdzieloną czasowo i przestrzennie.



**Photon Technology International**

022 843 70 40  
inbox@eurotek.com.pl

*Eurotek International Sp. z o. o.*