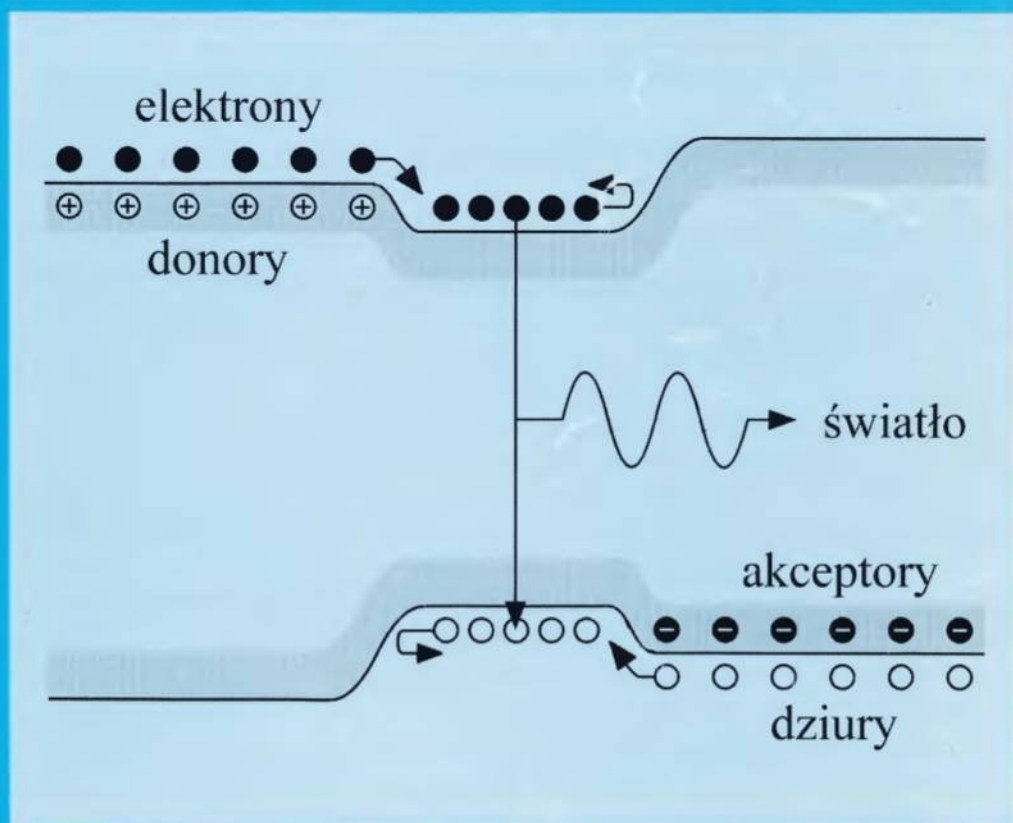


POSTĘPY FIZYKI

TOM **53** ZESZYT **1** ROK **2002**



DWUMIESIĘCZNIK
POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



JAK NAUCZYĆ ELEKTRONY NOWYCH SZTUCZEK

**CZY FIZYKA MA SZANSĘ W XXI WIEKU?
50 LAT FIZYKI NA POLITECHNICIE CZĘSTOCHOWSKIEJ
POKAZY Z REOLOGII I MAGNETOREOLOGII**

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes: Prof. Maciej Kolwas
Wiceprezesa: Prof. Katarzyna Chałasińska-Macukow
Prof. Reinhard Kulesa
Sekretarz Generalny: Prof. Aleksandra Kopystyńska
Skarbnik: Dr Marek Kowalski
Członkowie ZG: Prof. Andrzej Bielski
Prof. Stanisław Chwirot
Prof. Jan Gaj
Prof. Bernard Jancewicz
Mgr Mirosław Trociuk
Prof. Jerzy Warczewski

REDAKTORZY NACZELNI CZASOPISM PTF

Prof. Adam Sobiczewski – *Postępy Fizyki*
Prof. Jerzy Prochorow – *Acta Physica Polonica A*
Prof. Andrzej Staruszkiewicz – *Acta Physica Polonica B*
Prof. Marek Kordos – *Delta*
Prof. Andrzej Jamiołkowski
– *Reports on Mathematical Physics*
Dr Zofia Gołąb-Meyer – *Foton*

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Prof. Andrzej Maziewski (Białystok)
Prof. Ryszard Siuda (Bydgoszcz)
Dr Stanisław Tkaczyk (Częstochowa)
Prof. Eugeniusz Czuchaj (Gdańsk)
Dr Andrzej Klimasek (Gliwice)
Prof. Jerzy Warczewski (Katowice)
Prof. Zbigniew Włodarczyk (Kielce)
Prof. Reinhard Kulesa (Kraków)
Prof. Stanisław Hałas (Lublin)
Prof. Leszek Wojtczak (Łódź)
Prof. Stefan Szymura (Opole)
Prof. Andrzej Dobek (Poznań)
Prof. Aleksander Szymański (Rzeszów)
Prof. Henryk Wrembel (Słupsk)
Prof. Adam Bechler (Szczecin)
Prof. Andrzej Bielski (Toruń)
Prof. Jacek Baranowski (Warszawa)
Prof. Jerzy Czerwonko (Wrocław)
Prof. Andrzej Więckowski (Zielona Góra)

Adres Zarządu: ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, tel./fax: 621 26 68, adres elektroniczny: ptf@fuw.edu.pl,
Internet: www.fuw.edu.pl/~ptf.

POSTĘPY FIZYKI

RADA REDAKCYJNA

Andrzej K. Wróblewski (akw@fuw.edu.pl)
– przewodniczący
Jerzy Czerwonko (pelstud@netra.ac.pwr.wroc.pl)
Marek Demiański (mde@fuw.edu.pl)
Zofia Gołąb-Meyer (meyer@thp1.if.uj.edu.pl)
Stanisław K. Hoffmann (skh@ifmpan.poznan.pl)
Franciszek Kaczmarek (efka@vm.amu.edu.pl)
Józef Szudy (szudy@phys.uni.torun.pl)

KOMITET REDAKCYJNY

Adam Sobiczewski – redaktor naczelny
Tomasz Dietl
Jerzy Gronkowski
Mirosław Łukaszewski
Magdalena Staszal
Barbara Wojtowicz

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Mgr Maciej Piętka (Białystok)
Prof. Jerzy J. Wysocki (Częstochowa)
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)
Dr Roman Bukowski (Gliwice)
Prof. Wiktor Zipper (Katowice)
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)
Dr Jacek Bieroń (Kraków)
Dr Elżbieta Jartych (Lublin)
Dr Urszula Garuska (Łódź)
Dr Ryszard Czajka (Poznań)
Dr Małgorzata Klisowska (Rzeszów)
Mgr Małgorzata Kuzio (Słupsk)
Dr Janusz Typek (Szczecin)
Dr Józefina Turło (Toruń)
Mgr Aleksandra Miłosz (Warszawa)
Prof. Bernard Jancewicz (Wrocław)
Mgr Justyna Jankiewicz (Zielona Góra)

Adres Redakcji: ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, adres elektroniczny: postepy@fuw.edu.pl,
Internet: www.fuw.edu.pl/~postepy.

Ukazuje się od 1949 r.; wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne
Zeszyt dofinansowany przez Komitet Badań Naukowych
Wydano pod patronatem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Skład komputerowy w Redakcji, druk i oprawa: „UNI-DRUK”, Warszawa, ul. Buńczuk 7b

Pola quasi-elektryczne i przesunięcia pasmowe, czyli jak nauczyć elektrony nowych sztuczek*

Herbert Kroemer

University of California, Santa Barbara, USA

Quasielectric fields and band offsets: teaching electrons new tricks

Nobel Lecture, 8 December 2000, Stockholm

1. Wstęp

Heterostruktury w używanym przeze mnie tutaj sensie można zdefiniować jako niejednorodne układy zbudowane z dwóch lub więcej rodzajów półprzewodników w taki sposób, że podstawową rolę w ich działaniu odgrywa obszar przejściowy (powierzchnia graniczna, zwana też międzypowierzchnią, ang. interface) między różnymi materiałami. Często można o nich powiedzieć, że istotą układu jest powierzchnia graniczna.

Wszystkie półprzewodniki wchodzące w skład heterostruktur to pierwiastki ze środka tablicy układu okresowego (tab. 1). W centrum tego obszaru znajduje się krzem, podstawa współczesnej elektroniki. Pod nim znajduje się german. Choć jest on rzadko stosowany w postaci pierwiastka, to jednak stopy Ge-Si o właściwościach zależnych od składu odgrywają coraz ważniejszą rolę w dzisiejszej technologii heterostruktur. Historycznie biorąc, był to pierwszy zaprojektowany układ tego typu, ale zarazem przebył on najdłuższą drogę, nim dojrzał do zastosowań, głównie

z powodu 4-procentowego niedopasowania stałych sieci Si i Ge.

Tabela 1. Środkowa część tablicy układu okresowego pierwiastków, pokazująca te pierwiastki z grup II–VI, które są powszechnie stosowane we współczesnej technologii heterostruktur.

	II	III	IV	V	VI
2				N	
3		Al	Si	P	S
4	Zn	Ga	Ge	As	Se
5	Cd	In		Sb	Te
6	Hg				

Krzem odgrywa taką samą główną rolę w technologii materiałów elektronicznych jak stal w metalurgii. Jednak podobnie jak współczesna metalurgia strukturalna wykorzystuje inne metale, tak elektronika korzysta z innych półprzewodników, a mianowicie związków półprzewodnikowych. Każdy pierwiastek z grupy III można

*Wykład noblowski, wygłoszony 8 grudnia 2000 r. w Sztokholmie, został przetłumaczony za zgodą Autora i Fundacji Nobla [Translated with permission. Copyright © 2000 by the Nobel Foundation] (przyp. Red.).

skojarzyć z każdym pierwiastkiem z grupy V, tak by utworzyły tzw. związek III-V. Z pierwiastków wymienionych w tab. 1 można utworzyć 12 różnych związków tego typu. Najczęściej stosowanym spośród nich jest GaAs, arsenek galu, ale ze wszystkich wytwarza się heterostruktury, a wybór związku zależy od zastosowania. W gruncie rzeczy związki III-V są dziś prawie zawsze wykorzystywane w heterostrukturach, a nie oddzielnie.

Z dwóch lub więcej osobnych związków można utworzyć stopy. Powszechnie znanym przykładem jest arsenek glinowo-galowy, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, gdzie x jest ułamkiem liczby węzłów w sieci krystalicznej obsadzonych przez atomy Al, natomiast ułamek $1 - x$ określa liczbę węzłów zajętych przez atomy Ga. Mamy zatem nie tylko 12 poszczególnych związków, lecz ciągły zbiór materiałów. Stąd możliwe jest tworzenie heterostruktur, których skład w zależności od miejsca zmienia się w sposób ciągły, a nie skokowo.

Podobnie jak dla związków III-V, każdy pierwiastek pokazany w kolumnie II można połączyć z każdym pierwiastkiem z kolumny VI, tworząc związki II-VI; znów możliwe jest tworzenie stopów, dających ciągły zbiór tych związków.

2. Schematy pasmowe i siły quasi-elektryczne

Ilekoć wykładam fizykę układów półprzewodnikowych, jak najwcześniej staram się przekazać słuchaczom jedną z głównych spraw – wielkie znaczenie schematów struktury pasm elektronowych. Często ujmuję to w postaci lematu Kroemera o oznace niewiedzy:

jeśli omawiasz problem z dziedziny fizyki półprzewodników i nie potrafisz narysować schematu pasm energetycznych, to znaczy, że nie wiesz, o czym mówisz,

uzupełniając go przy tym o dalszą tezę:

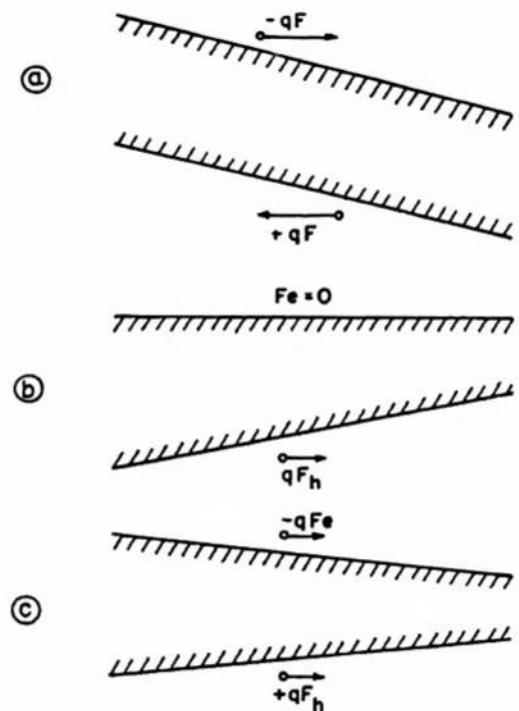
jeśli potrafisz narysować schemat pasmowy, lecz tego nie robisz, to twoi słuchacze nie będą wiedzieli, o czym mówisz.

Lemat ten nigdzie się tak dobrze nie sprawdza, jak przy analizie heterostruktur, a sztuka przewidywania ich działania opiera się w dużej mierze na umiejętności rysowania i rozumienia ich struktury pasmowej.

Aby zilustrować tę ideę, rozważmy najpierw jednorodną próbkę półprzewodnika, np. bryłkę

równomiernie domieszkowanego krzemu, do której przyłożono pole elektryczne. Schemat struktury pasmowej wygląda wówczas jak na rys. 1a – składa się po prostu z dwóch nachylonych linii równoległych, przedstawiających krawędzie pasma przewodnictwa i pasma walencyjnego. Odstęp między tymi liniami odpowiada przerwie energetycznej półprzewodnika; nachylenie obu krawędzi pasm jest równe iloczynowi ładunku elementarnego e i natężenia pola elektrycznego E . Jeśli w takiej strukturze znajdzie się elektron, to będzie nań działała siła $-eE$, jeśli zaś dziura, to siła $+eE$. Obie siły są równe co do wartości, lecz przeciwnie skierowane – ich wartość odpowiada nachyleniu pasm, a różnią się tylko znakiem.

W heterostrukturze przerwa energetyczna staje się zależna od położenia, a nachylenia obu krawędzi pasm nie są już równe, zatem obie siły przestają być równe co do wartości. Na przykład, można mieć siłę działającą tylko na nośniki jednego typu (rys. 1b) lub siły działające w tym samym kierunku na nośniki obu typów (rys. 1c). Czysto elektryczne



Rys. 1. Pola quasi-elektryczne: a) zwykle („prawdziwe”) pole elektryczne o natężeniu F , działając na nośniki siłą $\pm qF$, po prostu przechyla pasma; b) pole quasi-elektryczne może nie działać na elektrony ($F_e = 0$), a wywierać siłę (qF_h) na dziury; c) pole quasi-elektryczne może powodować ruch elektronów i dziur w tym samym kierunku [1].

siły, działające w jednorodnych kryształach, nigdy nie mogłyby dawać takich efektów, dlatego siły opisywane nazywam „quasi-elektrycznymi”. Projektantom przyrządów półprzewodnikowych oferuję one nowy stopień swobody, umożliwiając im uzyskanie efektów zupełnie nieosiągalnych przy użyciu „prawdziwych” pól elektrycznych.

Jest to podstawowa ogólna zasada konstrukcyjna wszelkich przyrządów heterostrukuralnych, po raz pierwszy sformułowana w moim artykule z 1957 r. [1]. Poprzedni akapit jest w zasadzie nieco tylko przeredagowaną wersją najważniejszego akapitu w owym artykule.

Gdy pisałem podówczas te słowa, nic nie wiedziałem o słynnym patencie Shockleya z 1951 r., gdzie *explicite* wspomniano o możliwości stworzenia bipolarnego tranzystora z emiterem o szerszej przerwie energetycznej [2]. Idea takiego emitera została jednakże – jak się wydaje – zgłoszona głównie po to, by patent objął także inne warianty konstrukcji przyrządów, co jest procedurą typową w zgłoszeniach patentowych. W patencie nie podano, dlaczego taka struktura miałaby odznaczać się wyraźnymi zaletami w stosunku do homostruktury, nie mówiąc już o porównaniu z ogólną zasadą konstrukcyjną, rozciągającą się na inne rodzaje przyrządów. Moje własne sformułowanie można by uważać za szerokie uogólnienie idei z patentu Shockleya, lecz punkt wyjścia był inny: nie skokowa zmiana szerokości przerwy energetycznej z towarzyszącymi jej schodkami struktury pasmowej, lecz zmiana płynna, z „profilowaną” szerokością; skokowa zmiana szerokości przerwy byłaby tu tylko przypadkiem granicznym.

Wracając do rys. 1b, należy podkreślić, że pokazane na nim zerowe nachylenie pasma przewodnictwa nie oznacza zerowego pola elektrycznego. Prawdziwe pole elektryczne jest oczywiście obecne i w zasadzie można je wyznaczyć przez scałkowanie równania Poissona, jeśli znane są lokalne gęstości ładunku; często nie jest to trywialne zadanie. Owo prawdziwe pole nie jest jednak elementem schematu pasmowego, a elektrony nie zwracają na nie uwagi – nie ono się liczy, lecz nachylenia krawędzi pasm. Różnica między oboma rodzajami pól staje się jeszcze drastyczniejsza na rys. 1c, gdzie nie potrafimy odgadnąć

nawet kierunku prawdziwego pola, nie mówiąc już o jego wartości.

3. Tranzystory bipolarne z heterostruktur

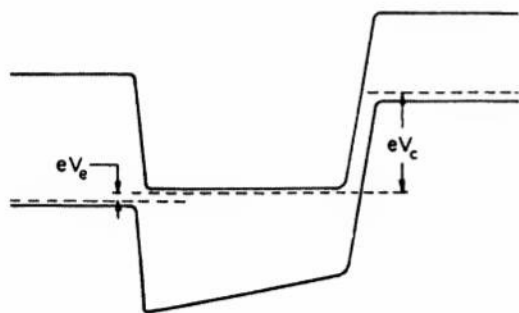
3.1. Tranzystor z płynnie zmieniającą się przerwą

Do sformułowania zasady z 1957 r. doprowadziła mnie bardzo praktyczna kwestia z lat 1953–54, gdy pracowałem w laboratorium badawczo-rozwojowym telekomunikacji (Fernmeldetechnisches Zentralamt, FTZ) należącym do Poczty Niemieckiej. Pierwsze bipolarne tranzystory złączowe były mianowicie o wiele za wolne dla zastosowań telekomunikacyjnych, postawiłem więc sobie cel badawczy: zrozumieć ograniczenie częstości i wymyślić, jak je ominąć. Jednym – lecz nie jedynym – podejściem było przyspieszenie przepływu nośników mniejszościowych z emitera do kolektora przez przyłożenie pola elektrycznego w obszarze bazy. Można było tego dokonać dzięki nierównomiernemu domieszkowaniu bazy, zmniejszającemu się wykładniczo w kierunku od emitera do kolektora; był to tzw. tranzystor dryfowy [3]. Pracując nad szczegółami projektu spostrzegłem, że

„pole dryfowe można także wytworzyć przez zmianę samej przerwy energetycznej, przez wykonanie obszaru bazy z niestechiometrycznego kryształu mieszanego z różnych półprzewodników (np. Ge-Si) o różnych szerokościach przerwy energetycznej i składzie zmieniającym się w sposób ciągły wzdłuż bazy” (przekład z pracy [4]).

Nie była to jeszcze pełna i ogólna zasada konstrukcyjna, lecz oryginalna koncepcja układu, który stał się później znany jako tranzystor HBT (od ang. heterostructure bipolar transistor); jeszcze później koncepcja ta objęła wszelkie przyrządy heterostrukuralne.

Odpowiedni schemat pasmowy (rys. 2) został podany we wspomnianej pracy z 1957 r., w której przytoczyłem ideę z roku 1954 jako przykład ogólnej zasady konstrukcyjnej. Warto zauważyć, że na rys. 2 pokazano płaskie pasmo przewodnictwa, jakie występuje dla wystarczająco silnego, jednorodnego domieszkowania; struktura pasmowa na rys. 1b odpowiadała w zasadzie obszarowi bazy z owych początkowych koncepcji. Przypadek przedstawiony na rys. 1c ilustruje ogólną zasadę konstrukcyjną.



Rys. 2. Tranzystor p-n-p z bazą o płynnie zmieniającej się przerwie energetycznej, przyspieszającą przepływ nośników mniejszościowych z emitera do kolektora [1]. Tranzystory p-n-p były ulubionym typem tranzystorów germanowych w połowie lat pięćdziesiątych XX w.

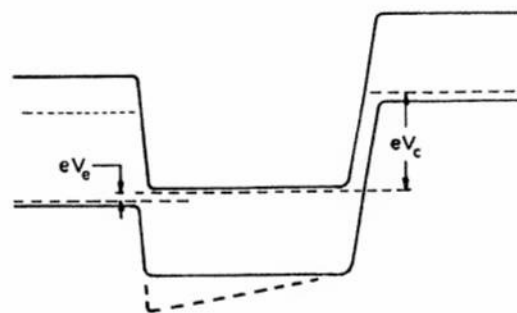
Zauważmy, że oryginalny projekt jako przykład wymieniał *explicite* układ Ge-Si, a nie układ ze związków III-V. Musiało upłynąć jeszcze ok. 40 lat, by tranzystory HBT z Ge-Si stały się wreszcie dostępne w handlu, długo po przyrządach wytworzonych ze związków III-V.

3.2. Emiter z szeroką przerwą

Zaproponowana struktura z bazą o płynnie zmieniającej się przerwie znacznie przekraczała możliwości ówczesnych technologii i sytuacja taka miała się utrzymywać przez dziesiątki lat. Jedyną możliwością, jaką potrafił dostrzec p. Alfons Hähnlein, jeden z moich kolegów, była konstrukcja, w której emiter byłby wykonany z półprzewodnika o szerszej przerwie niż w bazie, z niemal skokowym przejściem na granicy dzielącej oba obszary. Prowadziło to do schematu pasmowego jak na rys. 3, który był ponownym – acz nieświadomym – odkryciem układu Shockleya.

Było sprawą oczywistą, że w taki sposób nie uda się rozwiązać zadania włączenia pola dyfuzyjnego do bazy tranzystora. Zastanawiając się jednak nad szczegółami właściwości takiej struktury uświadomiłem sobie, że emiter z szeroką przerwą ma inne zalety [5,6]. Jednym z problemów ze wszystkimi tranzystorami bipolarnymi jest zminimalizowanie wysoce niepożądanego zjawiska wstrzykiwania nośników większościowych (elektronów w tranzystorze p-n-p) z bazy z powrotem do emitera. W tranzystorze homozłączowym warunek ten stawia ostre ograniczenia dla domieszkowania bazy, co prowadzi do innych niepożądanych skutków, np. dużego oporu wejściowego bazy. Emiter z szerokoprzerwową bazą w dużej

mierze tłumi ten prąd wsteczny. Opisując to nie w języku sił quasi-elektrycznych, lecz odpowiednich potencjałów należałoby stwierdzić, że elektrony uciekające z bazy do emitera muszą pokonać większą barierę potencjału niż dziury przedostające się z emitera do bazy. W wyniku tego gęstość prądu ucieczki elektronów zmniejsza się w przybliżeniu o czynnik $\exp(-\Delta E_g/k_B T)$, gdzie ΔE_g jest różnicą szerokości przerw energetycznych, k_B – stałą Boltzmanna, a T – temperaturą. Jest to bardzo skuteczna metoda – łatwo osiągalna różnica przerw równa 0,2 eV (ok. $8 k_B T$) oznacza zmniejszenie gęstości prądu ucieczki $e^8 \approx 3000$ razy. Dzięki temu można już obecnie znacznie silniej domieszkować bazę i zmniejszyć jej opór R , co przy nieuniknionej niezerowej pojemności elektrycznej C złącza zmniejsza stałą czasową RC przyrządu, a zatem zwiększa jego prędkość działania. Idea emitera z szeroką przerwą zdominowała technologię HBT dzięki swej znacznie większej prostocie niż z bazą o płynnie zmiennej szerokości przerwy, lecz w tranzystorach HBT o najlepszych parametrach wykorzystuje się dzisiaj obie konstrukcje [7].



Rys. 3. Emiter z szeroką przerwą. Zmiana szerokości przerwy energetycznej została zawężona do niemal schodkowego przejścia na granicy emiter-baza. Obszar bazy ma w dalszym ciągu jednorodną przerwę energetyczną, bez quasi-pola wspomagającego przenoszenie ładunków, lecz teraz występuje bariera potencjału dla ucieczki elektronów z bazy do emitera, większa od bariery dla dziur przedostających się do bazy z emitera.

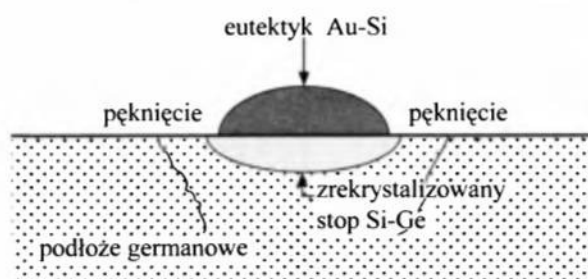
3.3. Ciąg dalszy

Z powodu braku jakiegokolwiek wiarygodnej technologii zarzuciłem swe idee z 1954 r. aż do roku 1957, gdy przenieśliśmy się do Laboratoriów RCA w Princeton w stanie New Jersey. Zdałem sobie sprawę z ogólności powyżej naszkicowanej konstrukcji i napisałem wzmiankowany artykuł do

RCA Review [1]. Został on niemal całkowicie zignorowany, nie tylko dlatego, że *RCA Review* był mało znanym czasopismem, lecz pewnie w większej mierze dlatego, że ja sam w moich następnych artykułach nigdy nie podawałem do niego bezpośrednich odnośników (podobnie jak do jego poprzednika z roku 1954); zmieniło się to dopiero po ok. 40 latach [8]. Ogólna koncepcja konstrukcyjna została szczegółowo przedyskutowana w artykule przeglądowym z 1982 r. o tranzystorach HBT [6], lecz bez odniesienia do artykułów z roku 1954 i 1957.

Artykuł z roku 1957, który jest szeroko cytowany, to druga praca, w której podałem szczegółową analizę wersji tranzystora HBT z szerokoprzerwowym emiterem [5]. Przyciągnęła ona znaczną uwagę, ponieważ została opublikowana w bardziej znanym czasopiśmie, i w latach 60. zainspirowała kilka innych grup do prób realizacji takiej wersji HBT. Niestety, technologia nie była jeszcze gotowa i żadna z tych pierwszych prób nie doprowadziła do niczego użytecznego. Na początku lat 70. panowało chyba przekonanie, że przyrządów takich nie uda się zrealizować.

Pracując w RCA, podjąłem także nieudaną próbę skonstruowania tranzystora germanowego z emiterem ze stopu Ge-Si; jest to chyba historia wystarczająco zabawna (a przy tym charakterystyczna dla stanu technologii w 1957 r.), by ją tu opowiedzieć [9]. Pomysł polegał na wykorzystaniu faktu, że wykres fazowy Au-Si wyróżnia się eutektykiem o niskiej temperaturze topnienia (370°C). Przygotowałem taki eutektyk, rozbiłem młotkiem stosunkowo kruchy materiał na gruboziarnisty proszek, umieściłem jego ziarenka na kawałku Ge i utworzyłem stop przez podgrzanie całości do temperatury $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$. Stop Au-Si wtopił się przy tym do kawałka Ge, nieco go rozpuszczając. Po ochłodzeniu emiter ze stopu Ge-Si uległ rekrytalizacji (rys. 4). Udało mi się otrzymać dwa lub trzy działające tranzystory, ale z reguły duże odkształcenia termiczne powstałe podczas zestalania się eutektyka wywoływały pęknięcia całego kawałka. Próba była do tego stopnia nieudana, że nigdy nie opublikowałem wyników tej pracy. Dietrich i Jötten, którzy o niej wiedzieli, usiłowali ją kontynuować [10], lecz technologia ta była w oczywisty sposób mało obiecująca i tranzystory HBT ze stopu Si-Ge musiały jeszcze poczekać kilkadziesiąt lat na praktyczną realizację.



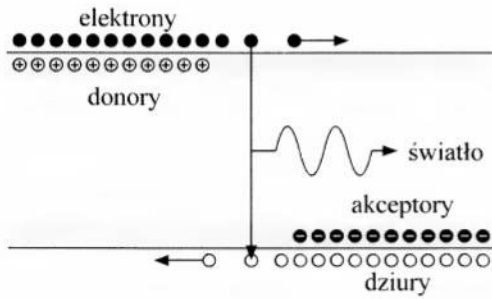
Rys. 4. Próba realizacji tranzystora germanowego z emiterem ze stopu Ge-Si. Kawalek eutektyka Au-Si został wtopiony do bazy z Ge, tworząc po ochłodzeniu emiter z Si-Ge [9].

4. Laser z podwójną heterostrukturą

Ani tranzystor HBT z płynnie zmieniającą się przerwą, ani z szerokoprzerwowym emiterem nie wykorzystują w pełni siły idei wyrażonej w ogólnej zasadzie konstrukcyjnej, głoszącej, że pola quasi-elektryczne pozwalają konstruktorowi przyrządów uzyskać efekty niemożliwe do otrzymania za pomocą samych „prawdziwych” pól elektrycznych. Stanowią duże osiągnięcie, to prawda, ale czy są czymś zasadniczo niemożliwym do otrzymania w inny sposób?

Przykład czegoś, czego naprawdę nie można było osiągnąć inaczej, pojawił się nagle w marcu 1963 r. Pracowałem wtedy w firmie Varian Associates w Palo Alto i pewien kolega – dr Sol Miller – bardzo się zainteresował nowymi laserami na złączach półprzewodnikowych, które zaczęły się pojawiać od 1962 r.; tematyka ta nie wchodziła wówczas w zakres moich zainteresowań. Podczas sympozjum na ten temat dokonał pięknego przeglądu dotychczasowych osiągnięć, nie omieszkawszy podkreślić, że udana akcja laserowa jest związana albo z niską temperaturą, albo krótkotrwałymi impulsami o małej mocy, a zwykle i jednym, i drugim. Zapytany, jakie są szanse zapewnienia ciągłego działania lasera w temperaturze pokojowej, Miller odparł, że niektórzy eksperci uważają to za rzecz fundamentalnie niemożliwą.

Prześledzenie podawanego wówczas uzasadnienia jest pouczające. Rozważmy (bardzo uproszczone) schemat pasm energetycznych złącza p-n z arsenku galu, silnie domieszkowanego po obu stronach i do tego stopnia spolaryzowanego w kierunku przewodzenia, że spełniony jest warunek płaskiego dna pasma (rys. 5). Elektrony dyfun-

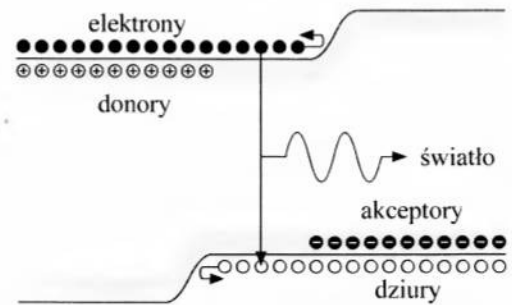


Rys. 5. Schemat pasm energetycznych złącza p-n spolaryzowanego w kierunku przewodzenia, tak by spełniało warunek płaskiego pasma. Wytworzona duża koncentracja par elektron-dziura w sąsiedztwie płaszczyzny złącza prowadzi do emisji promieniowania rekombinacyjnego.

dują wówczas z obszaru typu n do obszaru typu p, a dziury – w kierunku przeciwnym, wskutek czego powstaje pewna koncentracja par elektron-dziura w obszarze właściwego złącza; ich rekombinacja powinna prowadzić do emisji światła. Aby jednak zainicjować akcję laserową, trzeba wytworzyć odwrócenie obsadzeń, co oznacza, że w obszarze aktywnym prawdopodobieństwo obsadzenia najniższych stanów w pasmie przewodnictwa musi być większe niż dla najwyższych stanów w pasmie walencyjnym. Warunkiem koniecznym takiej inwersji obsadzeń jest przyłożenie w kierunku przewodzenia napięcia elektrycznego większego od E_g/e , gdzie E_g jest szerokością przerwy energetycznej. Jednak nawet wówczas w zwykłym złączu p-n trudno jest uzyskać inwersję obsadzeń. Przede wszystkim, koncentracja elektronów w obszarze aktywnym będzie zawsze mniejsza niż w obszarze typu n; analogiczne ograniczenie dotyczy dziur. Inwersja wymaga zatem zdegenerowanego domieszkowania w obu obszarach, ale nawet wówczas zarówno elektrony jak i dziury natychmiast dyfundowałyby z obszaru aktywnego do sąsiedniego, przeciwnie domieszkowanego obszaru, uniemożliwiając powstanie inwersji populacji. Zwiększanie napięcia w kierunku przewodzenia niewiele by pomogło, bo zwiększyłyby tempo wypływu nośników w tym samym stopniu, co szybkość ich wstrzykiwania.

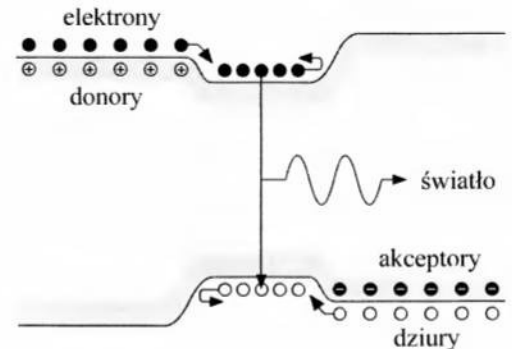
Natychmiast zaprotestowałem przeciwko temu rozumowaniu, używając słów w rodzaju: „ależ to bzdura, wystarczy przecież poszerzyć przerwę energetyczną w obszarach wstrzykiwania”. Jak pokazano na rys. 6, taka zmiana spowodowałaby pojawienie się po stronie p⁺ pola quasi-elektrycznego, odpychającego elektrony, oraz podobnej ba-

riery odpychającej dziury po stronie n⁺; udałoby się zatem uwięzić ładunki.



Rys. 6. Uwięzienie nośników ładunku w podwójnej heterostrukturze, spowodowane wytworzeniem quasi-elektrycznych barier potencjału na końcach obszaru aktywnej emisji światła, uniemożliwiających wypływ wstrzykniętych elektronów i dziur bez zakłócania dopływu nośników większościowych z obszarów wtryskiwania.

Przy dalszym zwiększaniu polaryzacji w kierunku przewodzenia tworzą się studnie potencjału zarówno dla elektronów jak i dziur (rys. 7),

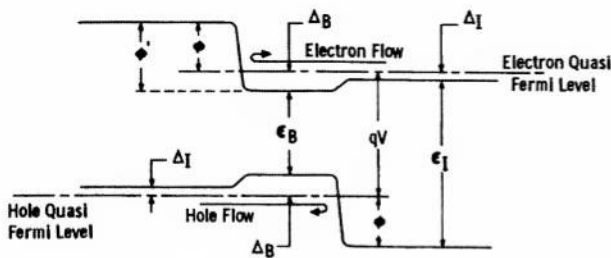


Rys. 7. Przy dalszym zwiększaniu napięcia w kierunku przewodzenia tworzą się studnie potencjału dla elektronów i dziur, umożliwiające gromadzenie się wstrzykniętych nośników, które osiągają znacznie wyższe, zdegenerowane koncentracje niż w obszarach wstrzykiwania.

a siły quasi-elektryczne po obu stronach pchają i elektrony, i dziury w kierunku obszaru aktywnego. W wyniku tego zarówno koncentracja elektronów jak i dziur może stać się znacznie większa niż poziomy domieszkowania w obszarach styku i wytworzenie inwersji obsadzeń koniecznej do akcji laserowej staje się nie tylko możliwe, ale wręcz łatwe. Taki laser z podwójną heterostrukturą (DH, od ang. double-heterostructure) wreszcie stanowił przyrząd naprawdę niemożliwy do skonstruowania za pomocą jedynie zwykłych pól elektrycznych, występujących w homostruktu-

rach; warto zauważyć, że jego koncepcja powstała w zasadzie natychmiast, w chwili, gdy uświadomiono mi, że jest z tym pewien problem.

Przygotowałem artykuł opisujący ideę DH jednocześnie ze zgłoszeniem patentowym. Artykuł złożyłem do *Applied Physics Letters*, lecz został odrzucony. Przekonano mnie, że bym nie walczył z odmowną decyzją, lecz wysłał pracę do *Proceedings of the IEEE*, gdzie został wprawdzie opublikowany [11], lecz potem powszechnie zignorowany. Na rysunku 8 pokazano zamieszczony w nim schemat pasmowy. Patent został udzielony w 1967 r. [12]. Jest on chyba lepszą pracą niż list do *Proc. IEEE*. Jego ważność wygłosiła w 1985 r.



Rys. 8. Oryginalny schemat pasmowy lasera na podwójnej heterostrukturze z pracy [11]. Opisy oznaczają „przepływ elektronów”, „elektronowy quasi-poziom Fermiego”, „dziurowy quasi-poziom Fermiego” i „przepływ dziur”.

Raz jeszcze idea dalece wyprzedzała technologię realizacji. Lasery na DH działające w sposób ciągły w temperaturze pokojowej zostały w końcu skonstruowane w roku 1970, najpierw przez Alfiorowa i in. [13], a wkrótce potem przez Hayashiego i in. [14]. Historia prac doświadczalnych jest opisana w artykułach [15–17].

Z powodów omówionych dalej nie mogłem już sam wziąć udziału w technologicznej realizacji tej koncepcji. Przez następne 10 lat prowadziłem badania zjawiska Gunna, a do heterostruktur wróciłem w połowie lat 70.

5. Jak nie należy oceniać nowej technologii

Gdy zaproponowałem rozwijanie technologii lasera na DH, odmówiono mi środków na realizację projektu, uzasadniając to słowami: „przyrząd taki nie może mieć żadnych praktycznych zastosowań” lub podobnymi o takim właśnie sensie.

W retrospektywie widać oczywiście, jak bardzo ta diagnoza była błędna.

Był to właściwie klasyczny przypadek oceny zasadniczo nowej technologii nie na podstawie nowych zastosowań, które może ona stworzyć, lecz jedynie tego, co może zrobić dla już istniejących. Jest to niezwykle krótkowzroczne, lecz problem jest powszechny i równie stary jak historia techniki. Laser na DH był po prostu kolejnym przykładem w długim szeregu tego typu pomyłek, nie będzie też ostatnim. Uważam zatem, że warto powiedzieć parę słów o takich kontrowersjach.

Wszelkie bliższe przyjrzenie się historii rozwoju cywilizacji dostarcza przygniatających dowodów na coś, co w innym miejscu nazwałem lematem nowej technologii [18]:

podstawowe zastosowania każdej wystarczająco nowej i innowacyjnej technologii zawsze były – i będą – zastosowaniami stworzonymi przez tę technologię.

Z reguły takie zastosowania istotnie się pojawiały (laser na DH jest dobrym, świeżym przykładem), choć zwykle nie natychmiast. Oznacza to jednak, że gdy oceniamy potencjał zastosowań nowej technologii, musimy wybiegać daleko w przeszłość. Nie należy jej oceniać na podstawie tego, jak pasuje do już istniejących zastosowań; pod tym względem nowe odkrycie może mieć – w rywalizacji z dobrze ugruntowaną technologią – niewielkie szanse wykorzystania. Odrzucenie jej z tego powodu, że nie są znane jej zastosowania, ograniczy postęp do tylko tych, które wyrosną z dotychczasowej technologii.

Nie sądzę, byśmy potrafili realistycznie przewidzieć, jakie nowe przyrządy i zastosowania mogą się pojawić, lecz wierzę, iż możemy stworzyć warunki sprzyjające postępowi, jeśli nie zawsze będziemy się natychmiast dopytywać, do czego może być przydatna każda nowa nauka (i obcinać fundusze, jeśli nie nasuwa się zaraz odpowiedź pełna atrakcyjnych obietnic). Musimy zwłaszcza uświadomić ten historyczny fakt zarządom agend finansowania nauki. Może to nie być łatwe, ale jest konieczne. Przy poszukiwaniu zastosowań musimy brak takiej odpowiedzi uznawać za odpowiedź akceptowalną, poszukiwanie możliwości zastosowań należy zaś uważać za element samych badań naukowych, a nie z góry obiecanych ich wyniku. Nikt nie wyraził tej kwestii lepiej od Davida Mermina

w jego niedawnym manifeście tzw. badań strategicznych [19]: „Czekam na dzień, w którym ludzie zrozumieją, iż do odkrycia nie prowadzi decyzja o jego dokonaniu, a następnie jej realizacja”.

Czego natomiast nigdy nie wolno zaakceptować – a więc od czego musimy się powstrzymać – to próby usprawiedliwienia badań ocierających się o niewiarygodność obietnicami mitycznego postępu w istniejących zastosowaniach. Większość spośród takich perspektyw można od razu odrzucić, bo nie wyglądają na prawdopodobne; za to prowokują zarzuty o braku realizmu, dyskryminując tym samym cały projekt. Na zakończenie trzeba podkreślić, że postęp w zastosowaniach nie jest deterministyczny, lecz oportunistyczny, czyli oparty na wykorzystywaniu do nowych zastosowań wszystkiego, co akurat przyniesie ze sobą nowa wiedza i technologia.

6. Ograniczenia

6.1. Dopasowanie sieciowe

Zajmijmy się teraz niektórymi problemami konstruowania heterostruktur.

Gdy wytworzymy układ z dwóch materiałów o bardzo różniących się parametrach sieciowych, to niezależnie od tego, czy będą one się różniły w sposób płynny, czy nie, wraz ze zwiększaniem grubości nałożonej warstwy powstają wielkie odkształcenia, aż wytworzą się dyslokacje niedopasowania, nie będące w żadnym wypadku defektami o zbawiennym działaniu. Stąd bardziej niż oczywiste jest dążenie do dopasowania sieci. Problem ten traci nieco na znaczeniu we współczesnych strukturach, wykorzystujących bardzo cienkie warstwy (zob. dalej), ale nawet tam przypadek sieci dopasowanych stanowi koncepcyjny punkt wyjścia.

Rola dopasowania sieci była doceniana niemal od samego początku, zwłaszcza dla takich przyrządów bipolarnych, jak lasery. W moim patencie z 1967 r. na laser na DH [12] podałem tabelę, wymieniającą liczne półprzewodniki w kolejności zwiększającej się stałej sieci (tab. 2). Towarzyszący jej w patencie tekst wskazywał na pary półprzewodników o niedopasowaniu sieciowym mniejszym od 0,01 Å (co odpowiada względnie niedopasowaniu ok. 0,2%) jako najbardziej obiecujące kombinacje, podkreślając ważność wa-

runku dobrego dopasowania. Wspomniano jednak *explicite* o możliwości osiągnięcia dopasowania sieciowego dzięki utworzeniu stopu.

Tabela 2. Część tabeli półprzewodników z roku 1963 uporządkowanych według stałych sieci a [12]. W trzeciej kolumnie podano wzrost stałej sieci w stosunku do poprzedniego materiału. Warto zauważyć, że nie wprowadzono rozróżnienia między pierwiastkami z IV kolumny układu okresowego, związkami III-V i związkami II-VI. Ponadto stała sieci AlAs z 1963 r. była podana błędnie – właściwa jej wartość w temperaturze pokojowej (5,661 Å) jest o 0,02 Å większa niż dla GaAs, a różnica jest znacznie mniejsza w typowej temperaturze wzrostu tych kryształów. (Pokazano tylko półprzewodniki do ZnSe; pełną tabelę z 1963 r. można znaleźć w pracy [8]).

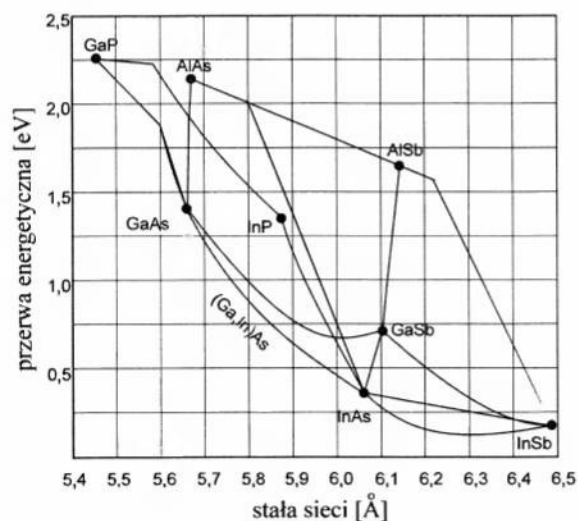
Półprzewodnik	a [Å]	Δa [Å]
ZnS	5,406	—
GaP	5,450	0,022
Si	5,428	0,022
AlP	5,46	0,01
AlAs	5,63	0,17
GaAs	5,653	0,02
Ge	5,658	0,005
ZnSe	5,667	0,009
...

Jest ironią losu, że w literaturze z 1963 r. wartość stałej sieci AlAs była błędna. Wskutek tego początkowo wydawało się, że para GaAs-AlAs nie spełnia postawionego ostrego warunku, a ogólnie znana kiepska odporność AlAs na tlen jeszcze pogarszała jego ocenę. Upłynęło trochę czasu, zanim dostrzeżono jego możliwości, nie tyle jako związku binarnego, ile w postaci stopu z GaAs, co w znacznym stopniu usunęło problemy z utlenianiem i zmniejszyło niedopasowanie sieciowe do zupełnie marginalnego poziomu.

Bardziej pouczającym sposobem przedstawiania informacji zawartych w tab. 2, obejmującym również stałe sieci, jest diagram, nazywany przez niektórych spośród nas mapą świata – obraz zależności szerokości przerwy energetycznej interesujących półprzewodników od ich stałych sieci, z liniami reprezentującymi stopy podwójne (rys. 9).

Nieustająca dominacja układu ze stopem (Al,Ga)As w pracach nad heterostrukturami jest

w dużej mierze związana z „wielkim krystalograficznym zbiegiem okoliczności”, dzięki któremu AlAs i GaAs mają praktycznie taki sam parametr sieci. To naturalne dopasowanie sieciowe oznacza w szczególności, że łatwo dostępne jest idealne podłoże dla wzrostu takich heterostruktur, mianowicie objętościowy GaAs, który można otrzymać jako monokrystały o wysokiej jakości i z niewielką gęstością dyslokacji, zwłaszcza w półizolującej postaci. Jeśli istnieje choćby jeden niedobry aspekt układu (Al,Ga)As, to jest nim nieprzyjemne powinowactwo chemiczne glinu do tlenu, będące źródłem wielu reszkowych defektów w (Al,Ga)As. W ślad za moją własną sugestią z 1983 r. [7], jako alternatywa do (Al,Ga)As pewną popularnością cieszy się ostatnio wykorzystanie (Ga,In)P dopasowanego sieciowo do GaAs, zwłaszcza w tranzystorach HBT, dla których układ pasm na powierzchni granicznej (Ga,In)P-GaAs jest korzystniejszy niż w (Al,Ga)As-GaAs.



Rys. 9. Część „mapy świata”, przedstawiająca zależność szerokości przerwy energetycznej różnych związków III-V od stałej sieci. Diagram nie pokazuje ani „kontynentów Starego Świata” z kolumny IV układu okresowego i dla półprzewodników II-VI, ani „Nowego Świata” azotków.

Drugim naturalnym podłożem jest fosforek indu, szeroko używany zarówno do zastosowań optoelektronicznych jak i do szybkich przyrządów, wymagających węższych przerw energetycznych niż w GaAs. Nie ma podwójnego związku III-V dopasowanego sieciowo do InP, lecz mimo to jest on powszechnie używany w przyrządach

półprzewodnikowych z wielu kombinacji stopów, od (Ga,In)As po Al(As,Sb).

Wraz z pojawieniem się studni kwantowych, supersieci i innych struktur wymagających bardzo cienkich warstw, temat odkształceń wprowadzanych przez niedopasowanie sieciowe stracił nieco ze swej tyrańskiej dominacji. W wystarczająco cienkich strukturach można nagromadzić zadziwiająco wielkie odkształcenia bez tworzenia dyslokacji, do tego stopnia, że ważną, autonomiczną zasadą konstrukcyjną przyrządów stała się modyfikacja pasm energetycznych heterostruktury przez celowe wprowadzanie odkształcenia. Najnowsza ewolucja udanych tranzystorów HBT na stopach Si-Ge jest chyba najbardziej spektakularnym tryumfem tej idei (zob. np. [20,21]), lecz niewiele mu ustępują inne przykłady, zarówno wśród tranzystorów polowych (FET-ów) jak i przyrządów fotonicznych. Niektóre z najświeższych osiągnięć w dziedzinie samoorganizujących się kropek kwantowych są bezpośrednio oparte na wykorzystaniu odkształceń już podczas procesu wzrostu kryształów.

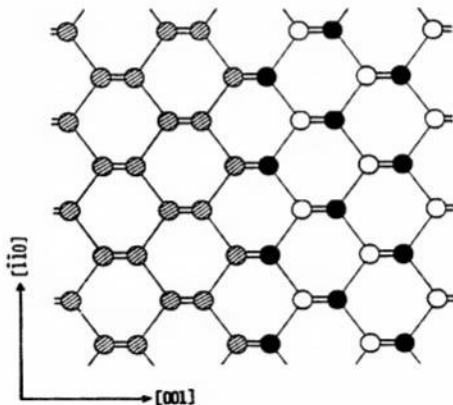
6.2. Dopasowanie walencyjne

Gdyby dopasowanie sieciowe było jedynym ograniczeniem, to idealna byłaby heterostruktura Ge-GaAs, jak zresztą wielu z nas – ze mną włącznie – wierzyło we wczesnych latach 60. W owych czasach najlepiej ze wszystkich udanych działały heterozłącza germanu na arsenku galu, badane przez Andersona [22], co zapowiadało świetlaną przyszłość dla tego układu (określenie „heterojunction” padło po raz pierwszy chyba właśnie w artykułach Andersona). Ideę tę odzwierciedla tab. 2, proponująca umieszczanie związków III-V, II-VI i półprzewodników z grupy IV w wspólnej tabeli i sugerująca, że najbardziej obiecującym kandydatem jest połączenie GaAs-Ge. Potrzeba było kilku lat, by sobie uświadomić, że jest to ślepa uliczka – i zrozumieć, dlaczego.

Nie jest to ani kwestia niezgodności chemicznej, ani nawet efektów wzajemnego domieszkania. Wiązania kowalencyjne między Ge z jednej strony, a Ga lub As z drugiej tworzą się łatwo, lecz są one – chciałoby się rzec – niedopasowane walencyjnie; ten proponowany przeze mnie termin oznacza, że liczba elektronów dostarczanych przez atomy nie jest równa kanonicznej liczbie dokładnie dwóch elektronów na jedno wiąza-

nie kowalencyjne. Stąd same wiązania nie są elektrycznie obojętne, co zauważyli po raz pierwszy w 1978 r. Harrison i in. w swym artykule [23], należącym do „lektury obowiązkowej” przedmiotu.

Rozważmy hipotetyczną, wyidealizowaną, prostopadłą do krystalograficznego kierunku [001] – czyli „zorientowaną na (001)” – powierzchnię graniczną między germanem i arsenkiem galu, przy czym Ge znajduje się po lewej stronie matematycznej powierzchni rozdziału, a GaAs – po prawej (rys. 10). W arsenku galu atom As wnosi 5 elektronów (czyli 5/4 na wiązanie) i jest otoczony 4 atomami Ge, z których każdy wnosi 3 elektrony (3/4 na wiązanie), co się sumuje do właściwej liczby $8/4 = 2$ elektronów na wiązanie kowalencyjne Ga-As. Gdy jednak na powierzchni granicznej (001) atom As ma za partnerów w wiązaniach atomy Ge, każdy z nich wnosi po jednym elektronie na wiązanie, czyli w sumie wnoszą one o pół elektronu za dużo. Mówiąc nieprecyzyjnie, atom As „nie wie”, czy jest składnikiem GaAs, czy donorem w Ge.



Rys. 10. Odstępstwo od elektrycznej obojętności na „matematycznie płaskiej”, zorientowanej na (001) powierzchni granicznej Ge/GaAs. Różne obiekty atomowe – atomy Ga (białe kółka), As (czarne) i Ge (zakreśkowane) – nie wnoszą liczby elektronów właściwej dla utworzenia obojętnej elektrycznie wiązań kowalencyjnych Ga-Ge lub As-Ge z dwoma elektronami na wiązanie [23].

Wskutek tego każde wiązanie Ge-As działa jak donor o ułamkowym ładunku, a każde wiązanie Ge-Ga – jak akceptor o przeciwnym ładunku ułamkowym. Aby powierzchnia graniczna Ge-GaAs była elektrycznie obojętne, musiałaby mieć jednakową liczbę ładunków obu znaków, nie tylko w sensie uśrednienia po dużych obsza-

rach, lecz także lokalnie. Ze względu na preferencje wiązań chemicznych taki rozkład ładunku nie pojawi się w sposób naturalny podczas wzrostu epitaksjalnego. Gdyby występowały tylko wiązania jednego typu, jak na rys. 10, to ładunek na powierzchni granicznej wytworzyłby pole elektryczne o natężeniu $4 \cdot 10^7$ V/cm. Tak ogromne pole wymusiłoby przemieszczenia układów atomów podczas wzrostu, dążąc do zrównania liczby wiązań Ge-As i Ge-Ga. Takie przestawienia nie mogłyby się jednak nigdy zakończyć, lecz pozostałyby nieokreślone, lokalnie fluktuujące ładunki resztkowe, o zabójczych konsekwencjach dla jakichkolwiek zastosowań danego przyrządu. Powierzchnie graniczne z idealnym wyrównaniem ładunku wiązań łatwo rysuje się na papierze, ale w praktyce zawsze pozostają pewne lokalne odstępstwa od idealnej kompensacji, prowadzące do statystycznie rozłożonych, pogarszających parametry przyrządu fluktuacji potencjału wzdłuż powierzchni granicznej.

Chociaż Harrison i in. omawiają tylko powierzchnię GaAs-Ge, ich rozumowanie stosuje się także do innych powierzchni granicznych, dzielących półprzewodniki z różnych kolumn tablicy układu okresowego. W szczególnym przypadku wzrostu związku półprzewodnikowego na półprzewodniku jednoskładnikowym z IV kolumny powstaje dodatkowy problem domen antyfazowych po stronie związku (zob. np. [24]).

Powyższe rozważania dotyczyły najczęściej stosowanych powierzchni (001). Ładunek powierzchniowy na granicy między obszarami waleńcyjnie niedopasowanymi zależy jednak także od orientacji krystalograficznej. Wright i in. wykazali, że idealna powierzchnia graniczna (112) nie wykazuje ani ładunku elektrycznego, ani domen antyfazowych [25,26]. Udało się też otrzymać powierzchnie GaP na Si, które miały wystarczająco małą koncentrację defektów, by mogły działać jako emitery w tranzystorach HBT. Ich wydajność była jednak wciąż zbyt kiepska i badania przerwano.

7. Epitaksja z wiązek molekularnych i heterostruktury skokowe

Działanie lasera na DH z roku 1970 osiągnięto dzięki epitaksji z fazy ciekłej (LPE), technologii o pięknej prostocie, ale też poważnych ogranicze-

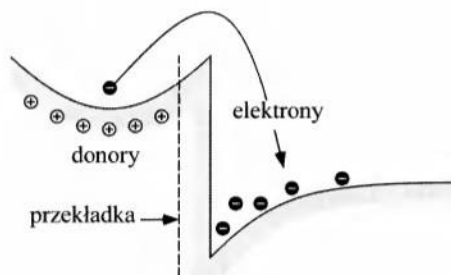
niach. Wielki technologiczny przełom w dziedzinie heterostruktur nadszedł dopiero wraz z pojawieniem się epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) jako praktycznej technologii wzrostu kryształów; jej pionierem był w dużej mierze Al Cho, a później opracowano jeszcze metodę epitaksji z fazy gazowej związków organometalicznych. W przeciwieństwie do LPE, technologia MBE umożliwiła łączenie szerokiego zakresu półprzewodników, nawet w tak heterowalencyjnych kombinacjach, jak GaP lub GaAs na Si. Zaoferowała ona ponadto bardzo wysoki stopień dobierania lokalnego składu, prawie w skali jednej warstwy atomowej. Nagle potrafilismy doświadczać niemal każdy schemat pasmowy, jaki mogliśmy narysować, przynajmniej w kierunku wzrostu (inżynieria w płaszczyźnie na podobną skalę pozostaje do dziś nieuchwytnym celem). Około roku 1980 postęp w dziedzinie heterostruktur był już tak duży, że – zaproszony na konferencję – mogłem wygłosić wykład pod prowokującym tytułem „Heterostruktury dobre na wszystko – zasada konstrukcji przyrządów lat 80.” [27]. Jak się okazało, była to trafna przepowiednia.

W szczególności możliwe stało się wytwarzanie heterozłączy rozdzielonych powierzchnią graniczną o grubości rzędu jednej warstwy atomowej. Oznaczało to, że dwa heterozłącza można umieścić dostatecznie blisko siebie, by zjawiska kwantowe w przestrzeni między nimi stały się istotne i by można było je wykorzystać w przyrządach nowych typów. Najbardziej oczywistym kierunkiem rozwoju były studnie kwantowe (QW), zwłaszcza w zastosowaniach laserowych, wkrótce zdominowanych przez lasery na studniach kwantowych. Obserwowaliśmy jednak także rosnące wykorzystywanie heterostruktur w przyrządach innych niż bipolarne, co w gruncie rzeczy oznaczało posługiwanie się ogólną zasadą konstrukcyjną pola quasi-elektrycznego poza początkowym zakresem jej stosowania.

Pierwszym przykładem jest użycie par barier w rezonansowych diodach tunelowych, stosowanych w źródłach fal w.c.z. aż do zakresu subterahercowego. Drugim może być idea Esakiego i Tsu użycia okresowej supersieci z heterostruktur jako quasi-objętościowego ośrodka o ujemnym oporze i jeszcze wyższej granicy częstotliwości [28].

Chciałbym jeszcze podać przykład mniej oczywistego nowego pomysłu, domieszko-

wania modulacyjnego, opracowanego przez Dingle'a i in. [29]. Rozważmy heterozłącze, w którym domieszkowana jest tylko strona o wyższym pasmie przewodnictwa (rys. 11). Skierowany w dół schodek potencjału quasi-elektrycznego na powierzchni granicznej zmusi elektrony do przejścia do niższego pasma przewodnictwa po drugiej stronie. Gdy elektrony przedostaną się poza zasięg schodka quasi-elektrycznego potencjału, wciąż jeszcze czują zwykle pole elektryczne związane z przyciąganiem kulombowskim przez donory, które zostały po przeciwnej stronie. Przyciąga to elektrony do powierzchni granicznej, prowadząc do powstania dwuwymiarowego gazu elektronowego (ang. 2DEG) wewnątrz z grubsza trójkątnej studni kwantowej. Ponadto – co jest jeszcze ważniejsze – ponieważ elektrony zostały przestrzennie rozdzielone od „swoich” donorów, rozpraszanie na domieszkach jest słabsze, a ruchliwość elektronów rośnie. Aby te korzyści uczynić jak największymi, wzdłuż powierzchni granicznej pozostawia się obszar niedomieszkowanej „przekładki”.



Rys. 11. Domieszkowanie modulacyjne. Na heterozłączu schodkowym elektrony dostarczone przez donory po stronie większej energii przepływają na stronę o mniejszej energii, tworząc tam quasi-dwuwymiarowy gaz elektronowy. Ponieważ teraz elektrony są przestrzennie rozdzielone od donorów, rozpraszanie na domieszkach jest słabsze, zwłaszcza jeśli po stronie o większej energii wstawić niedomieszkowaną przekładkę. Pokazana krzywizna pasma jest związana z ładunkami przestrzennymi po obu stronach powierzchni granicznej.

Idea ta miała niezwykle daleko idące konsekwencje zarówno dla konstrukcji przyrządów półprzewodnikowych jak i w podstawowej fizyce ciała stałego. W dziedzinie przyrządów stała się podstawą nowej klasy tranzystorów polowych (FET-ów), zwykle nazywanych obecnie tranzystorami HEMT (od ang. High-Electron-Mobility Transistors, tranzystory o dużej ruchliwości elek-

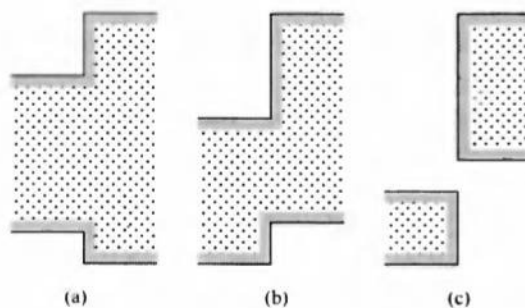
tronów) [30,31]. Ich parametry są lepsze niż wcześniejszych typów FET-ów. Z uwagi na swoje niewielkie szумы są one teraz używane jako czule stopnie wejściowe w telefonach komórkowych, przyczyniając się w ten sposób do gwałtownego rozwoju tego działu współczesnej technologii informacyjnej. W podstawowych badaniach fizycznych osłabienie rozpraszania na domieszkach dzięki domieszkowaniu modulacyjnemu ze zoptymalizowanymi przekładkami umożliwiło osiągnięcie ogromnych ruchliwości nośników w niskich temperaturach. Istnieje bezpośrednia droga od idei domieszkowania modulacyjnego do odkrycia ułamkowego kwantowego zjawiska Halla przez Tsui'ego, Störmera i Gossarda [32,33] w próbkach z 2DEG (dwuwymiarowym gazem elektronowym) o bezprecedensowej doskonałości strukturalnej, wyhodowanych przez Gossarda. Późniejsza teoretyczna interpretacja tego zjawiska przez Laughlina [34] wykazała, że stanowi ono fundamentalny przełom w fizyce ciała stałego; Tsui, Störmer i Laughlin otrzymali zań w 1998 r. Nagrodę Nobla z fizyki. Niestety, regulamin Nagrody Nobla, nieprzewidujący jej dzielenia między więcej niż trzy osoby, wykluczył Gossarda z grona laureatów.

8. Przesunięcia pasm

W ślad za pojawieniem się technologii MBE we wczesnych latach 70. moje własne badania zwróciły się ponownie w stronę problemów heterostruktur, zwłaszcza przesunięć (ang. offsets) pasm (czyli różnic położenia ich krawędzi) w heterozłączach skokowych. W tym przypadku granicznym pasmowa struktura energetyczna ulega nieciągłej zmianie, a podstawową kwestią, zarówno doświadczalną jak i teoretyczną, staje się rozstrzygnięcie, w jaki dokładnie sposób ustawiają się względem siebie pasma po obu stronach złącza. Moje schematy pasmowe dla pierwszych przyrządów pokazują płynne przejścia właśnie po to, by uniknąć tego problemu „zszywania” pasm, którego istnienia byłem w pełni świadomy.

8.1. Typy przesunięć

Dla dwóch półprzewodników teoretycznie możliwe są trzy różne wzajemne ułożenia pasm (rys. 12).



Rys. 12. Wzajemne ułożenia pasm w heterostrukturze (zakropkowany obszar oznacza przerwę energetyczną): a) normalne, b) schodkowe, c) z zerwaną przerwą.

8.1.1. Ułożenie normalne

Najpowszechniej spotyka się układ z przesunięciami o przeciwnych znakach¹ (rys. 12a). Można go uważać za skokowy przypadek graniczny płynnej zmiany struktury pasmowej z rys. 1c. W studniach kwantowych i supersieciach wykonanych z takich par najniższe stany pasma przewodnictwa występują w tej samej części struktury co najwyższe stany pasma walencyjnego, czyniąc takie pary szczególnie interesującymi dla zastosowań optoelektronicznych, np. laserów, czyli przyrządów typu bipolarnego, w których działaniu biorą udział zarówno elektrony jak i dziury. Oba rodzaje nośników występują wówczas w tych samych warstwach, stąd takie struktury nazywa się czasem nierozdzielonymi przestrzennie (ang. spatially direct). Takie ułożenie pasm jest podstawą wielu spośród dzisiejszych przyrządów optoelektronicznych, np. laserów ze studniami kwantowymi. Najszerzej zbadany układ heterozłączowy, GaAs-(Al,Ga)As, też należy do tej grupy, podobnie jak wiele innych, np. (Ga,In)As dopasowany sieciowo do InP i (Ga,In)P dopasowany sieciowo do GaAs.

8.1.2. Ułożenie schodkowe

Dla niektórych par materiałów oba pasma są przesunięte w tym samym kierunku, co prowadzi do struktury pasmowej, w której minimum niżej położonego pasma przewodnictwa występuje po jednej stronie, maksimum wyżej położonego pasma walencyjnego – po drugiej, a różnica energii między nimi jest mniejsza niż szerokość węższej spośród obu przerw energetycznych (rys. 12b). Tego typu jest kombinacja

¹ Ang. straddling lineup, dosłownie: ułożenie, w którym jedna przerwa „siedzi okrakiem” na drugiej (przyp. tłum.).

$\text{AlAs-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ przy $x > 0,3$, podobnie jak $(\text{Al,In})\text{As}$ dopasowane sieciowo do InP ; jest też kilka innych. W strukturach bipolarnych z takim ułożeniem pasm elektrony i dziury są uwięzione w różnych warstwach, stąd struktury te są rozdzielone przestrzennie. Niemniej jednak przy powierzchni granicznej funkcje falowe częściowo się pokrywają, umożliwiając rekombinację promienistą, przy czym energia fotonów jest mniejsza od szerokości węższej z obu przerw [35,36].

Ułożenia schodkowe (ang. *staggered lineups*) oznaczają większe przesunięcia pasmowe albo w pasmie przewodnictwa, albo walencyjnym, a dla niektórych zastosowań właściwość ta jest ważniejsza niż rozdzielenie przestrzenne. Na przykład, różnica energii krawędzi pasm przewodnictwa na powierzchni granicznej InAs-AlSb , wynosząca 1,35 eV [37], jest największa spośród wszystkich znanych z literatury dla związków III-V i wykorzystuje się to – wraz z małą masą efektywną elektronu w InAs – w niektórych zastosowaniach. Na tym układzie oparta była też najszybsza znana rezonansowa dioda tunelowa, oscylująca z częstotliwością sięgającą 712 GHz [38].

Wysokie bariery dają także możliwość znakomitego uwięzienia elektronów w FET-ach i osiągnięcia niezwykle wysokich poziomów powierzchniowej koncentracji elektronów (sięgającej 10^{13} cm^{-2}) za pomocą domieszkowania modulacyjnego (dzięki umieszczaniu donorów w barierach, a nie w studniach), z zachowaniem dużych ruchliwości nośników. To połączenie czyni z InAs-AlSb idealny układ do badania właściwości studni kwantowych w granicy dla metalu, np. jako ośrodek sprzęgający w nowej klasie słabych łączy nadprzewodzących [39].

8.1.3. Ułożenie z rozerwaną przerwą

Jeśli ułożenie schodkowe doprowadzić do jego skrajnej postaci, to otrzymuje się układ z rozerwaną przerwą (ang. *broken-gap lineup*), w którym dno pasma przewodnictwa po jednej stronie opada poniżej wierzchołka pasma walencyjnego po stronie drugiej (rys. 12c). Istnieje co najmniej jedna niemal dopasowana sieciowo para tego typu, z „rozwarciem” o szerokości ok. 150 meV w przerwie wzbronionej na powierzchni granicznej [40].

Ułożenie z rozerwaną przerwą InAs-GaSb jest samo w sobie dość egzotyczne i najbardziej intere-

suje fizyków. Dla teoretyka pragnącego zrozumieć przesunięcia pasmowe możliwość przewidzenia takiego układu pasm, przynajmniej w przybliżeniu, jest jednym z krytycznych testów każdego modelu zszywania pasm; najnowsze teorie zdają ten egzamin śpiewająco.

8.2. Teoria

Na podstawie powyższych rozważań powinno być rzeczą oczywistą, że kwestia dokładnych wartości przesunięć pasmowych dla różnych interesujących par półprzewodników jest najważniejsza zarówno od strony teoretycznej jak i doświadczalnej. Staralem się przyczynić do jej rozwiązania w obu aspektach.

W końcu lat 60. jedyną teoretyczną podstawą szacowania przesunięć pasmowych była reguła powinowactwa elektronowego [22], zgodnie z którą przesunięcie pasma przewodnictwa miało być równe różnicy powinowactwa elektronowego na powierzchniach swobodnych obu półprzewodników. W pracy z roku 1975 zwróciłem uwagę, że jest to skrajnie niezadowolający model [41]. Nawet gdyby były dostępne dobre dane o powinowactwie elektronowym, to działanie reguły opierało się na spełnieniu ukrytych założeń o zależnościach właściwości powierzchni granicznej między oboma półprzewodnikami od cech znacznie drastyczniejszych powierzchni granicznych między półprzewodnikami i próżnią; założenia te prawie na pewno były błędne. Trafnie scharakteryzował tę regułę Harrison, stwierdzając, że „zastępuje [ona] jeden prosty problem dwoma bardzo trudnymi” [42].

Poszukiwałem teorii, która umożliwiłaby wyznaczenie przesunięć pasmowych na podstawie właściwości objętościowych półprzewodników tworzących układ, i zaproponowałem to Billowi Frensleyowi (obecnie pracującemu na Uniwersytecie stanu Teksas w Dallas) jako temat pracy doktorskiej. Jedną z konkretnych kwestii, o których analizę poprosiłem Billa, było ustalenie, czy układy z rozerwaną przerwą mogą się istotnie pojawić. Opracowana teoria [43,44], oparta na pseudopotencjałach, nie tylko jako pierwsza podała na podstawie właściwości objętościowych półilościowe wyprowadzenie przesunięć pasmowych, które już były znane, np. dla GaAs/AlAs , lecz także miała spore możliwości prognostyczne. W szczególności teoria ta przewidywała, że hete-

rozłącze InAs/GaSb albo ma rozerwaną przerwę, albo jest układem o bardzo zbliżonych cechach. Po teorii Frensleya–Kroemera opublikowano jeszcze kolejne modele, wykorzystujące już inne metody [42,45].

8.3. Inżynieria przesunięć pasmowych za pomocą metody C-V

W roku 1979 Jim Harris (podówczas pracownik Rockwell Science Center, obecnie na Uniwersytecie Stanforda) pokazał mi zależności pojemnościowo-napięciowe (C-V) heterozłącza (Al,Ga)As/GaAs otrzymanego metodą LPE. Metoda C-V jest powszechnie stosowana do wyznaczania koncentracji elektronów w półprzewodnikach przez pomiar pojemności spolaryzowanej zaporowo bariery Schottky’ego, umieszczonej na powierzchni półprzewodnika. Zmieniając napięcie zaporowe, można badać rozkład gęstości elektronów do pewnej głębokości próbki. W pobliżu powierzchni granicznej heterostruktury wyniki Harris’a wyraźnie wskazywały, że następuje gromadzenie się elektronów po stronie GaAs, a ich zubażenie po stronie (Al,Ga)As, czego można byłoby oczekiwać na podstawie odpowiedniego schematu pasmowego. Efektywna koncentracja elektronów była jednak silnie rozmyta przy uśrednieniu po długości Debye’a. Starając się zrozumieć ilościowo proces uśredniania uświadomiłem sobie, że moment dipolowy związany z parą obszarów nagromadzenia i zubożenia powinien być zachowany podczas uśredniania, a jego pomiar powinien umożliwić wyznaczenie przesunięcia pasma przewodnictwa [46–48]. Analiza dała przesunięcie pasmowe równe ok. 66% różnicy szerokości przerw energetycznych [46], niezbyt odległe od powszechnie dziś przyjmowanej wartości 62%. Metoda C-V była od tamtego czasu stosowana w wielu innych pracach i dostarczyła jednych z najlepszych danych o przesunięciu pasmowym dla licznych par heterozłączowych.

9. Epilog

W całym artykule skupiałem się na mojej własnej pracy nad heterostrukturami, zwłaszcza jej początkach przed 1963 r., zdominowanych przez koncepcje przyrządów bipolarnych. Jednak dzisiejsza dziedzina heterostruktur nie byłaby tym, czym jest, bez późniejszego udziału –

technologicznego lub koncepcyjnego – licznych innych osób; dotyczy to zwłaszcza struktur niebipolarnych. Tylko dzięki pracy owej rzeszy kolegów nad tematami, które wybiegły poza mój własny wkład pracy, w końcu uświadomiono sobie jego znaczenie. Za to jestem im wszystkim winien podziękowania.

Źłumaczył Jerzy Gronkowski
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

Literatura

- [1] H. Kroemer, *RCA Review* **18**, 332 (1957) (przedruk z *Proceedings of the Symposium „The Role of Solid State Phenomena in Electric Circuits”*, Polytechnic Institute of Brooklyn, kwiecień 1957 r., s. 143).
- [2] W. Shockley, patent USA nr 2569347 (1951 r., zgłoszony 26 czerwca 1948 r.).
- [3] H. Krömer, *Naturwissenschaften* **40**, 578 (1953).
- [4] H. Krömer, *Arch. Elektr. Übertrag.* **8**, 499 (1954).
- [5] H. Kroemer, *Proc. IRE* **45**, 1535 (1957).
- [6] H. Kroemer, *Proc. IEEE* **70**, 13 (1982).
- [7] H. Kroemer, *J. Vac. Sci. Technol. B* **1**, 126 (1983).
- [8] H. Kroemer, *Physica Scripta* **T68**, 10 (1996).
- [9] H. Kroemer, nieopublikowane (1957).
- [10] H. Diedrich, K. Jötten, w: *Colloque international sur les dispositifs à semiconducteurs*, Paris (Editions Chiron, Paris 1961), s. 330.
- [11] H. Kroemer, *Proc. IEEE* **51**, 1782 (1963).
- [12] H. Kroemer, patent USA nr 3309553 (1967, zgłoszony 16 sierpnia 1963 r.).
- [13] Ż.I. Alfirow, W.M. Andrejew, D.Z. Garbuzow, J.W. Żylijajew, E.P. Morozow, E.L. Portnoj, W.G. Trofim, *Fiz. Tekh. Poluprovodn.* **4**, 1826 (1970) [*Sov. Phys. – Semicond.* **4**, 1573 (1971)].
- [14] I. Hayashi, M.B. Panish, P.W. Foyt, S. Sumski, *Appl. Phys. Lett.* **17**, 109 (1970).
- [15] Zh.I. Alferov, *Rev. Mod. Phys.* **73**, 767 (2001) (wykład noblowski; polski przekład ukaże się w jednym z najbliższych zeszytów *Postępów* – Red.).
- [16] Zh.I. Alferov, *Phys. Scr.* **T68**, 32 (1996).
- [17] C. Casey, M. Panish, *Heterostructure Lasers – Part A: Fundamental Principles* (Academic Press, New York 1978), p. 1.2.
- [18] H. Kroemer, w: *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Future Trends in Microelectronics*, Ile de Bendor, France, red. S. Luryi i in., NATO ASI Series E, t. 323 (Kluwer, Dordrecht 1995), s. 1.
- [19] D. Mermin, *Phys. Today* **52**(8), 11 (1999).
- [20] G. Abstreiter, *Phys. Scr.* **T68**, 68 (1996).
- [21] U. König, *Phys. Scr.* **T68**, 90 (1996).
- [22] R.L. Anderson, *IBM J. Res. Dev.* **4**, 283 (1960).
- [23] W.A. Harrison, E.A. Kraut, J.R. Waldrop, R.W. Grant, *Phys. Rev. B* **18**, 4402 (1978).

- [24] H. Kroemer, *J. Cryst. Growth* **81**, 193 (1987).
- [25] S.L. Wright, M. Inada, H. Kroemer, *J. Vac. Sci. Technol.* **21**, 534 (1982).
- [26] S.L. Wright, H. Kroemer, M. Inada, *J. Appl. Phys.* **55**, 2916 (1984).
- [27] H. Kroemer, *Jpn. J. Appl. Phys. Suppl.* **20-1**, 9 (1981).
- [28] L. Esaki, R. Tsu, *IBM J. Res. Dev.* **14**, 61 (1970).
- [29] R. Dingle, H.L. Störmer, A.C. Gossard, W. Wiegmann, *Appl. Phys. Lett.* **33**, 665 (1978).
- [30] T. Mimura, S. Hiyamizu, T. Fujii, K. Nanbu, *Jpn. J. Appl. Phys.* **19**, Part 2, L225 (1980).
- [31] D. Delagebeaudeuf, P. Delescluse, P. Etienne, M. Laviro, J. Chaplart, N.T. Linh, *Electron. Lett.* **16**, 667 (1980).
- [32] D.C. Tsui, H.L. Störmer, A.C. Gossard, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1559 (1982).
- [33] H.L. Stormer, *Rev. Mod. Phys.* **71**, 875 (1999) (wykład noblowski; polski przekład: *Postępy Fizyki* **51**, 113 (2000) – Red.).
- [34] R.B. Laughlin, *Rev. Mod. Phys.* **71**, 863 (1999) (wykład noblowski; polski przekład: *Postępy Fizyki* **51**, 68 (2000) – Red.).
- [35] H. Kroemer, G. Griffiths, *IEEE Electron Device Lett.* **4**, 20 (1983).
- [36] E.J. Caine, S. Subbanna, H. Kroemer, J.L. Merz, A.Y. Cho, *Appl. Phys. Lett.* **45**, 1123 (1984).
- [37] A. Nakagawa, H. Kroemer, J.H. English, *Appl. Phys. Lett.* **54**, 1893 (1989).
- [38] E.R. Brown, J.R. Söderström, C.D. Parker, L.J. Mahoney, K.M. Molvar, T.C. McGill, *Appl. Phys. Lett.* **58**, 2291 (1991).
- [39] H. Kroemer, C. Nguyen, E.L. Hu, E.L. Yuh, M. Thomas, K.C. Wong, *Physica B* **203**, 298 (1994).
- [40] H. Sakaki, L.L. Chang, R. Ludeke, C.A. Chang, G.A. Sai-Halasz, L. Esaki, *Appl. Phys. Lett.* **31**, 211 (1977).
- [41] H. Kroemer, *CRC Crit. Rev. Solid State Sci.* **5**, 555 (1975).
- [42] W.A. Harrison, *J. Vac. Sci. Technol.* **14**, 1016 (1977).
- [43] W.R. Frensley, H. Kroemer, *J. Vac. Sci. Technol.* **13**, 810 (1976).
- [44] W.R. Frensley, H. Kroemer, *Phys. Rev. B* **16**, 2642 (1977).
- [45] N.E. Christensen, *Phys. Rev. B* **38**, 12687 (1988).
- [46] H. Kroemer, W.-Y. Chien, J.S. Harris, D.D. Edwall, *Appl. Phys. Lett.* **36**, 295 (1980).
- [47] H. Kroemer, W.-Y. Chien, *Solid-State Electron.* **24**, 655 (1981).
- [48] H. Kroemer, *Appl. Phys. Lett.* **46**, 494 (1985).

Stałe fizyczne

Maciej Suffczyński, Paweł Janiszewski

Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

The fundamental physical constants

Abstract: The frequently used 1998 updated fundamental physical constants are reprinted and described.

Aktualne wartości podstawowych stałych fizycznych zostały wyrównane metodą najmniejszych kwadratów przez P.J. Mohra i B.N. Taylora w Państwowym Instytucie Nauki i Techniki (NIST) w Gaithersburgu (stan Maryland, USA). Tablice wyrównanych stałych są udostępnione od 1998 r. w Internecie pod adresem: physics.nist.gov/constants. Omówienie uzyskanych do 31 grudnia 1998 r. danych pomiarowych, najważniejszych wyników koniecznych obliczeń metodami elektrodynamiki kwantowej oraz metod oceny danych i ich standardowych niepewności zostało opublikowane w artykułach [1–3].

Nowy zestaw wyrównanych stałych jest przede wszystkim wynikiem udoskonalonych pomiarów. Względne niepewności standardowe wyrównanych stałych są obecnie przeważnie rzędu 10^{-8} , tak że nie wyraża się ich w częściach na milion (ppm), jak w poprzednio publikowanych wyrównaniach (patrz [4]). Szczególna dokładność uzyskana została w pomiarach częstości (zamiast długości fali) przejść optycznych w atomie wodoru, wyznaczających stałą Rydberga R_∞ , wykonanych metodą spektroskopii dwufotonowej w promieniach atomowych wodoru i deuteru w Instytucie Maxa Plancka w Garching oraz w Laboratorium Kastlera–Brossela w Paryżu.

Tablice wyrównanych stałych podają dane dla elektronu, mionu, taonu, protonu, neutronu, deuteronu, helionu, tj. jądra atomu helu ^3He , i cząstki α . Pomiary w pułapce Penninga zmniejsz

szyły o rząd wielkości niepewności standardowe wartości względnych mas atomowych tych cząstek, które są trwałe, oraz poprawiły dokładność wyznaczenia anomalii a_e momentu magnetycznego elektronu. Niepewność standardowa stałej struktury subtelnej α została zmniejszona o czynnik 12,2 w porównaniu z danymi wyrównania z 1986 r. Nowe pomiary w NIST zmniejszyły niepewność standardową stałej Plancka o czynnik 7,7. Pomiary prędkości dźwięku w argonie w kulistym rezonatorze zredukowały niepewność standardową wartości molowej stałej gazowej R o czynnik 4,8. Wartości stałych wyrównane w procedurze najmniejszych kwadratów są skorelowane. Podane standardowe niepewności stałych są dodatnimi pierwiastkami kwadratowymi diagonalnych elementów macierzy kowariancji wyrównanych stałych. Macierze wariancji, kowariancji i współczynników korelacji tych wyrównanych stałych zostały umieszczone w Internecie i są dostępne pod podanym adresem NIST.

W podanej literaturze wyrównania stałych cytowane są m.in. wyniki obliczeń metodami elektrodynamiki kwantowej anomalii momentu magnetycznego elektronu i mionu oraz poprawek do poziomów energii w atomie wodoru, uwarunkowanych m.in. przez relatywistyczne uwzględnienie odrzutu oraz polaryzację jądra. Także wyniki obliczeń nadsubtelnego rozszczepienia stanu podstawowego w atomie mionium (μ^+e^-), którego pomiar pozwala niezależnie wyznaczyć war-

tość stałej struktury subtelnej α . Zwłaszcza stała struktury subtelnej α , stała Plancka h , stała Rydberga R_∞ i względna atomowa masa elektronu $A_r(e)$ wyznaczają wiele ważnych stałych podstawowych, a wiele stałych fizykochemicznych zależy ponadto od molowej stałej gazowej R .

Obecnie przedrukujemy w tłumaczeniu w język polski tabele wartości często używanych wyrównanych stałych (pełna wersja spolszczonych tabel stałych fizycznych 1998 jest umieszczona

na stronie internetowej Polskiego Towarzystwa Fizycznego: www.fuw.edu.pl/~ptf/stale/). W publikacjach [1,2] następujące tabele zawierają stałe elektromagnetyczne, stałe atomowe, wybrane jądrowe oraz stałe fizykochemiczne. Osobne tabele przedstawiają wartości stałych przyjęte w umowach międzynarodowych oraz wzorce długości fal wyznaczone w pomiarach ugięcia promieni X. Tabele podają także ważne praktycznie współczynniki przeliczenia równoważników energii często używanych w fizyce i chemii.

Tabela 1. Podstawowe stałe fizyczne (często używane). Zalecane przez CODATA [1–3] wartości podstawowych stałych fizycznych oparte na wyrównaniu 1998 r. W nawiasach po wartości podano odchylenie standardowe ostatnich cyfr.

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
Prędkość światła w próżni	c, c_0	299 792 458	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	(dokładnie)
Stała magnetyczna	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ $= 12,566\,370\,614 \dots \cdot 10^{-7}$	$\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$ $\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$	(dokładnie)
Stała elektryczna $1/\mu_0 c^2$	ϵ_0	$8,854\,187\,817 \dots \cdot 10^{-12}$	$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$	(dokładnie)
Stała grawitacji	G	$6,673(10) \cdot 10^{-11}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Stała Plancka	h	$6,626\,068\,76(52) \cdot 10^{-34}$	$\text{J} \cdot \text{s}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$
$h/2\pi$	\hbar	$1,054\,571\,596(82) \cdot 10^{-34}$	$\text{J} \cdot \text{s}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$
Ładunek elementarny	e	$1,602\,176\,462(63) \cdot 10^{-19}$	C	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Kwant strumienia magnetycznego $h/2e$	Φ_0	$2,067\,833\,636(81) \cdot 10^{-15}$	Wb	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Kwant przewodności $2e^2/h$	G_0	$7,748\,091\,696(28) \cdot 10^{-5}$	S	$3,7 \cdot 10^{-9}$
Masa elektronu	m_e	$9,109\,381\,88(72) \cdot 10^{-31}$	kg	$7,9 \cdot 10^{-8}$
równoważnik energii	$m_e c^2$	$8,187\,104\,14(64) \cdot 10^{-14}$ $= 0,510\,998\,902(21)$	J MeV	$7,9 \cdot 10^{-8}$ $4,0 \cdot 10^{-8}$
Masa protonu	m_p	$1,672\,621\,58(13) \cdot 10^{-27}$	kg	$7,9 \cdot 10^{-8}$
równoważnik energii	$m_p c^2$	$1,503\,277\,31(12) \cdot 10^{-10}$ $= 938,271\,998(38)$	J MeV	$7,9 \cdot 10^{-8}$ $4,0 \cdot 10^{-8}$
Stosunek masy protonu do masy elektronu	m_p/m_e	1836,152 6675(39)		$2,1 \cdot 10^{-9}$
Masa neutronu	m_n	$1,674\,927\,16(13) \cdot 10^{-27}$	kg	$7,9 \cdot 10^{-8}$
równoważnik energii	$m_n c^2$	$1,505\,349\,46(12) \cdot 10^{-10}$ $= 939,565\,330(38)$	J MeV	$7,9 \cdot 10^{-8}$ $4,0 \cdot 10^{-8}$
Stała struktury subtelnej $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	α	$7,297\,352\,533(27) \cdot 10^{-3}$		$3,7 \cdot 10^{-9}$
odwrotność	α^{-1}	137,035 999 76(50)		$3,7 \cdot 10^{-9}$
Stała Rydberga $\alpha^2 m_e c/2h$	R_∞	10 973 731,568 549(83)	m^{-1}	$7,6 \cdot 10^{-12}$
Promień Bohra $\alpha/4\pi R_\infty$	a_0	$0,529\,177\,2083(19) \cdot 10^{-10}$	m	$3,7 \cdot 10^{-9}$
Energia Hartree'ego $e^2/4\pi\epsilon_0 a_0 = 2R_\infty \hbar c$	E_h	$4,359\,743\,81(34) \cdot 10^{18}$ $= 27,211\,3834(11)$	J eV	$7,8 \cdot 10^{-8}$ $3,9 \cdot 10^{-8}$
Magneton Bohra $e\hbar/2m_e$	μ_B	$927,400\,899(37) \cdot 10^{-26}$ $= 5,788\,381\,749(43) \cdot 10^{-5}$	$\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$ $\text{eV} \cdot \text{T}^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$ $7,3 \cdot 10^{-9}$
	μ_B/h	$13,996\,246\,24(56) \cdot 10^9$	$\text{Hz} \cdot \text{T}^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$
	$\mu_B/\hbar c$	46,686 4521(19)	$\text{m}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$

Wielkość	Symbol	Wartość	Jednostka	Względna niepewność standardowa
Moment magnetyczny elektronu	μ_e	$-928,476\,362(37) \cdot 10^{-26}$	$J \cdot T^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$
Anomalia momentu magnetycznego elektronu $ \mu_e /\mu_B - 1$	a_e	$1,159\,652\,1869(41) \cdot 10^{-3}$		$3,5 \cdot 10^{-9}$
Moment magnetyczny protonu	μ_p	$1,410\,606\,633(58) \cdot 10^{-26}$	$J \cdot T^{-1}$	$4,1 \cdot 10^{-8}$
Moment magnetyczny neutronu	μ_n	$-0,966\,236\,40(23) \cdot 10^{-26}$	$J \cdot T^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$
Współczynnik giromagnetyczny protonu $2\mu_p/\hbar$	γ_p	$2,675\,222\,12(11) \cdot 10^8$	$s^{-1} \cdot T^{-1}$	$4,1 \cdot 10^{-8}$
	$\gamma_p/2\pi$	42,577 4825(18)	MHz $\cdot T^{-1}$	$4,1 \cdot 10^{-8}$
Współczynnik giromagnetyczny ekranowanego protonu $2\mu'_p/\hbar$ (H ₂ O, w kuli, 25°C)	γ'_p	$2,675\,153\,41(11) \cdot 10^8$	$s^{-1} \cdot T^{-1}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$
	$\gamma'_p/2\pi$	42,576 3888(18)	MHz $\cdot T^{-1}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$
Stała Avogadra	N_A	$6,022\,141\,99(47) \cdot 10^{23}$	mol ⁻¹	$7,9 \cdot 10^{-8}$
Stała Faradya $N_A e$	F	96 485,3415(39)	C \cdot mol ⁻¹	$4,0 \cdot 10^{-8}$
Molowa stała gazowa	R	8,314 472(15)	J \cdot mol ⁻¹ \cdot K ⁻¹	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Stała Boltzmanna R/N_A	k	$1,380\,6503(24) \cdot 10^{-23}$	J \cdot K ⁻¹	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Stała Stefana–Boltzmannna $(\pi^2/60)k^4/\hbar^3 c^2$	σ	$5,670\,400(40) \cdot 10^{-8}$	W \cdot m ⁻² \cdot K ⁻⁴	$7,0 \cdot 10^{-6}$
Jednostki pozaukładowe używane w układzie SI				
elektronowolt: $(e/C)J$	eV	$1,602\,176\,462(63) \cdot 10^{-19}$	J	$3,9 \cdot 10^{-8}$
atomowa jednostka masy $1\,u = m_u = \frac{1}{12} m(^{12}C)$ $= 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}/N_A$	u	$1,660\,538\,73(13) \cdot 10^{-27}$	kg	$7,9 \cdot 10^{-8}$

Krytyczne omówienie układu nowych wyrównanych stałych fizycznych opublikowane jest w [3], a tabele najważniejszych jednostek fizycznych układu SI – w [5]. Wartości podstawowych stałych fizycznych wyrównane w 1998 r. są polecane do użytku przez CODATA (Committee on Data for Science and Technology of the International Council for Science). Aktualne wartości parametrów cząstek elementarnych publikuje co dwa lata grupa specjalistów Particle Data Group (patrz [6]).

W publikacjach [1–3] porównane są względne niepewności standardowe wyrównanych stałych z 1998 i 1986 r. oraz podane są wartości stosunków niepewności. Zwrocona jest szczególna uwaga na spójność układu nowych wartości stałych. Wśród sugestii na temat przyszłych prac w metrologii podkreślona jest konieczność wykonania pomiarów, które umożliwiłyby znaczące zmniejszenie

niepewności danych wejściowych dla wyznaczenia stałych α , h i R , grających szczególnie decydującą rolę w wyznaczaniu wartości wielu stałych fizyki i chemii.

Dr P.J. Mohr i B.N. Taylor przysłali nam egzemplarz publikacji [1] ze zgodą na przedrukowanie tabel, zgodę dało także Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne, za co wyrażamy im podziękowanie.

Literatura

- [1] P.J. Mohr, B.N. Taylor, *J. Phys. Chem. Ref. Data* **28**, 1713 (1999).
- [2] P.J. Mohr, B.N. Taylor, *Rev. Mod. Phys.* **72**, 351 (2000).
- [3] P.J. Mohr, B.N. Taylor, *Phys. Today* **53**, BG6 (2000).
- [4] M. Suffczyński, *Postępy Fizyki* **27**, 35 (1976).
- [5] R.A. Nelson, *Phys. Today* **54**, BG15 (2001).
- [6] D.E. Groom i in. (Particle Data Group), *Eur. Phys. J. C* **15**, 1 (2000).

Czy fizyka ma szansę w XXI wieku?

Józef Spałek

Institut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

Does physics have a prospect in the 21st century?

Abstract: This essay delineates the current physics problems in describing such phenomena as the nature of quantum reality, nanoscopic physics, as well as the collective character of our brain.

1. Gdzie jesteśmy?

Jest oczywiste, że fizyka powinna mieć szansę rozwoju w XXI w., bo jest najbardziej podstawową nauką ilościową o Przyrodzie. Musi jednak ciągle o to zabiegać. Jest obecnie okazja do takich rozważań, bo przełom wieków, a zwłaszcza milenium sprzyja prognozowaniu; w ten sposób następne pokolenia będą się mogły dziwić, jak zawężone było nasze myślenie! Niemniej jednak jest to także pora, żeby zebrać myśli i zapytać się na podstawie doświadczenia (i zdrowego rozsądku), co dalej. Szczególnie, jeśli ma być mowa o tym, czego nie robimy do tej pory, a co wydaje się ważne. Esej ten ma mieć nieco inny charakter aniżeli opublikowany w *Postęпах Fizyki* artykuł Kenta [1] czy ciekawe zestawienie statystyczne Zalewskiego [2], a to dlatego, że tutaj staramy się powiedzieć raczej o tym, czego jeszcze nie rozumiemy z tego, co już w zarysie wiemy (potrafimy tym się posługiwać). Ze swej natury esej taki zawiera więcej pytań niż odpowiedzi i stanowi jedynie ogólne impresje autora.

1.1. Przebudowa fizyki jako fundamentalnej koncepcji na temat materii

Jest truizmem stwierdzenie, że fizyka w XX w. przeżyła niebывały rozkwit (a także rozrost), zapewne każdemu z nas zapierający dech. Bo przecież u jego zarania powstała teoria względności (z jej rewizją pojęć czasu i przestrzeni), ale

także mechanika kwantowa (z dualizmem korpuskularno-falowym, który zmusił nas do rezygnacji z lokalnej przyczynowości i realizmu stanów cząstek opisywanych przez ich trajektorie) oraz pierwsza udana mikroskopowa próba unifikacji oddziaływań i klasyfikacji cząstek – Model Standardowy. Zaobserwowano nowe stany materii, jak nadprzewodnictwo, nadciekłość czy makroskopowe stany fotonów (laser), rozbito i wykorzystano energię jąder atomowych, zarówno do celów pokojowych, jak i wojny. Rewolucja kwantowa weszła także do medycyny poprzez zastosowanie magnetycznego rezonansu jądrowego, laserów czy chociażby radioterapii. Nanofizyka oferuje inwazyjną czynną na poziomie mikroskopowym w postaci nanotechnologii, a komputery i kryptografia kwantowa – nowy typ technologii informatycznej, chyba że rozwinie się technologia bioprocessorów czy wykorzystanie DNA w technologii informatycznej. Zsyntetyzowano nowe materiały o wyjątkowych własnościach, takie jak przewodzące polimery, fulereny czy nowe materiały półprzewodnikowe. Wreszcie, zbadano nowe typy przemian fazowych, tzw. kwantowe przejścia fazowe, w których kwantowy stan makroskopowy ulega zmianie i obserwuje się osobliwości wielkości fizycznych, charakterystyczne dla klasycznych przejść fazowych (aczkolwiek sama teoria takich przemian kwantowych jest jeszcze niedopracowana).

Podaję tu tylko hasłowo kilka ważnych faktów, bez próby ich dokładniejszego rozwijania,

gdyż chodzi mi o stworzenie sceny do dalszej dyskusji.

Zadziwiająco w rozmachu badań fizycznych jest to, że przedmiotem jej badań są i obiekty najbardziej mikroskopowe, i cały Wszechświat lub jego duże części. Można powiedzieć, że fizyka zajmuje się stanami i przemianami energii oraz materii we wszystkich skalach. Tutaj jednak często wypada z zakresu badań fizyków najbardziej „życiowa” skala, a mianowicie to, co wchodzi w zakres biologii i chemii. Zaniedbanie tej życiowej skali może się okazać fatalne dla przyszłości fizyki, gdyż społeczeństwo może uznać fizykę za społecznie nieużyteczną. Zwrócenie uwagi na ten aspekt fizyki jest jednym z zasadniczych celów tego eseju. Nie ma bowiem sensu mówić wyłącznie, że należy kontynuować te dziedziny, które mają niewątpliwe sukcesy („more of the same!”), w sytuacji, gdy społeczeństwo tego nie rozumie i w efekcie nie chce dalej popierać. Taka sytuacja powinna być przedmiotem naszej szczególnej troski. Jednakże może nawet ważniejsza jest próba przekonania, przynajmniej części fizyków, że w dziedzinach takich, jak biologia molekularna, neurofizjologia czy nanofizyka kwantowa kryją się równie fundamentalne zagadki fizyczne, jak w najgłębszych pokładach gwiazd i jąder galaktyk czy plazmy kwarkowo-gluonowej.

Dotychczasowe odkrycia fizyczne wymienia się jednym tchem, kładąc nacisk przede wszystkim na teorię; być może związane jest to z tym, że jednocześnie nastąpiła równie ważna, jeśli nie ważniejsza, przebudowa systemu naszego myślenia o Przyrodzie. Zilustruję to na przykładach. Po pierwsze, ewolucja stała się uniwersalną koncepcją nie tylko w rozwoju gatunków żywych, ale także całego obserwowalnego Wszechświata, który przez cały czas ewoluuje. Po drugie, uwidocznienie zjawisk chaotycznych za pomocą komputera uświadomiło nam, że nawet zjawiska uważane do tej pory za coś niekontrolowalnego można modelować i opisać w sposób ilościowy. Po trzecie, być może najważniejsze, stworzono unikalne techniki i aparaty dające wgląd w obszar mikroskopowy (atomowy) zjawisk, które poprzednio mogli jedynie badać narzędziami matematyki wizyjonezy w rodzaju Boltzmanna czy Einsteina.

Do tej pory ta zdolność fizyki do rozszerzania pojmowania Przyrody pociąga, nawet bardzo, wielu z najinteligentniejszych młodych ludzi. Tak

jak poezja próbuje znaleźć odpowiedni język opisu stanów emocjonalnych, tak fizyka próbuje znaleźć odpowiedni język matematyczno-słowny do opisu zjawisk przyrodniczych czy w ogólności otaczającego nas świata. Należy sobie zdać także sprawę z tego, że po raz pierwszy nasze pokolenie zobaczyło, że atomy są rzeczywiście tak nieprawdopodobnie małe, ale obserwowalne, a w mikroskopie tunelowym można zrobić ostrze sondy o grubości jednego atomu!

1.2. Szczypta homocentryzmu

Właściwie nie powinno to być dla nikogo dziwne, że atomy są takie małe. Jeśli bowiem Bóg stworzył takie proste atomy (tj. takie, które my możemy objąć naszym rozumem), to przecież nasz mózg musi być nieporównanie bardziej złożony, żeby móc ten prosty system zrozumieć, a przynajmniej opisać. Musi bowiem to być układ składający się z bogatszego języka niż to, co opisuje; inaczej nie da się tego objąć.

Oczywiście, jak uczy nas fizyka wysokich energii, ten podział nie kończy się na atomie; dopiero w skali subatomowej, a nawet subjądrowej objawia się prawdziwa struktura elementarna nukleonów w postaci kwarków i wiążących je gluonów. Ostatnio nawet słyszy się, że prawdziwymi obiektami elementarnymi są struny czy wielowymiarowe membrany (m-brany). Pozostaje zatem zadać proste pytanie, czy ten hierarchiczny podział w dół na skali rozmiarów (a w górę na skali energii) się kiedyś skończy. Naprawdę nie wiadomo, ale zapewne wcześniej aniżeli pomysły fizyków skończą się nakłady finansowe na światową naukę!

Dalsza przebudowa pojęciowa nastąpi zapewne dzięki rewolucji elektroniczno-informatycznej, która dotarła do każdego człowieka nie tylko poprzez radio, telewizor czy telefon komórkowy (byłoby ciekawe zbadać, ilu ludzi zadziwiło to, że te wszystkie urządzenia mają początek w mozołach badaczy w laboratoriach). Krótko to ujmując, fizyka stworzyła nowy system opisu przyrody za pomocą nowych przyrządów, które z kolei stworzyły podstawy rewolucji technologicznej nowego typu (która już nie jest motywowana przez rozwój fizyki), a ta z kolei przebudowuje system myślenia i organizowania całych społeczeństw (globalna ekonomia, globalna wioska elektroniczna czy zmiana sposobu wypoczynku i spędzania czasu wolnego).

dzania czasu, ze wszystkimi konsekwencjami, na plus i na minus). Czy ta rewolucja technologiczno-informatyczna, a także to, że z drugiej strony mamy do czynienia z obiektami o coraz większej komplikacji, zabije także romantyzm Wielkiej Przygody pojedynczego umysłu wędrującego po bezdrożach nauki? Czy, innymi słowy, kończy się epoka wysublimowanej prostoty opisu matematyczno-fizycznego? Uważam, że nie, i podaję argumenty poniżej.

Notabene, takie sięgnięcie do głębi rzeczywistości może prowadzić do problemów. Można bowiem wziąć tę rzeczywistość mikroskopową za realną poprzez nasze wytwory elektroniczne, gdyż teraz już trzeba tylko widzieć otaczającą rzeczywistość wirtualnie! Gry elektroniczne, a zwłaszcza telewizja, są tu wręcz klasycznymi przykładami. Cóż, można tylko stwierdzić, że globalne programy w rodzaju „Wielkiego Brata” nie wymagają od nikogo wysiłku, a stworzenie społeczeństwa edukacyjnego to wręcz niekończąca się wytrwałość! Nie jestem jednak pesymistą, bo dopóki będzie następowała ewolucja umysłu i ewolucja cywilizacyjna (która, mam nadzieję, jeszcze się nie skończyła, bo jeszcze na szczęście wszystkiego nie wiemy, mimo że piewców Teorii Wszystkiego nie brakuje!), dopóty będziemy ciekawi otaczającego nas Świata.

2. Dokąd zmierzamy?

Poczucie kryzysu, będące udziałem większości fizyków, jest w gruncie rzeczy spowodowane przez sukcesy fizyki w ostatnich dwóch stuleciach. Nie da się bowiem odkryć dwa razy równań Maxwella, relatywistycznej niezmienniczości czy fal materii. Tutaj jest cały problem, gdyż trzeba szukać ciągle czegoś nowego do odkrycia. Nie można już do końca świata pisać jedynie o dynamice pojedynczej cząstki, mimo że stanowi ona trwałe osiągnięcie fizyki newtonowskiej czy mechaniki kwantowej. Pewne główne kierunki badań postaramy się ująć krótko w punktach.

2.1. Świat kwantowy a nanotechnologia

Można śmiało powiedzieć, że świat kwantowy umiemy ująć matematycznie, ale go nie rozumiemy. Jesteśmy w sytuacji artysty malarza, powiedzmy kubisty, który maluje otaczający świat, ale nie wie, dlaczego akurat takim go widzi. Ten

zestaw do opisu kwantowego stanowi wspaniałą mieszankę genialności eksperymentowania (i wyciągania z niego wniosków) z matematyką, która nas prowadzi od założeń (tu interweniuje eksperyment fizyczny, ten fundamentalny) do poprawnych logicznie wniosków, stanowiących już prawa ogólne. Czy taka metoda od szczególnego eksperymentu do ogólnych praw matematycznych zagwarantuje nam zawsze sukces? Nie wiadomo, ale na razie działa, jak to zilustrowaliśmy powyżej. Należy się jednak nad tą dualnością opisu zastanowić, gdyż badamy układy coraz bardziej złożone i interwencja badacza czy przyrządu w naturę pomiaru, jak w mechanice kwantowej, to dopiero początek drogi. Co więcej, wszystkie dotychczasowe eksperymenty wskazują na to, że natura ewolucji układu kwantowego (w powiązaniu z pomiarem) rządzi się prawami nielokalnymi.

Zobrazuję ten ostatni, zasadniczy problem następującą elementarną uwagą. Prawa ewolucji stanu kwantowego są deterministyczne i wyznaczone przez równanie Schrödingera (czy Diraca) dla funkcji falowej $\Psi(\mathbf{r}, t)$ czy też przez równanie Heisenberga dla wielkości fizycznych reprezentowanych przez operatory. Do tych równań, oprócz warunków początkowych czy brzegowych, dodaje się tzw. interpretację Borna, że $|\Psi(\mathbf{r}, t)|^2$ jest gęstością prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w jednostkowej objętości zawierającej punkt \mathbf{r} . Ponieważ funkcja $\Psi(\mathbf{r}, t)$ jest zwykle określona w całej przestrzeni, więc ta możliwość redukcji obecności cząstki do każdego elementu objętości w tej samej chwili przeczy prawie wszystkiemu, co stanowi treść (i założenia) fizyki relatywistycznej (przyczynowość, lokalność). Z tego też powodu Einstein, Schrödinger i inni upierali się, że należy rozumieć prawa kwantowe jedynie statystycznie, jako opisujące wielką liczbę przypadków. Okazuje się, że nie mieli racji.

Dlatego też następny wiek będzie przede wszystkim wiekiem przybliżenia nam świata kwantowego. Dokonać się to może na dwa sposoby, nawet w obrębie fizyki już istniejącej. Po pierwsze, poprzez wysublimowane badania w ramach fizyki atomowej i optyki kwantowej z pojedynczymi atomami, pojedynczymi fotonami itd. Innymi słowy, przez eksperymenty w warunkach skrajnej „kwantowości”.

Drugą dziedziną, moim zdaniem co najmniej równie konkurencyjną, będzie nanofizyka i w na-

stępnym nanotechnologia. Zauważmy, że układ nanoskopowy to ani czysty układ mikroskopowy (jak atom czy prosta cząsteczka), ani makroskopowe ciało stałe. Jest to układ pośredni, wykazujący nowe własności nie tylko statystyczne, ale także pozwalający na badanie w praktyce granic między „kwantowością” a „klasyczością”. Dopiero bowiem stworzenie „nanoskopii na co dzień” pozwoli nam nie tylko nauczyć się operować cechami kwantowymi, ale także żyć z nimi. Zasada nieoznaczoności stać się musi tak powszednia, jak zasady newtonowskiej równowagi, żeby móc zrozumieć idee związane np. z superpozycją stanów kwantowych. Wykonanie eksperymentu z dyfrakcją fal materii dla cząsteczki fulereny [3] (zawierającej 60 atomów węgla) jest jednym z pierwszych eksperymentów XXI w. (o ile mi wiadomo, planuje się wykonanie takiego eksperymentu dwuszczeniowego dla lżejszych wirusów!). Także zjawiska dekoherencji [4], czyli przejścia od fizyki kwantowej do klasycznej, są, jak się wydaje, jednym z najważniejszych problemów na drodze do zrozumienia świata kwantowego. Co więcej, te badania będą prowadzić bezpośrednio do nanotechnologii w zastosowaniu nie tylko do elektroniki czy informatyki (komputery kwantowe!), ale także do stworzenia nanoskopowych metod „inwazji” medycznej w organizm ludzki i nowych metod w mikrokirurgii.

Warto tu przytoczyć przykład Feynmana, który przez ostatnie lata swojego życia zajmował się komputerami kwantowymi i nanotechnologią [5], podał nawet pewne kryteria granic kwantowej miniaturyzacji w elektronice, a jeszcze wcześniej zajmował się nadciekłym helem i możliwościami opisu tego makroskopowego stanu kwantowego za pomocą funkcji falowej.

2.2. Hierarchiczna struktura materii: redukcjonizm a emergentność

We wspomniałym artykule [6] zatytułowanym „More is different” (Więcej jest inne) P. Anderson wysunął koncepcję zjawisk emergentnych (pojawiających się nieoczekiwanie) na każdym etapie komplikacji układów. Układy jedno- i kilkucząstkowe różnią się zasadniczo od materii skondensowanej. Jest tak chociażby dlatego, że w tym drugim przypadku mamy praktycznie nieskończoną liczbę stopni swobody i układ może spontanicznie złamać swoją symetrię np. względem odwró-

cenia w czasie czy odbicia w lustrze (np. cząsteczka DNA mająca kształt dwusnurowego powrozu wybiera skrętność, łamiąc symetrię względem odbicia).

Tu dochodzimy do najbardziej fundamentalnego pojęcia na poziomie bardzo wielu atomów, molekuł czy cząstek. Koncepcja przejścia fazowego czy w ogólności zjawisk krytycznych, zwłaszcza w kontekście układów kwantowych, jest równie fundamentalna, jak np. niezmienniczość relatywistyczna, ale nie cieszy się taką popularnością, co jest moim zdaniem jednym z błędów popełnianych przez nas samych w przedstawianiu fizyki, być może nawet w rozumieniu Przyrody. Bo przecież kwantowa teoria pola, stanowiąca obecnie najbardziej fundamentalną teorię fizyczną musi, jako teoria o nieskończonej liczbie stopni swobody (opisująca układ materialny o takiej samej liczbie cząstek!), w sposób fundamentalny bazować na koncepcjach wypracowanych w fizyce materii skondensowanej, chociażby dlatego, że ta ma przepięknie wypracowany dialog między eksperymentem a teorią. Koncepcje fizyki materii skondensowanej w ogólności wydają się też bardzo przydatne ostatnio w chromodynamice kwantowej przy rozpatrywaniu stanu nadprzewodzącego plazmy uwolnionych kwarków i gluonów przy bardzo dużych gęstościach [7] (są to gęstości spotykane jedynie w głębi gwiazd neutronowych). Trzeba się trzymać czegoś prostego, ale konkretnego przy rozważaniu tak ciekawych, ale egzotycznych z punktu widzenia naszej intuicji układów, bo fizyka jest przecież nauką empiryczną.

Wracając jednak do tematu, emergentność układu wielu cząstek polega na tym, że na nowym etapie hierarchicznej struktury przyrody prawa dla układów kilku cząstek dalej zachowują ważność, ale oprócz tego pojawiają się nowe stany i koncepcje (np. parametr porządku, fluktuacje) oraz takie stany, jak nadciekłość, nadprzewodnictwo czy magnetyzm. Prowadzi to w efekcie do uzupełnienia starych praw nowymi. Te nowe aspekty: nowe stany kwantowe, nowe wzbudzenia czy też nowy typ porządku, to właśnie zjawiska emergentne w układzie wielu cząstek, których nie ma na poziomie pojedynczych cząstek.

Tutaj może mała dygresja z własnego podwórka. Pytaniem zasadniczym jest np., czy istnieje równanie falowe w sensie ścisłym dla pojedynczego elektronu w środowisku silnie skorelo-

wanych wielu elektronów. Schrödinger odpowiedziałby: nie! Ale przecież ten elektron tam dalej jest, więc jaka jest jego fala materii, nawet jeśli podlega ona rozproszeniu wywołanemu wzajemnym oddziaływaniem? Pewną propozycją jest tutaj cykl prac [8], ale to dopiero początek drogi. Takie nowe, „zrenormalizowane równanie falowe” powinno być też zjawiskiem emergentnym, pojawiającym się na poziomie układów wielocząstkowych. Zasadnicze pytanie wypływające z tej uwagi brzmi: czy fluktuacje próżni można wpisać do takiego równania, które, być może w naturalny sposób prowadziłoby do jego nieliniowości czy nielokalności na poziomie pojedynczych cząstek? Bo przecież mechanika kwantowa zostaje na poziomie fundamentalnym zastąpiona przez kwantową teorię pola, i równanie Schrödingera jest tylko równaniem przybliżonym, nie uwzględniającym fluktuacji próżni. Jak na razie, poza przesunięciem Lamba nie ma innych efektów tego typu w prostej mechanice falowej (por. artykuł Białynickiego-Biruli [8]).

Podsumowując, oprócz redukcjonizmu, czyli sprowadzania wszystkich zjawisk do poziomu elementarnego, mamy emergentność Przyrody przy przekraczaniu kolejnych progów komplikacji układów w zakresie ich struktury i funkcji. Innymi słowy, nie wystarczy rozwiązać równania Schrödingera czy Diraca, żeby zrozumieć materię skondensowaną, a co dopiero bardziej zróżnicowane układy, o których poniżej. W ogóle, takie lokalne liniowe równanie może okazać się niewystarczające na poziomie fundamentalnym, ale na razie jest to tylko spekulacja.

Strukturami nowego, bardziej złożonego typu od układów fizycznych, jakimi się zajmujemy, są np. umysł czy nawet całe społeczeństwa. Fizyka XXI wieku musi wyjść, przynajmniej częściowo, poza paradygmat newtonowsko-maxwellowsko-einsteinowski i zająć się także nowymi problemami, jeśli chcemy, żebyłożono na nasze badania i nas poważano. Próba finansowania projektów fizycznych o kosztach przewyższających koszty całego programu genomu ludzkiego świadczyć może o naszej arogancji względem podatnika (tak przynajmniej może to być odbierane) i skończyć się może tym, że fizyka będzie coraz bardziej marginalizowana, gdyż problemy czysto fizyczne przejdą do biologii, medycyny, informatyki czy nanotechnologii. Przecież jeden z odkrywców

struktury DNA – Francis Crick [9] – był fizykiem (był nim także Maurice Wilkins współpracujący z Crickiem i J. Watsonem). Kto dziś pamięta, że strukturę tę odkryto w laboratoriach Bragga i Wilkinsa, jednych z najlepszych ówczesnych laboratoriów krystalografii fizycznej?

2.3. Mózg jako układ fizyczny?

W ten sposób dochodzimy do najbardziej fundamentalnego problemu nauki o Przyrodzie, a mianowicie do badań mózgu. Tutaj osiągam kres mojej wyobraźni w opisie podejścia nauki do całego otaczającego nas świata. Od razu należy powiedzieć, że trzeba tutaj zachować ostrożność, i to nie tylko ze względów etycznych (tym nie będziemy się tutaj zajmować). Z punktu widzenia poznawczego, trzeba zachować ostrożność ze względu na to, co nazywam na prywatny użytek zerowym prawem poznania: nigdy nie poznamy siebie do końca, bo nie zbudujemy bogatszego języka, tzn. liczby kombinacji większej aniżeli ta, z której się składamy. Jednym słowem: ignoramus et ignorabimus (nie wiemy i wiedzieć nie będziemy) w całej rozciągłości!

Od tego prawa zerowego trzeba wyjść, jeśli się chce z sensem zacząć badać mózg – tak przynajmniej mi się wydaje! Tego elementu mi brakuje przy – być może pobieżnej – lekturze *Nowego umysłu cesarza* Penrose’a [10]. Czy da się, mimo tych naturalnych ograniczeń, powiedzieć coś z sensem o mózgu? Moim zdaniem już to jest genialne, iż układ potrafi zapytać sam siebie: dlaczego istnieje? S. Lem mówi [11], że będzie potrzeba specjalnej „przystawki komputerowej” do mózgu i dopiero ten układ: człowiek plus komputer przekroczy odpowiedni próg złożoności, żeby coś z sensem powiedzieć o podukładzie, którym jest mózg. Czy będziemy mogli wtedy powiedzieć, że zrozumieliśmy siebie w sensie, czym jest świadomość? Nie wiem, ale chciałbym to przeżyć!

Takim krokiem w kierunku całościowego fizycznego poznania mózgu są być może takie zjawiska, jak atak epilepsji z jego przerażającą, ale także spektakularną kolektywnością, czy przetwarzanie impulsów na poziomie korowym (za ilościowy opis pojedynczych impulsów nerwowych Hodgkin i Huxley [12] otrzymali już Nagrodę Nobla wiele lat temu).

3. Konkluzje?

Przyszłość zawiera więcej pytań niż odpowiedzi, chociażby przez to, że historia jak na razie jest nieprzewidywalna. Czym zatem będzie fizyka w XXI wieku? Na pewno badaniem natury kwantowej świata, bo tego jeszcze nie rozumiemy. Może do tego nas przybliży „nanoskopia na co dzień”? Na pewno będzie to też wiek mózgu. Czy jakaś forma „psychofizyki” lub „neurofizyki” ma szansę? W fizjologii odgrywa bardzo ważną rolę element historii (ewolucja!). Innymi słowy, nie są to układy optymalne w takim sensie, jak kryształy. Charakteryzowanie ich jedynie w kategoriach energii i entropii (konformacja!) równowagowej zapewne nie wystarczy, jeśli w ogóle ma sens, bo inaczej nie byłoby ani mutacji, ani kreatywności, pojmowanych tutaj jako zdolność do spontanicznych i wymuszonych zmian połączonych z adaptacją do środowiska. Jedno jest dla mnie zagadkowe i możliwe: być może droga do zrozumienia mechaniki kwantowej wiedzie przez zrozumienie nas samych, czyli mózgu jako umysłu? Tutaj przypomina się stara dyskusja Bohra, Wignera i innych o roli świadomości w pomiarze kwantowym. W wersji skrajnej skojarzenia, pomysły, olśnienia to też forma „holistycznej” reakcji mózgu. Czy nie przypomina to trochę nielokalności splecionych stanów kwantowych [13]? Zdziwienie może człowieka ogarnąć, gdy próbuje porównać prostotę stanów kolektywnych badanych np. w ciele stałym (magnony, ekscytyny i wszystkie inne any-ony) z bogactwem stanów wzbudzonych mózgu (emocje, olśnienia, skojarzenia). Nasze zainteresowania jako fizyków są okrojone, być może z niechęci widzenia otaczającego świata w trochę bardziej złożonych sytuacjach. Napotkana w tym miejscu trudność opisu to także okazja do stworzenia czegoś nowego. Czy to się powiedzie następnemu po nas pokoleniu, zobaczymy.

Konkluduję zatem: sposób, w jaki przedstawiłem czekającą nas ewolucję badań w nadchodzących latach, wzięł swój początek z rozwoju cywilizacyjnego ludzkości, w którym, paradoksalnie, poznanie na podstawie wiary w prawdy absolutne, czego ostatecznym produktem jest nasza fizyka w kształcie z XX wieku, doprowadziło do subiektywności przy interpretacji praw kwantowych (an ultimate complementarity!). Jednakże tam, gdzie jest problem, pojawiają się także nowe

możliwości twórcze. Jak bowiem powiedział Einstein: badanie przyrody (w tym nas samych – przyp. JS) to nie jest ani czysta empiria, ani rozmyślanie o niej w oderwaniu od faktów – to ciągła konfrontacja tego, co obserwujemy, z wyobrażeniami, jakie w sobie kreujemy na ten temat. W przypadku (auto)modelowania mózgu te dwa aspekty się splotyły nierozzerwalnie, jak dwa fotony w emisji z atomu wapnia w eksperymentach na temat nielokalności stanów kwantowych [13]. Problem polega na tym, że w rozumieniu nas samych znajdujemy się jeszcze na poziomie przednaukowym, więc najprawdopodobniej takie autopoznanie będzie wyglądać zupełnie inaczej, aniżeli jesteśmy w stanie przypuścić!

Oczywiście, specjalistyczne problemy, które już rozpoczęliśmy badać, będą istnieć dalej – wiele z nich jest równie ważnych. Nie sposób ich wyliczyć. Może zresztą „wielka unifikacja”, czyli połączenie praw grawitacji (w sensie ogólnej teorii względności) z fizyką kwantową jest istotniejsza? Nie jestem specjalistą w tej dziedzinie, ale być może nie da się tego zrobić wobec występowania paradoksów, z jej punktu widzenia, w eksperymentach kwantowych? Być może odkrycie, a przede wszystkim wykorzystanie nadprzewodnictwa w jeszcze wyższej temperaturze, a także wyjaśnienie tego już istniejącego wyjaśni nam coś przez wprowadzenie nowych typów cieczy kwantowych? Może rozwiązany zostanie fundamentalny problem kwantowania ładunku [14]? Gdzie istnieje granica między światem kwantowym a klasycznym i co ona oznacza? Who knows?

Chciałbym serdecznie podziękować moim kolegom: Włodkowi Wójcikowi, Robertowi Podsiadłemu, Andrzejowi Olesiowi, Wojtkowi Żurkowi, Andrzejowi Staruszkiewiczowi i Jackowi Dziarmadze za uwagi krytyczne i zainteresowanie się tym tekstem. Dziękuję przede wszystkim prof. Janowi Klamutowi, którego tekst [15] i uwagi zainspirowały mnie do skonkretyzowania własnych przemyśleń.

Literatura

- [1] A. Kent, „Nocne rozmyślenia fizyka kwantowego”, *Postępy Fizyki* **52**, 68 (2001).
- [2] K. Zalewski, „Fizyka w Polsce w roku 2000”, tamże, s. 78.
- [3] M. Arndt i in., „Wave-particle duality of C₆₀ molecules”, *Nature* **401**, 680 (1999).

- [4] W.H. Żurek, „Decoherence and the transition from quantum to classical”, *Phys. Today*, październik 1991, s. 36.
- [5] *Feynman on Computation*, red. A.J.G. Hey (Perseus Books, Cambridge, MA 1999).
- [6] P.W. Anderson, „More is different”, *Science* **177**, 393 (1972); zob. także: „Historical overview of the twentieth century physics”, w t. III opracowania *Twentieth Century Physics* (IOP Publishing Ltd, Bristol 1995), s. 2017.
- [7] Por. np. K. Rajagopal, „The phases of QCD in heavy ion collisions and compact stars”, *Acta Phys. Polon. B* **31**, 3021 (2000); K. Rajagopal, F. Wilczek, „The condensed matter physics of QCD”, rozdz. 35 w *Handbook of QCD*, t. 3, w druku (preprint arXiv: hep-ph/0011333 v2).
- [8] Por. np. J. Spalek i in., „Exact diagonalization of many-fermion Hamiltonian combined with wave-function readjustment”, *Acta Phys. Polon. B* **31**, 2879 (2000). Ciekawe rozważania na temat oszacowania nieliniowości logarytmicznej w równaniu Schrödingera można znaleźć w: I. Białynicki-Birula, „Czy równanie Schrödingera jest liniowe?”, *Postępy Fizyki* **32**, 171 (1981).
- [9] F. Crick, *What Mad Pursuit* (Basic Books, New York 1988).
- [10] R. Penrose, *Nowy umysł cesarza* (PWN, Warszawa 1995); por. także tego samego autora: *Cienie umysłu* (Zysk i S-ka, Poznań 2000).
- [11] S. Lem, *Summa Technologiae* (Wydawnictwo Literackie, Kraków 1974).
- [12] A.L. Hodgkin, A.F. Huxley, „A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve”, *J. Physiol.* **117**, 500 (1952); por. także: A. Scott, *Schody do umysłu* (WNT, Warszawa 1999).
- [13] G. Greenstein, A.G. Zaionc, *The Quantum Challenge* (Jones and Barlett Publ., Boston 1997).
- [14] A. Staruszkiewicz, „Quantum mechanics of phase and charge and quantization of the Coulomb field”, *Ann. Phys. (NY)* **190**, 354 (1989).
- [15] J. Klamut, „Co będzie z fizyką i chemią fazy skondensowanej w XXI wieku”, *Wiadomości Chemiczne*, w druku.

50 lat fizyki na Politechnice Częstochowskiej

Jerzy J. Wysocki

Instytut Fizyki, Politechnika Częstochowska

50 years of physics at the Technical University of Częstochowa

1. Krótka historia

Początki dzisiejszego Instytutu Fizyki są ściśle związane z powstaniem pierwszej uczelni technicznej w Częstochowie – Wyższej Szkoły Inżynierskiej, którą powołano rozporządzeniem Rady Ministrów z 30 listopada 1949 r. (przemianowanej na Politechnikę Częstochowską w roku 1955). Jednym z organizatorów WSI był prof. Antoni Pietraniec (1905–1986), który od podstaw utworzył już w 1949 r. Katedrę Fizyki Technicznej i został jej pierwszym kierownikiem. Organizacyjnie Katedra należała do Wydziału Mechanicznego (obecnie Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki). Pierwsze wykłady prowadzono w pomieszczeniach istniejącej wówczas w Częstochowie Wyższej Szkoły Ekonomicznej, a pierwsze laboratoria zorganizowano już w grudniu 1949 r. W roku 1950 opracowano i wydano pierwszy skrypt z fizyki dla studentów (A. Pietraniec, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*), będący pierwszym podręcznikiem wydanym przez uczelnię.

W następnych latach w Katedrze zatrudniono kilka dalszych osób, co umożliwiło podjęcie również badań naukowych. Pierwsza większa praca naukowa Katedry dotyczyła anizotropii blach żelaznych. Do badań tych, kierowanych przez prof. Pietrańca, pracownicy Katedry opracowali odpowiednie zestawy pomiarowe.

Kierownik Katedry, prof. Pietraniec (absolwent z roku 1931, a od 1932 r. asystent Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Uniwersytetu Stefana Batorego w Wilnie), zajmował się przede wszystkim mechaniką kwantową, uzyskując w roku 1969 tytuł profesora nadzwyczajnego nauk fizycznych. Należy podkreślić, że prof. Pietraniec położył ogromne zasługi dla rozwoju młodej Uczelni. W latach 1950–52 był pierwszym dziekanem Wydziału Mechanicznego, a w latach 1952–62 sprawował funkcję prorektora Uczelni.

W latach pięćdziesiątych pracownicy Katedry konstruowali głównie aparaturę pomiarową, m.in. liczniki Geigera–Müllera oraz oscylografy ze wzmacniaczami akustycznymi. W tym okresie podejmowane były również prace zlecone o charakterze naukowym. Dotyczyły one m.in. opracowania prototypów i budowy integratorów impulsów dla fizyków jądrowych z Uniwersytetu Warszawskiego.

Należy podkreślić, że już w latach sześćdziesiątych nawiązano współpracę z przemysłem. Dotyczyło to głównie projektowania i budowy stabilizatorów napięciowych oraz hałasomierzy tranzystorowych. Natomiast tematyka prac naukowych poświęcona była m.in. własnościom sorpcyjnym getteru tantalowego oraz zagadnieniom emisji egzoelektronów w procesie rekrytalizacji i przemian fazowych.

Rok 1970 przynosi duże zmiany w życiu Katedry. Zarządzeniem Ministra Oświaty i Szkolnictwa Wyższego zlikwidowano katedry i na ich miejsce powołano instytuty. Katedra Fizyki Technicznej stała się więc Instytutem Fizyki, o charakterze międzywydziałowym, podlegającym bezpośrednio Rektorowi. Dyrektorem Instytutu został prof. Pietraniec.

W pierwszej połowie lat siedemdziesiątych prace badawcze Instytutu dotyczyły głównie fizyki ciała stałego, a w szczególności fizyki metali.

W roku 1975 prof. Pietraniec przeszedł na emeryturę, a dyrektorem Instytutu Fizyki został prof. Bolesław Wysłocki, który wraz z grupą współpracowników przeniósł się z Gliwic do Częstochowy. Prof. Wysłocki pracował w Gliwicach w Instytucie Metalurgii Żelaza oraz Instytucie Fizyki Politechniki Śląskiej.

Praca naukowa Instytutu została przez nowego dyrektora ukierunkowana na zagadnienia związane z fizycznymi podstawami magnetyzmu, a w szczególności na badania zjawisk warunkujących powstanie optymalnych własności magnetycznych w materiałach magnetycznie miękkich (stop Fe-3% Si, taśmy amorficzne, cienkie warstwy permalojowe) oraz magnetycznie twardej (magnesy ze stopu Alnico, MnAlC, izotropowe i anizotropowe magnesy z ferrytu baru, międzymetaliczne związki ziem rzadkich z metalem). Badania te były realizowane na zlecenie Huty Lenina w Nowej Hucie i Huty Baildon w Katowicach. Instytut prowadził również prace, których głównym celem było zbadanie wpływu dynamiki molekularnej na deformację lokalnego pola kompleksów w fluorokrzemianach, elektronowego rezonansu paramagnetycznego jonów manganu w polikrystalicznych układach oraz emisji egzoelektronów ze stali nierdzewnych w niskiej temperaturze i podczas przejść fazowych.

W celu kadrowego wzmocnienia Wydziału Metalurgicznego (od roku 1992 noszącego nazwę Wydziału Metalurgii i Inżynierii Materiałowej) Instytut Fizyki został w roku 1977 włączony do tego Wydziału. Instytut przejął również opiekę nad jedną z sal wykładowych Wydziału (na ok. 200 miejsc, odpowiednio wyposażoną w sprzęt audiowizualny oraz zaplecze z salą zbiorów, które umożliwiają wykonanie pokazów doświadczeń fizycznych uzupełniających wykłady), doprowadzając do nadania temu audytorium imienia wybit-

nego polskiego fizyka, prof. Szczepana Szczeniowskiego. Profesor Szczeniowski zawsze z dużą sympatią wyrażał się o pracy fizyków ośrodka częstochowskiego, uznając go w zakresie fizyki magnetyzmu za znaczący punkt na naukowej mapie Polski. Uroczystość nadania audytorium imienia prof. Szczeniowskiego stała się dużym wydarzeniem w życiu naszej Uczelni. Z tej okazji odsłonięto nad wejściem do audytorium pamiątkową tablicę, autorstwa prof. Zbigniewa Piłkowskiego. Uroczystego odsłonięcia tablicy dokonali bracia prof. Szczeniowskiego: dr Jan Szczeniowski i inż. Zygmunt Szczeniowski. To wydarzenie było okazją do spotkania wychowanków i przyjaciół Profesora, którzy zjechali z całej Polski.

W roku 1978 funkcję zastępcy dyrektora Instytutu objął prof. Stefan Szymura, który pełnił te obowiązki do czasu powołania go na stanowisko prodziekana ds. nauki Wydziału Metalurgicznego na lata 1981–82. W następnych latach (1982–87) prof. Szymura przez dwie kadencje pełnił funkcję dziekana Wydziału, a w latach 1987–90 prorektora ds. nauki PCz.

W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych liczna grupa pracowników Instytutu obroniła prace doktorskie (w 1969 r. obok jednego profesora w Instytucie pracowało 16 asystentów, 3 wykładowców i ani jeden adiunkt wobec 2 profesorów, 16 adiunktów, 1 asystenta i 1 wykładowcy w roku 1989); nadszedł czas na zdobywanie kolejnego stopnia naukowego, doktora habilitowanego. I tak, w latach 1992–2000 odbyło się 6 kolokwium habilitacyjnych w ośrodkach krajowych (Instytut Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Uniwersytet Łódzki, a także macierzysty Wydział) i zagranicznych (Instytut Fizyki Białoruskiej Akademii Nauk w Mińsku). Wszyscy doktorzy habilitowani Instytutu Fizyki zatrudnieni są na stanowisku profesora nadzwyczajnego.

Kolejnym przedsięwzięciem, przynoszącym splendor nie tylko Instytutowi, ale całej Uczelni, było nadanie tytułu doktora honoris causa PCz prof. Henrykowi Szymczakowi, czł. koresp. PAN, długoletniemu dyrektorowi Instytutu Fizyki PAN w Warszawie, a obecnie przewodniczącemu Wydziału III PAN. Uroczystości nadania honorowego tytułu odbyły się w dniu 30 listopada 1995 r. Promotorem był prof. Bolesław Wysłocki, a recenzentami: prof. Jan Klamut z Instytutu Niskich Tem-

peratur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu i prof. Karol Krop z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Rok 1996 przyniósł kolejne zmiany w kierownictwie Instytutu. Co prawda dyrektorem Instytutu na lata 1996–99 po raz kolejny został wybrany prof. Bolesław Wysłocki, ale po raz pierwszy powołano dwóch zastępców: dra Jana Lecha (ds. ogólnych) i dra Jana Świerczka (ds. dydaktyki). W takim samym składzie kierownictwo Instytutu zostało wybrane na następną kadencję, 1999–2002. Dotychczasowy zastępca dyrektora Instytutu dr Andrzej Ślęzak został wybrany na prodziekana ds. nauczania Wydziału Metalurgii i Inżynierii Materiałowej. Natomiast w roku 1997 poczyniono zmiany w organizacji Instytutu, tworząc w miejsce dotychczasowych dwu Zakładów – cztery. Pozostały: Zakład Fizyki Magnetyków, którego kierownikiem do 1998 r. był prof. Stefan Szymura (w 1998 r. przeniósł się na Politechnikę Opolską), a po nim dr hab. Józef Zbroszczyk i Zakład Spektroskopii Rezonansów Magnetycznych z prof. Bolesławem Wysłockim jako kierownikiem. Nowymi zakładami zostały: Zakład Radiospektroskopii Ferroelastyków, którego kierownikiem został dr hab. Włodzimierz Zapart, i Zakład Teorii i Technologii Magnezu z dr hab. inż. Jerzym J. Wysłockim jako kierownikiem.

Rozwój kadrowy Instytutu spowodował podjęcie decyzji o uruchomieniu od roku akad. 1999/2000 nowego kierunku studiów – Fizyka Technicznej, ze specjalnością Fizyka Komputerowa na poziomie studiów inżynierskich. W związku z tym utworzono w Instytucie nowy zakład – Zakład Fizyki Komputerowej, którego kierownikiem została dr hab. Maria Bożena Zapart.

2. Dzień dzisiejszy Instytutu

Instytut Fizyki posiada zarówno samodzielną jak i pomocniczą kadrę naukową, która w pełni zaspokaja potrzeby dydaktyczne Uczelni w zakresie fizyki. Natomiast o wartości naukowej pracowników niech świadczy duża liczba publikacji, które prawie wyłącznie ukazują się w zagranicznych czasopismach, i liczba ich cytowań oraz ciągle awanse naukowe będące tego wynikiem.

W roku akad. 2001/02 w Instytucie Fizyki, podzielonym na 5 zakładów, pracuje 30 nauczycieli akademickich: 1 profesor tytularny na sta-

nowisku profesora zwyczajnego, 6 doktorów habilitowanych na stanowisku profesora nadzwyczajnego, 12 doktorów na stanowiskach adiunktów, 10 magistrów na stanowiskach asystentów oraz 1 starszy wykładowca. Ponadto w Instytucie jest 7 słuchaczy Studium Doktoranckiego przy Wydz. Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, których opiekunami naukowymi są pracownicy Instytutu. Skład personalny Instytutu uzupełniają trzech pracowników technicznych i jeden administracyjny.

W tworzeniu Studiów Doktoranckich na Wydziale duży udział mieli pracownicy Instytutu Fizyki. Pierwszym kierownikiem Studium (w latach 1994–97), który przyczynił się do opracowania programu studiów, był prof. Bolesław Wysłocki, a po nim dr hab. Jerzy J. Wysłocki (1997–98). Obecnie (od października 1999 r.) kierownikiem Studium jest dr hab. Kazimierz Dziliński.

Działalność naukowa odbywa się w ramach istniejących zakładów, choć często badania mają szerszy charakter, obejmując jednocześnie kilka zakładów. Najogólniej można wyróżnić następujące zespoły badawcze: materiałów magnetycznych (twardych i miękkich), rezonansu paramagnetycznego i egzoemisji elektronów. Zespoły te dysponują następującymi pracownikami naukowymi: badań magnetycznych (wyposażoną w anizotrop torsyjny i wagę magnetyczną); badań mikrostruktury i struktury domenowej (z mikroskopami optycznymi z możliwością obserwacji w obrotowym polu magnetycznym); elektronowego rezonansu paramagnetycznego (posiadające spektrometr EPR); spektroskopii mössbauerowskiej (wyposażone w spektrometr z komputerowym opracowaniem wyników pomiarów); egzoemisji elektronów (posiadające zrywarę z elektroniczną obróbką pomiarów); badań strukturalnych (wyposażoną w dyfraktometr rentgenowski); obróbki termomagnetycznej (posiadające piece, magnesnice i histerezograf). Instytut posiada również dobrze wyposażoną bibliotekę z czytelną czasopiśmiennicą.

Aktualnie działalność naukowa Instytutu Fizyki jest kontynuacją i istotnym rozwinięciem dotychczasowych badań w zakresie fizycznych podstaw magnetyzmu. zastosowań metody elektronowego rezonansu paramagnetycznego w badaniach fazy skondensowanej oraz zjawisk powierzchniowych warunkujących egzoemisję elektronów.

Przedmiotem badań w zakresie fizyki magnetyków jest doskonalenie parametrów użytkowych materiałów magnetycznie miękkich (taśmy amorficzne i nanokrystaliczne) i twardych (magnesy Nd-Fe-B oraz nanokrystaliczne magnesy kompozytowe $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3 + \alpha\text{-Fe}$). Ważne wyniki uzyskano w badaniach struktury domenowej, dezakomodacji przenikalności magnetycznej oraz histerezy rotacyjnej tych materiałów. Prace w zakresie nowych technologii otrzymywania magnesów (np. przez napylenie plazmowe) cechują się oryginalnością i stanowią dla innych placówek o podobnym profilu naukowym istotne uzupełnienie. Osiągnięte wyniki wyróżniają się tym, że są skorelowane ze stale rozbudowywaną teorią mechanizmów przemagnesowania. Natomiast prace prowadzone z wykorzystaniem spektrometru EPR skoncentrowane są na badaniach przejść fazowych, ze szczególnym uwzględnieniem układów, w których występują fazy ferroelastyczne i modulowane strukturalnie. W tym zakresie za istotne osiągnięcia należy uznać wykazanie, na przykładzie kryształów rodziny A_2BX_4 , że metodą EPR można badać przejścia fazowe w materiałach o uporządkowaniu ferrielastycznym, oraz określenie konfiguracji elektronowej jonów żelaza w mono- i dimerowych kompleksach porfirynowych.

Wymienione badania w zakresie opisu powierzchni próbek oraz wpływu tej powierzchni na własności makroskopowe tych próbek są uzupełniane przez badania związane ze stymulacją egzocyemii elektronowej.

Prace naukowe prowadzone w Instytucie Fizyki znajdują się w głównym nurcie badań światowych (o czym świadczą zarówno cytowania prac w literaturze zagranicznej jak i przyznawane projekty badawcze finansowane przez KBN) i ulegają stałej intensyfikacji, m.in. dzięki szerokiej współpracy Instytutu z uznanymi ośrodkami naukowymi krajowymi i zagranicznymi. I tak, np. w dziedzinie badań magnetycznych od wielu lat rozwija się ścisła współpraca Instytutu z wyspecjalizowanymi w podobnych badaniach jednostkami, m.in. Instytutem Fizyki PAN w Warszawie, Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu i Wydziałem Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej. Za niezwykle cenną i korzystną w tym zakresie należy uznać również współpracę międzyna-

rodową, m.in. z Kyushu University i Nagasaki University w Japonii, Central Iron and Steel Research Institute w Pekinie (Chiny), Research Institute for Solid State Physics w Budapeszcie (Węgry) oraz Departamento de Fisica, Universidad Publica de Navarra w Pampelunie (Hiszpania). Natomiast badania EPR układów z fazami ferroelastycznymi i modulowanymi strukturalnie prowadzone są we współpracy z Instytutem Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu, Wydziałem Fizyki Uniwersytetu we Lwowie (Ukraina) oraz Laboratoire de Spectroscopie de Solide, Faculté de Science w Le Mans (Francja). Natomiast badania struktury elektronowej metaloporfiryn prowadzone są w ramach ścisłej współpracy Instytutu Fizyki z Instytutem Fizyki Molekularnej i Atomowej Białoruskiej Akademii Nauk w Mińsku.

3. Działalność w zakresie dydaktyki

Działalnością dydaktyczną Instytutu Fizyki objęci są studenci wszystkich wydziałów PCz. Zajęcia dla kursu podstawowego fizyki obejmują ok. 1000 godzin wykładów, 2000 godz. ćwiczeń audytoryjnych oraz 7000 godz. ćwiczeń laboratoryjnych.

W roku akademickim 1999/2000 na Wydziale uruchomiono nowy kierunek studiów – Fizyka Techniczna ze specjalnością Fizyka Komputerowa na poziomie studiów inżynierskich (odpowiednia uchwała Senatu została zatwierdzona przez Ministerstwo Edukacji Narodowej 8 września 1999 r.). Tak więc po raz pierwszy w ponadpięćdziesięcioletniej historii istnienia fizyki na Politechnice Częstochowskiej Instytut Fizyki ma swój kierunek i kształci swoich studentów, jednocześnie prowadząc zajęcia na wszystkich wydziałach uczelni. W wyniku pierwszej rekrutacji prowadzonej na ten kierunek w roku 2000/01 utworzono jedną grupę studencką. W Instytucie Fizyki realizowane są również prace dyplomowe studentów kierunków Metalurgia i Inżynieria Materiałowa, którymi opiekują się pracownicy Instytutu. Do tej pory wykonano 30 takich prac. Aktualnie Instytut posiada następujące laboratoria dydaktyczne: Laboratorium mechaniki i ciepła, Laboratorium optyki, Laboratorium elektryczności i magnetyzmu, Laboratorium fizyki współczesnej, Laboratorium fizyki ciała stałego.



Pracownicy Instytutu Fizyki Politechniki Częstochowskiej (3 kwietnia 2001 r.): 1 – dr hab. Maria Bożena Zapart, prof. PCz, 2 – prof. dr hab. Bolesław Wysocki (dyrektor Instytutu Fizyki), 3 – dr Andrzej Ślęzak (prodziekan ds. nauczania Wydz. Metalurgii i Inżynierii Materiałowej), 4 – dr Jan Świerczek (zastępca dyrektora Instytutu), 5 – dr hab. Kazimierz Dziliński, prof. PCz (kierownik Studiów Doktoranckich), 6 – dr hab. Włodzimierz Zapart, prof. PCz, 7 – dr Jan Lech (zastępca dyrektora Instytutu), 8 – dr hab. Józef Zbrozczyk, prof. PCz, 9 – dr hab. Jerzy J. Wysocki, prof. PCz, 10 – dr hab. Ryszard Hrabański, prof. PCz.

Od wielu lat pracownicy Instytutu Fizyki prowadzą działalność popularyzującą wiedzę fizyczną. Część tych działań prowadzona jest wspólnie z Oddziałem Częstochowskim Polskiego Towarzystwa Fizycznego, ponieważ wszyscy nauczyciele akademicy są jednocześnie członkami PTF. Działania te obejmują wykłady popularnonaukowe dla młodzieży szkół średnich i podstawowych, bogato ilustrowane demonstracjami. Pokazy te są doskonałą okazją do uzupełnienia i poszerzenia wiedzy zdobywanej na lekcjach fizyki. Ponadto pracownicy Instytutu biorą udział w akcji „otwarte drzwi”, która ma na celu zapoznanie uczniów szkół średnich z możliwościami kształcenia na Politechnice Częstochowskiej.

Instytut Fizyki posiada skrypty opracowane przez pracowników Instytutu. Jak już wspomniano, pierwszy skrypt został wydany w roku 1950, tj. pierwszym roku istnienia Uczelni. Natomiast ostatnim podręcznikiem jest skrypt autorstwa dra Jana Lecha zatytułowany *Opracowanie wyników pomiarów w pierwszej pracowni fi-*

zycznej, wydany przez Wydawnictwo PCz w roku 1997. W trakcie opracowywania przez pracowników Instytutu jest również nowy skrypt do ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki.

Z inicjatywy Instytutu Fizyki na Wydziale Metalurgii i Inżynierii Materiałowej powołano Wydziałowe Centrum Kształcenia, w skład którego wchodzi Instytuty Fizyki, Matematyki i Chemii. Celem Centrum jest prowadzenie różnego rodzaju szkoleń i kursów, np. kursu przygotowawczego dla kandydatów na studia lub kursu wyrównawczego dla studentów.

4. Inne formy działalności pracowników Instytutu

4.1. Polskie Towarzystwo Fizyczne

Oddział Częstochowski Polskiego Towarzystwa Fizycznego istnieje od 1974 r. Środowisko fizyków Częstochowy, w skład którego wchodzi fizycy z Instytutu Fizyki PCz, Instytutu Fizyki

Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Częstochowie oraz nauczyciele fizyki częstochowskich szkół, odczuwało brak organizacji, której jednym z podstawowych celów byłaby jego integracja. Dziś, po ponad ćwierćwieczu działalności, można z całą pewnością stwierdzić, że działania Częstochowskiego Oddziału PTF, mające na celu dalszą integrację częstochowskiego środowiska fizycznego w działaniach naukowych i popularyzujących, przynoszą dobre efekty.

Pierwszym przewodniczącym Zarządu Oddziału (w latach 1974–78) został doc. Bogdan Całusiński (1934–1999), wcześniej długoletni pracownik Instytutu Fizyki Politechniki Częstochowskiej, a później Instytutu Fizyki WSP. Zgodnie z niepisaną umową, na przewodniczących Oddziału wybierani są na zmianę pracownicy Politechniki i WSP. I tak, drugim przewodniczącym Oddziału został prof. Stefan Szymura (w latach 1978–80), a dalej, wymieniając tylko pracowników Instytutu: dr hab. Ryszard Hrabański (1982–85), dr Marta Duś-Sitek (1987–89), dr hab. Włodzimierz Zapart (1991–93), dr hab. Jerzy J. Wyslocki (1995–97) i dr hab. Kazimierz Dziliński (od 1999 r.).

Działalność Oddziału Częstochowskiego PTF skupia się na kilku wybranych kierunkach: naukowym, popularnonaukowym (popularyzatorskim) i dydaktycznym. W ramach działalności naukowej odbywają się posiedzenia naukowe (średnio 6 rocznie), na których wygłaszają referaty członkowie Oddziału i zaproszeni goście. W ramach działalności popularnonaukowej członkowie Oddziału prowadzą zajęcia dla młodzieży szkół średnich i podstawowych. Instytut Fizyki PCz zorganizował cykl wykładów i demonstracji zjawisk fizycznych (10 spotkań) pod wspólną nazwą „Cyrk Fizyków”. Cykl ten cieszył się ogromną popularnością, gromadząc ponad 300 słuchaczy na każdym spotkaniu. Same szkoły również często zamawiają pokazy dla swoich uczniów. Pracownicy Instytutu (dr Marta Duś-Sitek, dr Zbigniew Olszowski i dr Romualda Pfranger) biorą również udział w pracach Częstochowskiego Komitetu Okręgowego Olimpiady Fizycznej, który organizuje olimpiady fizyczne I i II stopnia dla uczniów szkół średnich trzech dawnych województw: częstochowskiego, kieleckiego i opolskiego. W ramach działalności dydaktycznej prowadzona jest współpraca ze środowiskiem nauczycieli szkół podsta-

wowych i średnich, bezpośrednio lub we współpracy z Wojewódzkim Ośrodkiem Metodycznym, poprzez zajęcia z młodzieżą, pokazy pomocy dydaktycznych, udział w organizowaniu konferencji naukowo-metodycznych, udział w egzaminach na stopnie specjalizacji zawodowej czy konsultacje dla nauczycieli.

4.2. *Seminaria Interdyscyplinarne*

Instytut Fizyki PCz wspólnie z Duszpasterstwem Akademickim od 1994 r. organizuje comiesięczne Seminaria Interdyscyplinarne (wcześniej Seminaria odbywały się w kościele akademickim). Celem Seminariów, skierowanych nie tylko do środowiska akademickiego Częstochowy, jest przedstawienie wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi dziedzinami ludzkiego poznania: naukami przyrodniczymi, filozofią, teologią i sztuką. Programowy patronat nad Seminariami sprawują: dyrektor Instytutu Fizyki prof. Bolesław Wyslocki oraz ks. bp dr hab. Antoni Długosz – Biskup Pomocniczy Archidiecezji Częstochowskiej (obszerniejsze informacje na ten temat zostały opublikowane w *Kronice Postępów Fizyki* 48, zes. 3 (1997)).

5. Zakończenie

Fizyka istnieje na Politechnice Częstochowskiej tak długo, jak długo istnieje sama Uczelnia. Dzięki stabilnej, trwałej i przemyślanej pracy obu dotychczasowych dyrektorów Instytutu Fizyki: prof. Antoniego Pietrańca, kierującego Instytutem w latach 1949–75, i prof. Bolesława Wyslockiego, sprawującego tę funkcję nieprzerwanie od 1975 r., udało się stworzyć w Politechnice Częstochowskiej silny i znaczący ośrodek specjalizujący się w fizyce ciała stałego. Należy podkreślić, że ośrodek ten jest silny przede wszystkim dzięki rozwojowi własnej kadry naukowej. Wszyscy obecnie pracujący na stanowiskach profesorów rozpoczynali pracę w Instytucie Fizyki jako asystenci lub adiunkci.

Wyniki uzyskiwane w trakcie prowadzonych badań charakteryzują się w wielu przypadkach cechami nowości, nie tylko w skali krajowej, ale również światowej. Miarą uznania ich wartości jest m.in. fakt, że większość tych wyników stanowi od wielu lat treść prac publikowanych w znanych czasopismach zagranicznych o szerokim zasięgu. Co

roku ok. 30 prac ukazuje się drukiem, a drugie tyle przedstawiane jest na krajowych i zagranicznych konferencjach.

Doceniając wkład pracy i osiągnięcia naukowe pracowników Instytutu Fizyki (m.in. 6 habilitacji w latach 1992–2000), a także fakt powołania na Wydziale nowego kierunku – Fizyka techniczna, ze specjalnością Fizyka komputerowa (w roku akademickim 2001/02 prowadzonym już na poziomie studiów magisterskich), Senat PCz poparł uchwałę Rady Wydziału z dnia 20 lutego

2001 r. o zmianie dotychczasowej nazwy Wydziału na Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej.

Mimo wielu niewątpliwych sukcesów fizycy z Politechniki Częstochowskiej nie zamierzają zadowolić się dotychczasowymi osiągnięciami i myśla już o dalszych planach na przyszłość, a w szczególności rozwoju naukowym własnej kadry (kolejne 2 habilitacje w roku 2001), tak aby można było wystąpić o nadanie praw doktoryzowania w zakresie fizyki.

Podstawowe doświadczenia pokazowe z reologii i magnetoreologii

Stanisław Bednarek

Instytut Fizyki, Uniwersytet Łódzki

Basic demonstration experiments in rheology and magnetorheology

Abstract: Description of experiments which illustrate fundamental rheological and magnetorheological phenomena is presented. The experiments appear useful as demonstrations during the course in physics of condensed matter or materials physics.

1. Wstęp

Wiele materiałów stosowanych we współczesnej technice, a ostatnio również w przedmiotach codziennego użytku, wykazuje podczas odkształceń niezwykle interesujące i ważne właściwości, np. histerezę sprężystą czy płynięcie, których nie jest w stanie wyjaśnić teoria sprężystości [1]. Zachowanie się tych materiałów opisuje dział fizyki z pogranicza hydrodynamiki i teorii sprężystości nazywany reologią [2]. Przedmiotem badań reologii są m.in. procesy deformacji, płynięcia i relaksacji naprężeń różnego rodzaju tworzyw sztucznych, zawieszin oraz materiałów sypkich. Intensywny rozwój reologii datuje się od czasu II wojny światowej, kiedy to wymagania techniki wojskowej stworzyły zapotrzebowanie na nowe materiały i technologie [3]. Od kilkunastu lat stosuje się również materiały, których podatność na odkształcenia i inne właściwości mogą być w szerokich granicach zmieniane przez pole magnetyczne. Materiały te stanowią przedmiot badań magnetoreologii.

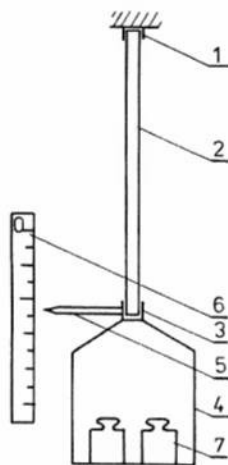
Celem tego artykułu jest przedstawienie opisów serii doświadczeń pokazowych ilustrujących podstawowe zjawiska będące przedmiotem zainteresowania reologii i magnetoreologii. Doświadcze-

nia te w większości nie zostały dotychczas opisane w literaturze z zakresu dydaktyki fizyki i mogą okazać się przydatne podczas wykładów, pozwalając zapoznać studentów z elementami ważnych działów współczesnej fizyki o coraz większym znaczeniu praktycznym.

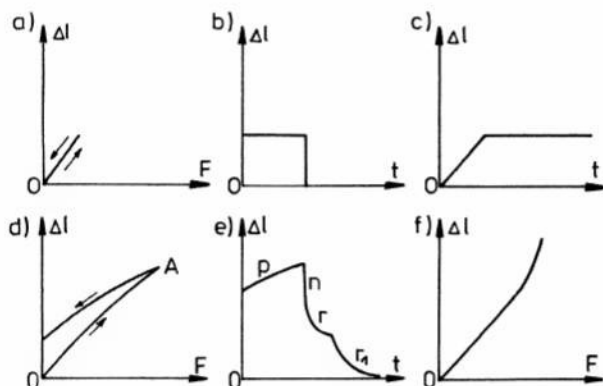
2. Eksperymenty z materiałami reologicznymi

Zasadnicze różnice między właściwościami doskonale sprężystymi i reologicznymi można wykazać w układzie przedstawionym na rys. 1. W nieruchomym zacisku (1) mocuje się koniec gumowej taśmy (2) otrzymanej z rozciętej dużej gumki aptekarskiej lub gumy modelarskiej. Na dolnym końcu tej taśmy zamocowany jest podobny zacisk (3) zaopatrzony w lekką szalkę (4) i wskazówkę (5), której ostrze znajduje się na tle podziałki (6). Umieszczając kolejno na szalce kilka niewielkich odważników (7) i odczytując na podziałce wydłużenia taśmy Δl otrzymuje się wykres przedstawiony na rys. 2a. Zależność Δl od przyłożonej siły F jest liniowa, a po usunięciu odważników $\Delta l = 0$. Wykres zależności Δl od czasu t przedstawia rys. 2b, wskazujący, że taśma wraca do początkowej długości bez opóźnienia po

jednoczesnym usunięciu wszystkich odważników. W tym doświadczeniu taśma zachowuje się jak ciało doskonale sprężyste.



Rys. 1. Układ do pokazu właściwości sprężystych i reologicznych ciał poddanych rozciąganiu.



Rys. 2. Zależności wydłużenia Δl od przyłożonej siły F i od czasu t dla ciała doskonale sprężystego (a,b) oraz dla ciał reologicznych (c-f).

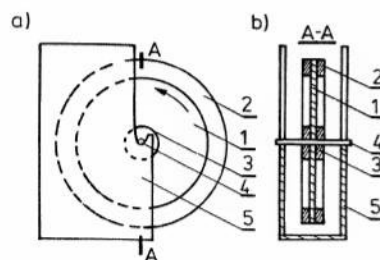
Jeżeli zastąpić taśmę cienkim drutem cynowym używanym do lutowania i poddać obciążeniu, które następnie zostanie całkowicie usunięte, to wykres zależności Δl od t dla tego materiału będzie taki jak na rys. 2c. Mimo usunięcia obciążenia Δl nie zmieni się, co oznacza, że drut cynowy zachowuje się jak ciało doskonale plastyczne.

Zastępując drut taśmą gumową i poddając ją kilkakrotnie większemu obciążeniu niż w pierwszym doświadczeniu stwierdza się nieliniową zależność Δl od F przedstawioną przez krzywą OA na rys. 2d. Po usunięciu wszystkich obciążników pozostaje $\Delta l > 0$, co oznacza występowanie histe-

rezy sprężystej taśmy. Zależność Δl od t w tym przypadku jest taka, jak na rys. 2e. Pod stałym obciążeniem Δl powoli wzrasta i materiał taśmy wykazuje płynięcie, zwane też pelzaniem (krzywa p na wykresie). Dla niezbyt dużych obciążeń płynięcie zachodzi do pewnej granicy i nie powoduje zniszczenia materiału.

Po jednoczesnym usunięciu wszystkich obciążników Δl zmniejsza się skokowo, ale nadal pozostaje niezerowe. Jest to tzw. natychmiastowa odpowiedź materiału, reprezentowana na wykresie przez pionowy odcinek n. Następnie Δl maleje asymptotycznie do pewnej granicy, na ogół większej od zera. Proces ten nazywa się relaksacją (krzywa r). Relaksację można przyspieszyć i zmniejszyć końcową wartość Δl przez ogrzanie taśmy, np. suszarką do włosów lub opalarką do farb, co obrazuje krzywa r_1 , reprezentująca tzw. relaksację termiczną. Jeżeli początkowe obciążenie taśmy będzie odpowiednio duże i szybko przyłożone, to nastąpi płynięcie bez określonej granicy powodujące zerwanie taśmy (rys. 2f). Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że ten sam materiał może zachowywać się jak ciało doskonale sprężyste lub wykazywać właściwości reologiczne. Zależy to od sposobu przyłożenia obciążenia oraz jego wielkości.

Relaksacja termiczna znalazła zastosowanie w interesującym modelu silnika termodynamicznego (rys. 3). Gumowy krążek (1) został równo-

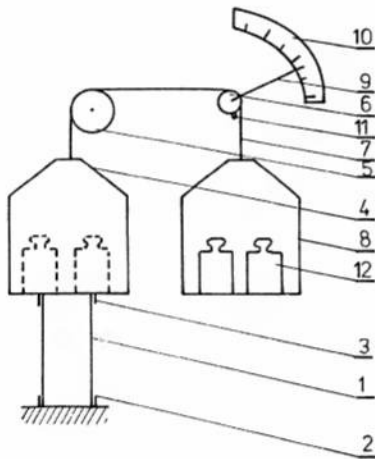


Rys. 3. Model silnika termodynamicznego wykorzystującego relaksację termiczną ciała reologicznego.

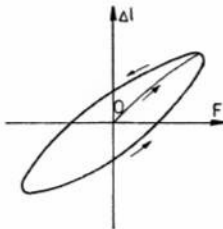
miennie rozciągnięty w kierunku radialnym i zaciśnięty, np. za pomocą wkrętów, między dwoma metalowymi pierścieniami (2) i tarczami (3), stanowiącymi piastę, przez którą przechodzi oś (4). Utworzone w ten sposób koło powinno być dokładnie wyważone i mieć możliwość obrotu z jak najmniejszym tarciem w wycięciach wygiętego z blachy wspornika (5), zasłaniającego połowę

koła. Po ogrzaniu odsłoniętej połowy koła, np. żarówką o dużej mocy lub opalarką do farb, zaczyna ono obracać się w kierunku wspornika. Jest to spowodowane relaksacją termiczną i kurczeniem się ogrzewanej części gumowego krążka. W wyniku tego środek masy koła oddala się od osi, a wytworzony przez to niezrównoważony moment siły ciężkości powoduje jego obrót.

Poddając elastyczny materiał cyklowi obciążenia rozciągającego i ściskającego w układzie przedstawionym na rys. 4 uzyskuje się pełną pętlę histerezy wydłużenia Δl (rys. 5). W ukła-



Rys. 4. Układ do pokazu pętli histerezy sprężystej.

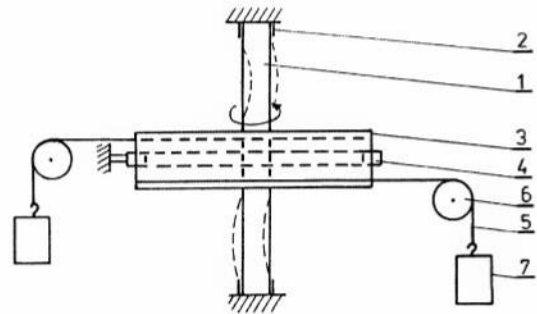


Rys. 5. Pętla histerezy sprężystej.

dzie tym gumowy walec (1) zamocowano od dołu w zacisku (2), a od góry w zacisku (3) połączonym z lekką szalką (4). Przez nieruchome bloczki (5) i (6) przełożono mocną nić (7) łączącą szalkę (4) z podobną szalką (8). Bloczek (6) ma niewielką średnicę i wyposażony został w długą wskazówkę (9) umieszczoną na tle podziałki (10) i zacisk (11) służący do przymocowania nici kilkakrotnie owiniętej wokół tego bloczka. Zapobiega to poślizgowi nici i zapewnia dobrą widoczność małych zmian długości próbki. Umieszczając ob-

ciążniki (12) na szalce (4) lub (8) obserwuje się zmiany długości walca poddanego odpowiednio rozciąganiu lub ściskaniu i uzyskuje dane do wykreślenia pętli histerezy.

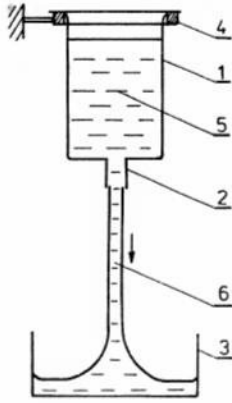
Jeżeli zamocowany na końcach pręt z elastycznego materiału zostanie skręcony przez parę sił powodującą tzw. czyste skręcanie bez zginania, to jego długość wzrośnie i nastąpi wyboeczenie (rys. 6). Przyczyną tego zjawiska, nazywanego efektem Poyntinga, jest wytworzenie podczas skręcania sił ściskających, które po przekroczeniu wartości krytycznej powodują wyboeczenie. Celem pokazania efektu Poyntinga końce gumowego pręta (1) zamocowano w zaciskach (2), a w połowie jego długości osadzono tarczę (3) ułożyskowaną w nieruchomym pierścieniu (4). Na tarczę nawinięto nici (5) przechodzące przez bloczki (6). Początki nici przymocowano do tarczy, a ich końce skierowano w przeciwnie strony i zawieszono na nich obciążniki (7), dające moment siły skręcający pręt.



Rys. 6. Układ do pokazu efektu Poyntinga.

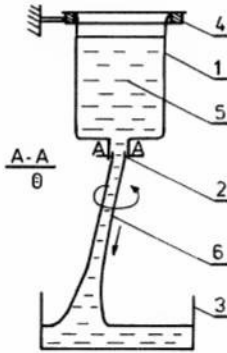
Podczas wypływu bardzo lepkiej cieczy, tzw. cieczy nienewtonowskiej, z pionowej cylindrycznej rury obserwowany jest efekt Fano nazywany też bezrurowym syfonem (rys. 7). Układ do pokazu efektu Fano jest bardzo prosty i składa się z przezroczystego naczynia (1) z cylindrycznym wylotem w dnie (2), pod którym ustawiono płaskie, również przezroczyste naczynie (3). Po zamocowaniu naczynia (1) w uchwycie (4) wlano do niego ciekłą żywicą epoksydową (5), stosowaną jako składnik klejów. Wypływając przez wylot (2) żywica tworzy charakterystyczną dla efektu Fano rozszerzającą się u dołu kolumnę (6) podtrzymaną przez bardzo duże siły lepkości.

Jeżeli przepływ cieczy nienewtonowskiej odbywa się przez rurę o przekroju poprzecznym in-



Rys. 7. Układ do pokazu efektu Fano.

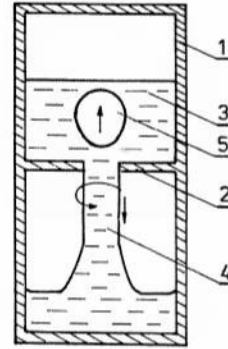
nym niż kołowy, to struga ciecży podlega cyrkulacji wokół kierunku przepływu. Zjawisko to można łatwo zademonstrować w podobnym do poprzedniego układzie przedstawionym na rys. 8. Oznaczenia elementów w tym układzie są takie same jak na rys. 7. Jedyna różnica polega na tym, że wylot (2) naczynia (1) ma przekrój poprzeczny różny od kołowego. W tym przypadku wypływająca ciecż tworzy również bezrurowy syfon.



Rys. 8. Układ do pokazu cyrkulacji strugi ciecży nienewtonowskiej podczas przepływu przez rurę o przekroju poprzecznym innym niż kołowy.

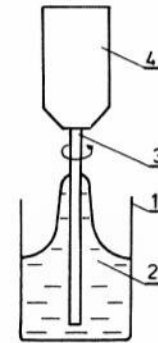
Zarówno efekt Fano, jak i cyrkulację strugi ciecży nienewtonowskiej można obserwować przy użyciu zabawki nazywanej często klepsydrą żelową (rys. 9). Zabawka ta składa się z zamkniętego cylindrycznego naczynia (1) wykonanego z przezroczystego tworzywa sztucznego. Wewnątrz naczynia znajduje się przegroda (2) z dużym otworem i bardzo lepka ciecż (3). Gdy naczynie zostanie ustawione tak, żeby ciecż znalazła się nad przegrodą, następuje jej wypływ przez otwór, a struga ciecży tworzy kolumnę (4) charakterystyczną dla efektu Fano. Ponieważ otwór ma dużą

średnicę, wypływ ciecży zachodzi tylko przez jego część o przekroju różnym od kołowego i obserwuje się także cyrkulację strugi. Wyrównywanie się ciśnienia między obu częściami naczynia następuje skokowo za pośrednictwem pęcherzy powietrza (5) przeciskających się przez ciecż i dlatego grubość strugi ulega zmianom.



Rys. 9. Efekt Fano i cyrkulacja strugi ciecży nienewtonowskiej w klepsydrze żelowej.

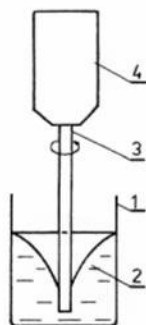
Po umieszczeniu w ciecży nienewtonowskiej obracającego się pręta obserwuje się efekt Weissenberga, polegający na wznoszeniu się ciecży wokół pręta (rys. 10). Do zademonstrowania tego



Rys. 10. Sposób pokazu efektu Weissenberga.

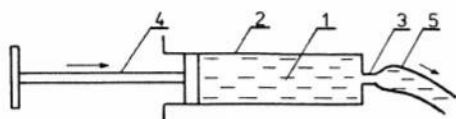
efektu wystarczy w zlewce (1) umieścić żywicę epoksydową (2) i zanurzyć w niej pręt (3) wprawiany w ruch obrotowy za pomocą wiertarki lub miksera (4). Efekt Weissenberga jest odpowiednikiem efektu Poyntinga dla ciecży nienewtonowskiej i ma podobną przyczynę – powstawanie naprężeń osiowych w czasie obrotu. Dla porównania warto tu przypomnieć zachowanie się w tych warunkach ciecży newtonowskiej, np. wody lub gliceryny (rys. 11). Po zanurzeniu tego samego obracającego się pręta (3) w takiej ciecży (2) widać cha-

rakterystyczne obniżenie jej poziomu wokół pręta spowodowane przez siłę odśrodkową.



Rys. 11. Obniżenie poziomu cieczy newtonowskiej wprowadzonej w ruch obrotowy.

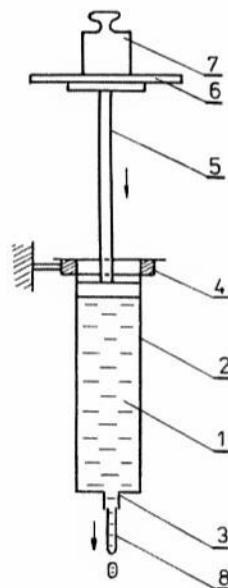
Interesujące efekty zachodzą dla polimerów o dużym ciężarze cząsteczkowym, które nie uległy jeszcze usieciowaniu i nie stały się ciałem stałym, np. silikonu używanego jako masa klejąco-uszczelniająca. Efekty te spowodowane są nieliniową zależnością lepkości cieczy nienewtonowskich od prędkości przepływu. Jeden z nich to efekt Merringtona, polegający na poszerzeniu wypływającej strugi (rys. 12). Wypełniając takim polimerem (1) cylinder (2) z dyszą (3), zamknięty tłokiem (4), np. dużą strzykawkę do pompy infuzyjnej, i poddając polimer szybkiemu wytłaczaniu obserwuje się nawet dwukrotny wzrost średnicy strugi (5) opuszczającej dyszę. Podczas wytłaczania cieczy newtonowskiej średnica wypływającej strugi pozostaje praktycznie stała.



Rys. 12. Układ do pokazu efektu Merringtona.

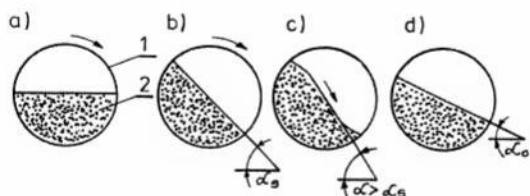
Po sporządzeniu roztworu o niewielkim stężeniu takiego polimeru w cieczy newtonowskiej (np. 15–20% roztwór w acetonie) można zademonstrować efekt Toma, przejawiający się zmniejszeniem oporu przepływu pod stałym ciśnieniem (rys. 13). Pokazu tego efektu dokonuje się wypełniając wspomnianym roztworem (1) cylinder (2) zaopatrzonej w ciekłą dyszę (3) i zamocowanej pionowo za pomocą uchwyty (4). Tłok (5) tego cylindra powinien mieć możliwość przesuwu z niewiel-

kim tarciem (strzykawka szklana lub z gumową nakładką na tłok) i być zaopatrzonej w płytkę (6) przeznaczoną do nakładania obciążnika (7). Mimo że obciążnik wywiera stałe ciśnienie na roztwór, to początkowo niewielka szybkość strugi (8) wypływającej z dyszy nieoczekiwanie wzrasta wskutek zmniejszenia się oporu przepływu. Zarówno efekt Merringtona jak Toma mają istotne znaczenie w przetwórstwie tworzyw sztucznych [4].



Rys. 13. Układ do pokazu efektu Merringtona.

Do zademonstrowania niektórych właściwości reologicznych materiałów sypkich wystarczy przezroczyste, zamknięte pudełko w kształcie dysku lub walca (1) napelnione do połowy drobnym piaskiem (2) (rys. 14a). Niech początkowo powierzchnia swobodna piasku będzie pozioma. Obracając powoli naczynie zauważa się pozostawanie piasku w spoczynku (rys. 14b). Spoczynek utrzymuje się aż do chwili, gdy kąt nachylenia tej powierzchni do poziomu α przekroczy maksymalny kąt stabilności α_s (rys. 14c). Wówczas rozpoczyna się zsuwanie ziarenek piasku, ale tylko w warstwie przypowierzchniowej, która zachowuje się podobnie, jak spływająca lepka ciecz. Ziarenka w pozostałej objętości piasku są przy tym w spoczynku i wykazują właściwości podobne, jak ciało stałe. Ruch ziarenek ustanie, gdy kąt nachylenia powierzchni swobodnej zmaleje do wartości α_0 , zwanej kątem odpowiedzi (rys. 14d). Zachodzące tutaj efekty mają istotne znaczenie dla mechaniki gruntów i składowania kruszyw.



Rys. 14. Sposób pokazu właściwości reologicznych materiałów sypkich.

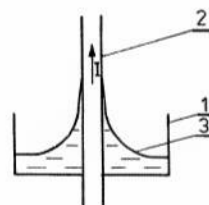
3. Eksperymenty z materiałami magnetoreologicznymi

Wśród materiałów magnetoreologicznych wyróżnia się ferrofluidy, magnetofluidy i elastomery magnetoreologiczne [5]. Ferrofluidy są to stabilne zawiesiny cząstek superparamagnetycznych lub małych cząstek ferromagnetycznych, zwykle magnetytu o rozmiarach rzędu 10^{-8} m, w cieczach o niewielkiej lepkości, np. w nafcie lub wodzie [6]. Żeby zapobiec aglomeracji i wydzielaniu się cząstek z zawiesiny, na ich powierzchni adsorbują się substancje powierzchniowo czynne, np. wyższe kwasy tłuszczowe. Ferrofluidy są grupą materiałów o szczególnym połączeniu silnych właściwości magnetycznych i ciekłych [7].

Jedną z prostych receptur wytwarzania ferrofluidu jest następująca. Do mieszaniny wodnych roztworów o stężeniach 10%, złożonej z 200 ml czterokrotnie uwodnionego chlorku żelazawego ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) i 400 ml sześciokrotnie uwodnionego chlorku żelazowego ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dodaje się 1500 ml stężonej wody amoniakalnej (NH_4OH), stale mieszając przez 5 min. Powoduje to wytrącenie czarnego osadu magnetytu, który przemywa się, przepuszczając przez naczynie wodę destylowaną, i wydziela, odlewając ostrożnie wodę z nad osadu. Następnie osad ogrzewa się do temperatury $40\text{--}50^\circ\text{C}$ i dodaje roztwór złożony z 42 g kwasu oleinowego i 66 g nafty, ciągle mieszając przez 30 min. Otrzymuje się w ten sposób stężony oleisty ferrofluid ulegający łatwemu oddzieleniu od resztek wody. Ferrofluid ten można w miarę potrzeby rozcieńczyć naftą, co powoduje jednak zmniejszenie jego magnetyzacji nasycenia.

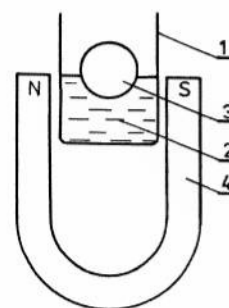
Wciąganie otrzymanego ferrofluidu w niejednorodne pole magnetyczne pokazuje się w układzie przedstawionym na rys. 15. Przez otwór w dnie małego krystalizatora (1) przechodzi gruby drut miedziany (2). Miejsce przechodzenia drutu

jest uszczelnione, np. żelalem silikonowym, dla zabezpieczenia przed wyciekami nalanego do krystalizatora ferrofluidu (3). Podczas przepływu przez przewodnik prądu o natężeniu kilku amperów początkowo pozioma powierzchnia ferrofluidu wznosi się wokół przewodnika, gdzie występuje silniejsze pole magnetyczne.



Rys. 15. Zachowanie się ferrofluidu w pobliżu przewodnika z prądem.

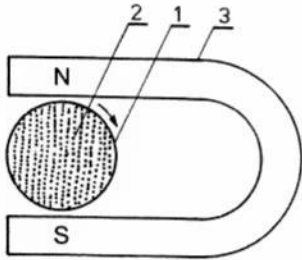
Dodatkowe ciśnienie wywierane przez niejednorodne pole magnetyczne na ferrofluid przejawia się w układzie przedstawionym na rys. 16. W niewielkiej zlewce (1) zawierającej ferrofluid (2) zatapia się nieferromagnetyczną kulkę (3), np. szklaną. Po umieszczeniu naczynia między biegunami magnesu podkowiastego (4) kulka wypływa z ferrofluidu. Jest to spowodowane dodatkowym ciśnieniem na ferrofluid skierowanym pionowo w dół zgodnie z gradientem pola magnetycznego. Indukcja pola magnetycznego w tym oraz w następujących doświadczeniach powinna wynosić co najmniej od kilku do kilkunastu setnych tesli.



Rys. 16. Wypieranie kulki szklanej z ferrofluidu umieszczonego w niejednorodnym polu magnetycznym.

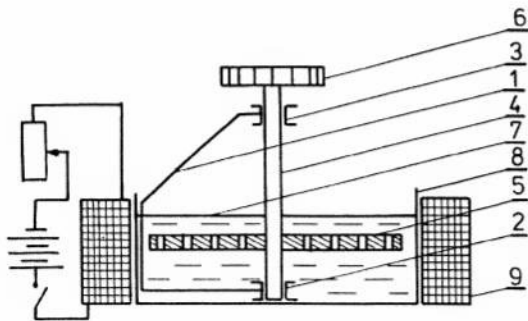
Magnetofluidy to zawiesiny cząstek ferromagnetycznych o rozmiarach rzędu $0,1$ mm w cieczach o dużej lepkości, np. w olejach lub żywicach. W polu magnetycznym cząstki te wskutek wzajemnego przyciągania łączą się w łańcuchy, powodując bardzo duży wzrost lepkości

magnetofluidów, które uzyskują właściwości podobne do ciała stałego. Ten efekt można pokazać w układzie przedstawionym na rys. 17. Zamknięte przezroczyste naczynie w kształcie cienkiego dysku (1) wypełnia się magnetofluidem (2) złożonym z mieszaniny pyłu żelaza o rozmiarach cząstek ok. 0,1 mm i oleju cedrowego używanego jako ciecz immersyjna w mikroskopii. Pył taki otrzymano przez roztarcie w morderzu i przesianie opiółków żelaza. Zawartość żelaza stanowi 35% objętości magnetofluidu. Po umieszczeniu naczynia między biegunami magnesu podkowiastego (3) obserwuje się grupowanie cząstek pyłu w łańcuchy i kolumny skierowane wzdłuż linii pola. Obracając naczynie widzimy, że kolumny te pozostają w spoczynku, co stanowi tzw. efekt wmrózenia cząstek w pole.



Rys. 17. Sposób pokazu uporządkowania i wmrózenia cząstek ferromagnetycznych w polu magnetycznym.

Przykładami licznych zastosowań magnetofluidów są niektóre hamulce i sprzęgła elektromagnetyczne. Model takiego hamulca przedstawia rys. 18. Do wspornika (1) mocuje się łożyska (2)



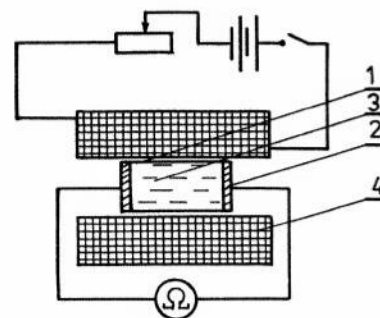
Rys. 18. Model hamulca elektromagnetycznego z magnetofluidem.

i (3), w których może obracać się oś (4) z osadzonymi na niej tarczami (5) i (6). Wszystkie te elementy wykonane są z materiałów nieferromagnetycznych, a oś i tarcze powinny również być dielek-

trykami. Większa tarcza jest wycięta z perforowanej płyty i zanurzona w magnetofluidzie (7) wypełniającym krystalizator (8), natomiast mniejsza tarcza (6) służy do lepszego uwidocznienia ruchu i dlatego jej brzeg został pomalowany w pionowe paski o jaskrawym kolorze. Na krystalizator jest nałożona cewka (9) zasilana z obwodu prądu stałego o regulowanym natężeniu. Gdy obwód ten jest otwarty, tarcze obracają się stosunkowo swobodnie, natomiast po zamknięciu obwodu następuje ich szybkie zahamowanie. Jest to spowodowane zestaleniem magnetofluidu znajdującego się w otoczeniu dolnej tarczy (5) przez pole magnetyczne.

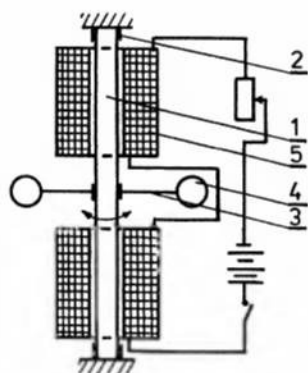
Jeżeli do otrzymanego wcześniej magnetofluidu zostanie dodany pył grafitowy o rozmiarach ziaren rzędu $1 \mu\text{m}$ w ilości stanowiącej ok. 25% objętości magnetofluidu, to łatwo można pokazać zjawisko gigantycznego magnetooporu. Przejawia się ono wielokrotnym zmniejszeniem oporu magnetofluidu po przyłożeniu pola magnetycznego. Przyczyną tego efektu jest utworzenie skierowanych wzdłuż linii pola łańcuchów przewodzących cząstek żelaza i przemieszczonych wraz z nimi cząstek grafitu za pośrednictwem sił lepkości oleju cedrowego. Opór elektryczny takich łańcuchów jest znacznie mniejszy niż nieuporządkowanego rozkładu cząstek. Układ do obserwacji tego zjawiska przedstawia rys. 19. Szklaną rurkę (1), zamkniętą mosiężnymi elektrodami (2), wypełnia się przewodzącym magnetofluidem (3) i przyłącza do omomierza. Na rurkę nakłada się cewkę (4) zasilaną prądem stałym o regulowanym natężeniu. Pole magnetyczne wytwarzane przez ten prąd powoduje spadek oporu magnetofluidu.

Elastomery magnetoreologiczne są to materiały złożone z cząstek ferromagnetycznych o roz-



Rys. 19. Układ do pokazu magnetooporu w magnetofluidach przewodzących.

miarach podobnych jak w przypadku magneto-fluidów, umieszczonych w bardzo podatnych na odkształcenia sprężyste materiałach, takich jak guma czy kauczuk. Pole magnetyczne przyłożone do tych materiałów powoduje opisane wcześniej wzmrożenie cząstek ferromagnetycznych w pole i znaczny wzrost ich modułu sztywności. Układ przeznaczony do pokazu tej właściwości składa się z pręta (1) wykonanego z elastomeru magnetoreologicznego zamocowanego na końcach w zaciskach (2) (rys. 20). Pręt taki for-



Rys. 20. Układ do pokazu wzrostu modułu sztywności elastomerów magnetoreologicznych w polu magnetycznym.

muje się przez wytłaczanie z mieszaniny opiłków żelaza o rozmiarach 0,2–0,5 mm z niespolimeryzowanym żelazem silikonowym stosowanym jako masa klejąco-uszczelniająca, i pozostawienie otrzymanej kształtki do całkowitego spolimeryzowania.

Zawartość opiłków stanowiła 40% objętości mieszaniny, a do wytłaczania użyto strzykawki od pompy infuzyjnej z wylotem powiększonym do 8 mm. W połowie długości pręta zamocowano poprzeczkę (3) z umieszczonymi na końcach kulkami (4). Na obu połowach pręta umieszczono cewki (5) włączone szeregowo w obwód prądu stałego o regulowanym natężeniu. Niech początkowo obwód będzie otwarty. Po obróceniu poprzeczki (3) o pewien kąt i jej zwolnieniu obserwuje się drgania torsyjne pręta o pewnym okresie. Gdy obwód zostanie zamknięty, okres tych drgań znacznie zmaleje, co spowodowane jest wzrostem modułu sztywności pręta w polu magnetycznym.

Literatura

- [1] A.K. Wróblewski, J.A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, t. 2, cz. 1 (PWN, Warszawa 1989), s. 113.
- [2] J. Gluza, W. Kobza, *Mechanika i reologia techniczna* (Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej, Łódź 1991), s. 431.
- [3] E. Kearsley, „Rheology”, w: *Encyclopedia of Applied Physics*, t. 16, red. G.L. Trigg (VCH Publishers, New York 1996), p. 455.
- [4] J. Kopko, T. Czekał, P. Huczowski, J. Polaczek, *Podstawy przetwórstwa tworzyw sztucznych* (Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1984), s. 80.
- [5] J.M. Ginder, „Rheology controlled by magnetic fields”, w: *Encyclopedia of Applied Physics*, op. cit., s. 487.
- [6] E. Blums, A. Cebers, M.M. Maiorow, *Magnetic Fluids* (Walter de Gruyter, Berlin, New York 1997), s. 67.
- [7] M.I. Szliomis, *Usp. Fiz. Nauk* **112**, 427 (1974).

XXXVI Zjazd Fizyków Polskich

Kolejny, już XXXVI Zjazd Fizyków Polskich odbył się w dniach 17–20 września 2001 r. w Toruniu. Myślę, że wszyscy uczestnicy (w liczbie blisko 400) byli bardzo zadowoleni z tego, że Zjazd odbywa się właśnie tam, bo miasto jest piękne i spokojne, bielański kampus na skraju miasta stwarza znakomite warunki dla organizacji imprez naukowych, a do tego – by zapożyczyć sformułowanie od prof. Tomasza Dohnalika – w żadnym innym mieście w Polsce fizyka nie odgrywa tak wielkiej roli w Uniwersytecie, a Uniwersytet w mieście. Jednym słowem, fizycy czują się w Toruniu doskonale.

Formuła Zjazdu przewidywała – prócz wielu imprez towarzyszących – przedpołudniowe sesje plenarne, popołudniowe obrady w sekcjach równoległych oraz kilka sesji plakatowych. Nie jestem entuzjastką takiego układu Zjazdu. Uważam, że podstawą Zjazdu powinny być sesje plenarne, dające wszystkim uczestnikom możliwość wysłuchania atrakcyjnych wykładów przeglądowych, przygotowanych przez najlepszych polskich specjalistów. Wykłady sekcyjne nie różniły się zbytnio od plenarnych – też były przeglądowe (choć może nieco bardziej specjalistyczne), na ogół dobrze przygotowane, co powodowało, że uczestnicy byli zmuszeni dokonywać trudnego wyboru, którego z równoległych wykładów wysłuchać. Organizowanie sesji równoległych i plakatowych jest – jak się domyślam – wyrazem nadziei, że Zjazd może być imprezą choć w części stricte naukową; nadzieja ta jest chyba dość płonna. Próby nawiązywania do zjazdów wielkich towarzystw fizycznych, jak amerykańskie czy niemieckie, nie mają szans powodzenia ze względu na różną liczebność społeczności fizyków w tamtych krajach i w naszym. Myślę, że szukając miejsca przedstawienia wyników najnowszych prac, zawsze będziemy wybierać konferencje międzynarodowe lub specjalistyczne spotkania naukowe w kraju. Zjazd Fizyków Polskich powinien być więc raczej okazją do wzbogacenia wiedzy ogólnofizycznej, spotkania specjalistów różnych specjalności w fizyce i kontaktów z ludźmi, których nie widzimy na co dzień. Temu celowi dobrze służą sesje plenarne (z przerwami między wykładami), sesje dyskusyjne (najlepiej nierównoległe), imprezy towarzyszące oraz odpowiednia organizacja zakwaterowania i posiłków, dająca okazję do licznych, nieformalnych kontaktów uczestników Zjazdu. Jak już wspominałem, ten ostatni aspekt był bardzo mocną stroną zjazdu toruńskiego.

Zjazd rozpoczął się od uroczystej sesji inauguracyjnej, w której wzięli udział liczni przedstawiciele władz miasta (niektórzy są z wykształcenia fizykami), Uniwersytetu (również wśród nich nie brak fizyków), a także towarzystw fizycznych z zagranicy (np. litewskiego) i zaprzyjaźnionych krajowych stowarzyszeń naukowych (np.

Polskiego Towarzystwa Chemicznego) oraz Europejskiego Towarzystwa Fizycznego. Przedstawiciele władz polskiej nauki i edukacji (MEN-u, PAN-u, KBN-u) nie zaszczylicili swą obecnością otwarcia Zjazdu Fizyków Polskich.

Ważnym elementem sesji inauguracyjnej było wręczenie przez prezesa Zarządu Głównego PTF, prof. Ireneusza Strzałkowskiego, nagród Towarzystwa za rok 2001 (listę laureatów zamieściliśmy w Kronice w zeszycie 5/2001). W programie przewidziano także wykład laureata głównej nagrody naukowej PTF – Medalu Mariana Smoluchowskiego – prof. Aleksandra Wolszczana, któremu jednak nie udało się przybyć na Zjazd do Torunia.

Pierwszym wykładem plenarnym było wystąpienie prof. Janusza Zakrzewskiego (IFD UW), laureata Polsko-Niemieckiej Nagrody Smoluchowskiego–Warburga za rok 2001 (por. Kronika w zeszycie 3/2001), poświęcone laserowi na swobodnych elektronach w Hamburgu. Czytelnicy *Postępów Fizyki* znają już te zagadnienia z artykułu prof. Zakrzewskiego, zamieszczonego w zeszycie 5/2001 (a będącego polską wersją artykułu opublikowanego w *Physikalische Blätter* z okazji wręczenia tej Nagrody na posiedzeniu Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego w Hamburgu w marcu 2001 r.). Prof. Zakrzewski poświęcił swój toruński wykład pamięci dyrektora generalnego Niemieckiego Ośrodka Synchrotronu Elektronowego (DESY) w Hamburgu, prof. Bjoerna Wiika, zmarłego tragicznie w lutym 1999 r. Omówił jego karierę i osiągnięcia naukowe, liczne związki z fizykami polskimi, a także ważną rolę, jaką odegrał w zainicjowaniu i przygotowaniu Projektu TESLA, którego aktualny stan został przedstawiony w dalszej części wykładu.

W kolejnym wykładzie prof. Tomasz Dietl (IF PAN, Warszawa) starał się przekonać słuchaczy, dlaczego warto zajmować się półprzewodnikami ferromagnetycznymi. Otóż dlatego, że są to w tej chwili najbardziej obiecujące materiały nowego działu elektroniki – elektroniki spinowej, czyli spintroniki. Jest to dziedzina, w której do przetwarzania, przechowywania i przesyłania informacji ma być wykorzystywany w równym stopniu ładunek, co spin elektronu. Poszukiwanie nowych kierunków rozwoju mikro- i nanoelektroniki jest niezbędne, gdyż sądzi się powszechnie, że dotychczasowa droga rozwoju elektroniki klasycznej, polegająca na miniaturyzacji tranzystorów i komórek pamięci, osiąga już kres swoich możliwości.

Pierwszy z przedstawicieli gospodarzy, prof. Stanisław Chwirot, miał wykład na temat kompletnych (w sensie kwantowym) doświadczeń fizyki atomowej. Chodzi tu o doświadczenia rozproszeniowe, najczęściej dotyczące niesprężystych zderzeń elektronów z atomami, w których wyznacza się wartości oczekiwane układu zupełnego obserwabli przemiennej i tym samym uzyskuje się maksymalną dostępną informację o badanym układzie kwantowym. Treść wykładu w znacznym stopniu pokrywała

się z materiałem przedstawionym uprzednio w obszernym przeglądzie tych zagadnień, zamieszczonym w zeszycie 6/1998 *Postępów Fizyki*.

Kolejny wykładowca, prof. Marek J. Sadowski (IPJ, Świerk), omówił stan i perspektywy badań fizyki plazmy i kontrolowanej syntezy termojądrowej. Przedstawił najważniejsze reakcje jądrowe tej syntezy, metody wyzwania energii termojądrowej w sposób wybuchowy oraz główne kierunki badań nad opanowaniem kontrolowanych reakcji syntezy termojądrowej. Opisał różne metody utrzymywania gorącej plazmy za pomocą zewnętrznych pól magnetycznych, m.in. układy typu Tokamak i Stellarator, a także metody wytwarzania i inercyjnego utrzymywania gorącej plazmy za pomocą wiązek laserowych wielkiej mocy. Omówił również wyniki nowych eksperymentów typu Z-Pinch i Plasma-Focus oraz badań prowadzonych w Polsce.

Wykład prof. Wojciecha Żurka nosił tytuł „Kwantowa teoria klasyczności”. Wykładowca, polski fizyk pracujący od wielu już lat w Los Alamos National Laboratory, zajmuje się m.in. podstawami mechaniki kwantowej, kwantową teorią pomiarów oraz metodami przekazywania informacji kwantowej, w szczególności zmurą informatyków kwantowych – dekoherencją, czyli procesami niszczącymi związki między obiektami kwantowymi, niezbędne do zachowania zakodowanych w nich informacji. W swoim wykładzie starał się przekonać słuchaczy, że dekoherencja jest podstawowym mechanizmem pozwalającym na odróżnienie świata kwantowego od klasycznego.

„Ciecze kwantowe wczoraj i dziś” to tytuł wykładu prof. Józefa Spałka (IF UJ). Wykładowca dokonał przeglądu właściwości cieczy fermionowych i bozonowych oraz innych kwantowych stanów skondensowanych, zwracając szczególną uwagę na znaczenie statystyki kwantowej i oddziaływań między cząstkami dla tworzenia makroskopowych stanów kwantowych. Nawiązał do tak aktualnych układów, jak układy nanoskopowe, ciecze Halla, nadprzewodniki wysokotemperaturowe i organiczne, metaliczny wodór, kondensaty atomowe, plazma kwarkowo-gluonowa czy nadprzewodniki ferromagnetyczne. Analizując stosowalność pojęcia metaliczności w układach nanoskopowych, starał się również odpowiedzieć na pytanie, jak mały może być metal.

Bardzo wyczerpujący przegląd aktualnych zagadnień informatyki kwantowej przedstawił dr Michał Horodecki (IFTiA UG), laureat konkursu im. Grzegorza Białkowskiego na najwybitniejszą pracę doktorską z dziedziny fizyki i astronomii za rok 2000 (por. Kronika w zesz. 1/2001). W wykładzie zatytułowanym „Niezwykłe cechy informacji kwantowej” omówił m.in. podstawowe cechy informacji kwantowej, protokół gęstego upakowania, teleportację kwantową, nielokalność bez splątania oraz dekoherencję i destylację splątania. Swoboda, z jaką bardzo młody przecież wykładowca poruszał się w gąszczu bardzo trudnych i nie do końca klarownych pojęć oraz zagadnień, budzi najwyższe uznanie.

Profesor Kazimierz Rzążewski (CFT PAN, Warszawa) przedstawił wykład o prędkości światła. Mniej

więcej połowę tego wykładu nasi Czytelnicy już znają, gdyż dotyczyła ona słynnego doświadczenia z „impulsem, który opuścił komórkę wcześniej niż do niej wszedł”, obszernie omówionego w artykule zamieszczonym w zeszycie 2/2001 *Postępów Fizyki*. Drugą część wykładu poświęcono jeszcze nowszemu doświadczeniu, w którym – dla odmiany – udało się niezwykle spowolnić, a nawet zatrzymać impuls świetlny (artykuł na ten temat, pióra autorki doświadczenia, Leny Hau, zamieszczony jest w zeszycie *Świata Nauki* z września 2001 r.). Jak więc widać, naukowcy nauczyli się już wyczyniać ze światłem najdziwniejsze rzeczy: zarówno je „przyspieszać”, jak i dramatycznie spowalniać.

Bardzo aktualną problematykę fizyki neutrin omówił prof. Wiesław A. Kamiński (KFT UMCS, Lublin) w wykładzie noszącym podtytuł „Od Tybingi do Kamioki; od widma do cząstki”. Przedstawił w nim historię neutrina i jego badań, poczynając od hipotezy Pauliego przedstawionej w 1930 r. obradującej w Tybindze Grupie ds. Promieniotwórczości, a kończąc na najnowszych pomiarach w eksperymencie nazwanym Super-Kamiokande, wykonanych pod ziemią w kopalni cynku w pobliżu japońskiej miejscowości Kamioka. Wniosek końcowy brzmiał: po ponad 70 latach od chwili pojawienia się na scenie fizyki neutrin wciąż pociąga swoją tajemniczością i rolą, jaką na tej scenie odgrywa i jeszcze odegra.

Profesor Jan Stankowski (IFM PAN, Poznań) przedstawił wykład zatytułowany „Diagram fazowy nadprzewodników wysokotemperaturowych”, zawierający omówienie najnowszych zagadnień z zakresu nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Jak się okazuje, nadal prawdziwe jest stwierdzenie, że odkrycie tego zjawiska, będące wybitnym osiągnięciem fizyki doświadczalnej, wciąż niesie ze sobą wiele wyzwań dla teoretyków.

W kolejnym wykładzie plenarnym, zatytułowanym „Fizyka zimnej materii – temperatury niższe niż w Kosmosie”, prof. Wojciech Gawlik (IF UJ) przedstawił najnowsze dokonania fizyki atomowej, dotyczące zimnych atomów. Omówił metody utrzymywania najniższych temperatur – chłodzenie dopplerowskie, pułapki magnetooptyczne, pułapki magnetyczne, chłodzenie przez odparowanie – oraz zastosowania badawcze zimnych atomów – spektroskopię zimnych atomów w pułapkach magnetooptycznych oraz doświadczenia z kondensatami Bosego–Einsteina (dotyczące spójności kondensatu, nieliniowej optyki atomów – mieszania fal oraz wirów w kondensacie), a także doświadczenia z zimnymi fermionami. Na zakończenie wyraził nadzieję, że dzięki powstaniu w Toruniu Krajowego Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej już wkrótce będzie można prowadzić także w Polsce prace z zakresu fizyki ultrazimnych atomów oraz inżynierii stanów kwantowych.

Następnym wykładowcą był prof. Łukasz A. Turcki (CFT PAN, Warszawa), laureat medalu Europejskiego Towarzystwa Fizycznego za upowszechnianie nauki (EPS Medal for Public Understanding of Physics) za rok 2000 (por. Kronika w zeszycie 5/2001). Przed rozpoczęciem wykładu odbyła się uroczystość wręczenia laureatowi me-

dalą przez sekretarza EPS, dra Davida Lee. Wykład nosił tytuł „O czym każdy człowiek powinien wiedzieć z fizyki, a wstydzi się zapytać fizyków”. Główną jego tezą było stwierdzenie, że najważniejszą rzeczą, jaką powinien znać z fizyki każdy wykształcony człowiek, jest metoda badawcza fizyki, oraz że całe szkolne nauczanie fizyki powinno być podporządkowane realizacji takiego celu. Tylko w ten sposób – argumentował prof. Turski – mamy szansę przekonać naszych współobywateli, że „fizyka to dobra rzecz”.

Wykład prof. Lucjana Jacaka (IF PWR) „Komputer kwantowy – nowe wyzwanie dla nanotechnologii” był kolejnym, którego tematem były perspektywy obliczeń kwantowych. Wykładowca mówił o pomiarach, dekoherencji, informacji kwantowej i algorytmach kwantowych, a także o perspektywach i ograniczeniach komputerów kwantowych w kontekście konkretnych propozycji ich realizacji. Uwagę swą skupił zwłaszcza na rozwiązaniach z zakresu nanotechnologii przy wykorzystaniu dobrze rozwiniętej technologii miniaturyzacji klasycznej informatyki (epitaksji, litografii i procesów samoorganizacji), z których najbardziej interesujące wydają się skorelowane układy kropek kwantowych.

Profesor Józef Barnaś (WF UAM oraz IFM PAN, Poznań) przedstawił wykład zatytułowany „Spin w elektronice”. Argumentował, że ferromagnetyzm (a tym samym i spin elektronu) znalazł najistotniejsze zastosowanie w technikach informatycznych. Omówił szczególnie zjawisko gigantycznego magnetooporu w wielowarstwowych magnetycznych układach metalicznych i perspektywy jego zastosowań, a także zagadnienia związane z magnetooporem tunelowym, strukturami hybrydowymi, wykorzystującymi w jednym układzie własności transportowe półprzewodników i własności magnetyczne metali, oraz zagadnienia związane z tranzystorem jednoelektronowym.

O promieniowaniu γ jako źródle informacji o procesach wysokich energii we Wszechświecie mówił w kolejnym wykładzie plenarnym prof. Włodzimierz Bednarek (KFD UŁ). Wykładowca skoncentrował się na wynikach obserwacji przeprowadzonych w ostatnich latach w obserwatoriach kosmicznych promieniowania γ , które dostarczyły pierwszych wiarygodnych informacji o typach źródeł, w jakich dochodzi do przyspieszania cząstek do bardzo wielkich energii. Przedstawił także perspektywy badań w nadchodzących latach, które powinny umożliwić badanie procesów wysokoenergetycznych w źródłach optycznie gęstych dla promieniowania γ , np. wczesnych faz wybuchów supernowych, oraz rozwiązanie problemu natury mechanizmu produkcji tego promieniowania w źródłach znanych.

Kolejny przedstawiciel środowiska toruńskiego, prof. Włodzisław Duch, w wykładzie pt. „Fizyka umysłu” omówił takie zagadnienia z pogranicza fizyki i biologii, jak relacja umysł-mózg, relacyjna teoria umysłu, od mózgu do umysłu, modele pamięci i sieci atraktorowe, przestrzenie umysłu i ewolucja w przestrzeniach umysłu. Przedstawił pogląd, że choć coraz lepiej rozumiemy działa-

nie mózgu na poziomie mikroskopowym i systemowym, a neurofizjologia bada szczegóły procesów zachodzących w mózgu, to zrozumiałych modeli działania umysłu dostarczyć może tylko fizyka, a w tym celu trzeba poszukiwać cech pozwalających na niskowymiarowe reprezentacje zdarzeń mentalnych i sposobów upraszczania neurodynamiki.

Już po oficjalnym zamknięciu Zjazdu – a więc niejako na deser – odbył się ostatni wykład plenarny. Profesor Krzysztof Ernst (IFD UW) omówił w nim fizykę ping-ponga, a dodatkową atrakcją były pokazy ilustrujące dyskutowane przez wykładowcę zjawiska. Demonstrowali je zaproszeni przez prof. Ernsta profesjonalni tenisiści stołowi. Wykład ten był kolejną wersją pokazu, przygotowanego przez prof. Ernsta na imprezę europejską „Fizyka na scenie”, gdzie odniósł wielki sukces (pisaaliśmy o tym w Kronice w zeszycie 4/2000 oraz w sprawozdaniu z konferencji geneńskiej w zeszycie 2/2001).

Jak widać z powyższego przedstawienia problematyki wykładów plenarnych, ich program został przygotowany bardzo starannie. Wydaje się (choć nigdzie nie było to napisane wprost), że przy układaniu programu Zjazdu dobrze pamiętano o niedawnej setnej rocznicy powstania teorii kwantów i szczególnie wiele miejsca poświęcono zagadnieniom bardzo podstawowym, a zwłaszcza związanym z kwantową naturą zjawisk. W mojej opinii był to bardzo słuszny wybór. Komitet Naukowy (tradycyjnie kierowany przez prezesa PTF – prof. Ireneusza Strzałkowskiego) zadbał o to, by jako wykładowców zaprosić wybitnych specjalistów polskich, mających przy tym dar atrakcyjnego wykładania. W sumie uważam, że od dość dawna żaden Zjazd Fizyków Polskich nie miał tak wysokiego i wyrównanego poziomu wykładów plenarnych.

A były przecież jeszcze wykłady w sesjach równoległych. Tych nie podejmuję się omówić, gdyż siłą rzeczy nie można było wysłuchać wszystkich. Podaję więc jedynie ich spis.

Sesja *Fizyka stosowana* – S. Mróz: „Czy potrzebny jest kierunek studiów: fizyka stosowana?”, H.L. Oczkowski: „Datowanie luminescencyjne”, R. Walczak: „Agrofizyka: fizyka środowiska i żywności”.

Sesja *Edukacja fizyki* – W. Łada: „Ochrona radiologiczna kraju”, L. Nędzka: „Program edukacyjny dla dzieci i młodzieży: ABC bezpiecznej energii”, J. Dunin-Borkowski: „Z fizyką w zreformowanej szkole na studia”.

Sesja *Fizyka atomowa, molekularna i optyka* – T. Dohnalik: „Informacja o Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej, Optycznej (FAMO)”, A. Kowalski: „Badania cząsteczek w wiązkach naddźwiękowych”, J. Musielok: „Wyznaczanie stałych atomowych z plazmy”.

Sesja *Fizyka fazy skondensowanej* – J. Gaj: „Elektrony i dziury, ekscytyny i triony”, K. Parliński: „Obliczenia z pierwszych zasad w fizyce ciała stałego”, A. Patkowski: „Struktura i dynamika materiałów szkłopodobnych”.

Sesja *Historia fizyki* – A.K. Wróblewski: „Dlaczego potrzebna jest historia fizyki?”.

Sesja *Fizyka środowiska i energetyka jądrowa* – A. Hryniewicz: „Co dalej z energią jądrową w Polsce?”, T. Stacewicz: „Badanie atmosfery przy użyciu lidar”, K. Różański: „Antropogeniczne zmiany klimatu – mit czy rzeczywistość?”.

Sesja *Fizyka medyczna* – J. Żebrowski: „Chaos a medycyna – fizyka w diagnostyce zaburzeń rytmu serca”, A. Kowalczyk: „Tomografia optyczna”, P. Marszałek: „Chemiczna identyfikacja pojedynczych makromolekuł przy pomocy AFM”.

Sesja *Fizyka cząstek elementarnych i oddziaływań fundamentalnych* – K. Rybicki: „Badania cząstek elementarnych na początku nowego milenium”, Z. Lalak: „Nowe kierunki na pograniczu teorii grawitacji i teorii cząstek elementarnych”.

Zorganizowano także sesje plakatowe: fizyki jądra, cząstek elementarnych i oddziaływań fundamentalnych, fizyki atomowej, molekularnej i optyki, fizyki fazy skondensowanej oraz dydaktyczną. Przedstawiono też pokazy ciekawych demonstracji fizycznych oraz sprzętu dydaktycznego, a grupa „Quark” z Katowic pokazała swoje Laboratorium Objazdowe z Fizyki. Dwie bardzo ciekawe wystawy historyczne przygotowali gospodarze. Pierwsza z nich to jedyna w swoim rodzaju wystawa dawnych podręczników fizyki w języku polskim (z lat 1764–1942), a druga to wystawa rekonstrukcji dawnych przyrządów fizycznych wraz z pokazem ich działania, czyli jak eksperymentowano dawniej. Tradycyjnie swoje wyroby prezentowali producenci i dystrybutorzy aparatury naukowej i dydaktycznej oraz twórcy oprogramowania, a także wydawnictwa naukowe.

Tradycyjnie w czasie Zjazdu odbyło się Zebranie Delegatów Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Dokonano na nim wyboru nowych władz Towarzystwa (nowym prezesem został prof. Maciej Kolwas z Warszawy, sekretarz generalny w poprzedniej kadencji) oraz podjęto uchwałę dotyczącą nauczania fizyki w zreformowanej szkole, w której zaprotestowano przeciw nieuzasadnionemu eliminowaniu treści fizycznych z programów szkolnych, co może spowodować drastyczne obniżenie poziomu wiedzy technicznej w społeczeństwie. Miło było usłyszeć sprawozdanie Komisji Rewizyjnej, w którym – po raz pierwszy od wielu lat – nie stwierdzono katastrofalnej sytuacji finansowej Zarządu Głównego, odnotowano natomiast rozsądne gospodarowanie nadal przecież bardzo skromnymi środkami ZG. Zawdzięczamy to przede wszystkim bardzo sprawnemu i konsekwentnemu w działaniu ustępującemu skarbnikowi ZG – Danielowi Dobrowolskiemu. Szkoda, że nie zgodził się on działać nadal we władzach Towarzystwa.

Podobnie jak na poprzednich Zjazdach, odbyło się spotkanie przedstawicieli europejskich narodowych towarzystw fizycznych oraz Europejskiego Towarzystwa Fizycznego.

Organizatorzy zatroszczyli się też o to, by uczestnicy nie nudzili się wieczorami i zorganizowali dla nich atrakcyjny koncert w Dworze Artusa oraz spotkanie towarzyskie we wspianych toruńskich fortach. Ta ostat-

nia, plenerowa impreza nie całkiem się udała ze względu na awarię oświetlenia i nienajlepszą pogodę.

Komitetowi Organizacyjnemu, działającemu pod przewodnictwem prof. Andrzeja Bielskiego, należą się wielkie słowa uznania za przygotowanie i sprawne przeprowadzenie bardzo ciekawego i kształcącego Zjazdu. Trudno winić organizatorów za to, że pogoda była raczej pod psem, a bielańskie akademiki mają standard już trochę niedzisiejszy. Same słowa uznania należą się natomiast personelowi stołówki, w której nas żywiono.

Redakcja *Postępów Fizyki* przygotowuje obecnie do publikacji materiały zjazdowe, które zostaną wydane w postaci zeszytu dodatkowego *Postępów* na początku 2002 r. Zeszyt ten otrzymają wszyscy uczestnicy Zjazdu oraz prenumeratorzy *Postępów*. Miło mi stwierdzić, że udało się zebrać teksty prawie wszystkich wykładów plenarnych i sekcyjnych. Teksty wykładów poświęconych dydaktyce fizyki oraz omówienie dyskusji panelowych na temat oceny programów i podręczników do zreformowanej szkoły, potrzeby kształcenia profilowanego w liceach ogólnokształcących oraz potrzeby badań nad historią fizyki mają być opublikowane w *Fizyce w szkole*. Ponadto teksty wybranych wykładów zamierza zamieścić *krakowski Foton*.

Mirosław Łukaszewski

Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego
Warszawa

Niskowymiarowe i nanostrukturalne materiały molekularne

W dniach 1–5 września 2001 r. w Poznaniu odbyło się międzynarodowe spotkanie naukowe „Niskowymiarowe i nanostrukturalne materiały molekularne dla zaawansowanych zastosowań” (NATO Advanced Research Workshop: Molecular Low Dimensional and Nanostructured Materials for Advanced Applications), zorganizowane przez Instytut Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu. Spotkanie to, którego dyrektorami byli profesorowie Andrzej Graja, V.M. Agranovich i François Kajzar, zorganizowano pod auspicjami i przy wydatnym wsparciu finansowym NATO. Pozostali główni sponsorzy to Komitet Badań Naukowych, Instytut Fizyki Molekularnej PAN, Komitet Fizyki PAN, Polski Koncern Naftowy ORLEN, Lambda Physik i W.L. Electronics Bruker-Service.

Konferencja zgromadziła 70 uczestników z 18 krajów (w tym 22 z Polski), a jej program obejmował 24 wykłady plenarne, 11 komunikatów oraz 31 prezentacji w postaci plakatów. Tematyka dotyczyła układów mezoskopowych, materiałów elektroaktywnych, niskowymiarowych materiałów molekularnych wielofunkcyjnych oraz optycznych materiałów organicznych dla elektroniki molekularnej.

Wystąpienia ustne reprezentowały pięć grup tematycznych: 1) elektronowe własności niskowymiarowych przewodników organicznych oraz projektowanie nowych układów tego typu (D. Schweitzer (Niemcy), J.-P. Far-

ges (Francja), V.N. Semkin (Rosja), J. Schlueter (USA), C. Rovira (Hiszpania), M. Kartsovnik (Rosja), G.G. Abashev (Rosja), O. Neilands (Łotwa), V.N. Laukhin (Rosja), R.B. Lyubovskii (Rosja), L. Ouahab (Francja), J. Ulański (Polska), N.D. Kushch (Rosja) i M. Tanatar (Ukraina)), 2) nowe materiały fotochromowe oraz aktywne optycznie (A. Miniewicz (Polska), M.R. Willis (UK), J. Sworakowski (Polska), S. Nešpůrek (Czechy), F. Kajzar (Francja) i A. Painelli (Włochy)), 3) nowe cząsteczki i układy pochodzące od fulerenu (K. Kamaras (Węgry), A. Girlando (Włochy), G. Kamarchuk (Ukraina) i A. Gorgues (Francja)), 4) obliczenia kwantowochemiczne cząsteczek i klastrów (J. Leszczyński (USA), A. Tamulis (Litwa) i M. Apostol (Rumunia)), 5) badania teoretyczne układów nanostrukturalnych (B. Kramer (Niemcy), C. Lambert (UK), B. Bułka (Polska) i K. Kral (Czechy)). Najciekawsze wystąpienia poświęcone były optycznie przełączanym ciekłym kryształom, organicznym materiałom elektroluminescencyjnym, sfunkcjonalizowanym polimerom dla potrzeb fotoniki i optyki nieliniowej, nowym fascynującym molekułom fulerenowym, kwantowochemicznemu projektowaniu bramek logicznych, drutom kwanto-

wym oraz transportowi elektronów przez nanostruktury molekularne o własnościach magnetycznych i nadprzewodzących.

Organizatorzy stworzyli uczestnikom spotkania szereg atrakcyjnych możliwości nieskrępowanej dyskusji i wymiany poglądów przy okazji spotkań towarzyskich oraz imprez kulturalnych. Zrealizowany został z nawiązką najważniejszy cel konferencji, jakim była interdyscyplinarna dyskusja i nawiązanie współpracy pomiędzy fizykami teoretykami, chemikami oraz naukowcami zajmującymi się badaniami nowych materiałów dla elektroniki molekularnej chwili obecnej i przyszłości.

Teksty najciekawszych wystąpień zostaną opublikowane przez wydawnictwo Kluwer w postaci specjalnego tomu serii „NATO Science II Mathematics, Physics and Chemistry”, zatytułowanego *Molecular Low Dimensional and Nanostructured Materials for Advanced Applications*.

Iwona Olejniczak

Instytut Fizyki Molekularnej PAN
Poznań

RECENZJE

Duch w atomie

Duch w atomie, oprac. P.C.W. Davies i J.R. Brown, z jęz. angielskiego tłumaczył Piotr Amsterdamski, Wydawnictwo CIS, Warszawa 1996, s. 182.

W przeszłości życie codzienne zawsze podlegało szybkim zmianom wraz z odkryciem nowych materiałów oraz konstrukcją urządzeń do ich przetwarzania. W drugiej połowie XX w. takim materiałem stała się informacja, zaś urządzeniem komputery, które pozwalają w sposób złożony przetwarzać ją poza obrębem ludzkiego umysłu. Ostatnio obserwujemy ogromny postęp w miniaturyzacji obwodów elektronicznych, będących najważniejszym elementem współczesnych komputerów. Mimo to nasze zrozumienie zasady ich działania nie musiało ulec radykalnej zmianie. Wciąż obwody te bardzo dobrze można opisać prawami fizyki klasycznej. Jeśli jednak obecna tendencja do miniaturyzacji utrzyma się, to prawdopodobnie ok. 2020 roku nośnikiem informacji w komputerze staną się obiekty porównywalne z pojedynczymi atomami. W takiej skali dotychczasowy model obliczalności oparty na matematycznej idealizacji znanej jako Uniwersalna Maszyna Turinga (idealizacja ta została opisana w dwóch książkach R. Penrose'a zatytułowanych *Nowy umysł cesarza* i *Cienie umysłu*, wydanych w Polsce przez wydawnictwa PWN i Zysk i S-ka) musi ulec zmianie, gdyż prawa fizyki kwantowej, opisujące obiekty materialne o rozmiarach atomowych, istotnie różnią się od praw fizyki kla-

sycznej. Możliwość ta spowodowała powstanie nowej dyscypliny naukowej, nazywanej obliczeniami kwantowymi, której celem jest m.in. powtórne opracowanie podstaw informatyki, tak aby były one zgodne z fizyką kwantową – obecnie najdokładniejszą teorią fizyczną opisującą otaczającą nas rzeczywistość. Podkreślić należy fakt, że teoria ta już jest w stanie przewidzieć, iż komputery kwantowe będą mogły wykonywać pewne obliczenia znacznie szybciej niż komputery konwencjonalne, a to dzięki nowym kwantowym algorytmom obliczeniowym, takim jak np. algorytm Shora lub algorytm Grovera. Nowe możliwości takich urządzeń, wśród których można wymienić teleportację informacji, łamanie kodów szyfrujących „nie do złamania”, generowanie liczb rzeczywiste przypadkowych lub porozumiewanie się bez możliwości podstuchu, mają potencjalnie ogromne znaczenie nie tylko z punktu widzenia nauki, ale również dla wielu instytucji użyteczności publicznej, jak banki czy agencje rządowe. Powyższe możliwości komputerów kwantowych mogą zostać zrealizowane dzięki istnieniu tzw. stanów splecionych, nie mających swoich odpowiedników w fizyce klasycznej. Właśnie tym stanom poświęcona jest książka zatytułowana *Duch w atomie*.

Z drugiej strony, rozpoczęte na początku dwudziestego wieku dyskusje i spory na temat sensu i znaczenia teorii kwantów wciąż pozostają nierozstrzygnięte. Choć na przestrzeni lat zaproponowano wiele bardziej lub mniej sensownych interpretacji tej teorii, to wciąż wśród eks-

pertów panuje równie wielka niezgoda jak w czasach powstawania mechaniki kwantowej. Wielu fizyków wciąż twierdzi, że teoria ta jest sprzeczna z intuicją i nie daje obiektywnego obrazu zjawisk zachodzących w mikroświecie. Nie ogranicza to jednak jej użyteczności w wyjaśnianiu obserwacji doświadczalnych lub w przewidywaniu nowych zjawisk. Wśród nich należy wymienić tzw. nierówności Bella, odkryte w roku 1965 przez irlandzkiego fizyka J.S. Bella. Wiele lat upłynęło, zanim nierówności te zostały zweryfikowane doświadczalnie. Po raz pierwszy – w sposób dosyć przekonujący – uczyniła to w 1982 roku grupa fizyków francuskich kierowana przez A. Aspecta. Ostatnio nierówności te zostały w pełni potwierdzone przez D.J. Winelanda i jego współpracowników w Stanach Zjednoczonych (list opublikowany w *Nature* **409**, 791 (2001)). Eksperymenty te w sposób bardzo przekonujący potwierdziły niezgodność obserwacji doświadczalnych z wnioskami płynącymi z tzw. lokalnie realistycznych teorii fizycznych, których istotną częścią składową jest wysunięta przez Einsteina, Podolskiego i Rosena w 1935 r. idea lokalnego realizmu, mówiąca, że obiekty fizyczne mają ściśle określone właściwości niezależnie od tego, czy się je obserwuje czy też nie, oraz że na wyniki pomiarów tych właściwości nie wpływają zdarzenia zachodzące dostatecznie daleko od tych obiektów. Czyż nie jest to wynik zaskakujący?

Nierówności Bella i doświadczenia Aspecta posłużyły za inspirację do napisania scenariusza kilku programów edukacyjnych wyemitowanych w brytyjskiej sieci radiowej BBC. Realizacją tych programów, dotyczących podstaw teorii kwantów, zajęli się P.C.W. Davies i J.R. Brown. Przedstawiały one rozmowy przeprowadzone z wybitnymi fizykami. Poszerzone o dodatkowy wykład Daviesa, składają się na książkę pt. *Duch w atomie*, wydaną nakładem wydawnictwa Cambridge University Press w 1986 r. W książce przedstawione są zapisy rozmów, które J.R. Brown przeprowadził z A. Aspectem, J. Bellem, J. Wheelerem, R. Peierlsem, D. Deutschem, J. Taylorem, D. Bohmem i B. Hileyem. Każda z tych rozmów jest wyjątkowa i gorąco zachęcam Czytelników

do zapoznania się z nimi. W mojej pamięci najbardziej utkwiła rozmowa z Davidem Deutschem (fizykiem pracującym na Uniwersytecie w Oxfordzie), którego rozmyślenia nad jedną z możliwych, bardzo kontrowersyjną interpretacją mechaniki kwantowej – tzw. teorią wielu światów Everetta – doprowadziły do sformułowania następującej zasady: „każdy skończony układ fizyczny można wiernie symulować za pomocą kwantowej maszyny obliczeniowej”. Opublikowanie tej zasady w 1985 r. oraz wcześniejsza praca R. Feynmana z 1982 r. o symulacji w fizyce za pomocą komputerów wywołały niebywały wzrost zainteresowania obliczeniami kwantowymi, o których wspominałem poprzednio. Przypadek ten dobitnie wskazuje na to, że na pierwszy rzut oka czysto akademickie rozmyślenia nad interpretacją teorii kwantów mogą doprowadzić do potencjalnie komercyjnych zastosowań. W moim przekonaniu już to jest wystarczającym powodem do przeczytania tej książki, która – podkreślmy to – nie daje gotowych odpowiedzi, lecz wskazuje na możliwe kierunki badań na polu mechaniki kwantowej.

Podsumowując, uważam, że recenzowana książka stanowi cenną pozycję na polskim rynku wydawniczym i gorąco zachęcam do jej przeczytania. Tym bardziej że pozycja ta została przetłumaczona przez Piotra Amsterdamskiego, w moim przekonaniu obecnie najlepszego tłumacza literatury popularnonaukowej z dziedziny fizyki w Polsce. Wydawnictwo CIS, inicjując serię „Nauka u progu trzeciego tysiąclecia”, której jedną z pozycji jest *Duch w atomie*, aktywnie włączyło się w popularyzację osiągnięć nauk przyrodniczych w Polsce. W serii tej ukazały się ostatnio tak ciekawe pozycje jak *Kwark i jaguar* autorstwa M. Gell-Manna i *Procesor Feynmana* autorstwa G.J. Milburna, których tematyka jest zbliżona do zagadnień poruszonych w recenzowanej książce. Lektura tych książek na pewno może dostarczyć wiele radości.

Jerzy Kamiński

Instytut Fizyki Teoretycznej UW
Warszawa

W sprawie uwag na temat nauczania fizyki

Z uznaniem należy odnotować zamieszczenie w *Postępach Fizyki* (t. 52, zes. 3, s. 161) listu pana Jarosława Krakowskiego z LO im. Marii Skłodowskiej-Curie w Sokołowie Podlaskim, dotyczącego nauczania fizyki. Dobrze się stało, że nauczyciel praktyk, pracujący w niewielkim mieście, postanowił podzielić się swoimi doświadczeniami i przemyśleniami w tej sprawie, a Redakcja zdecydowała się ten list opublikować. List pana Krakowskiego zawiera szereg słusznych uwag, ale z kilkoma stwierdzeniami trudno się zgodzić.

Jedno z tych stwierdzeń dotyczy wykonywania w szkole eksperymentów fizycznych. Braki wyposażenia szkolnych pracowni fizycznych oraz trudności finansowe szkół są sprawą znaną i występują od wielu lat. Potwierdziły to m.in. ogólnopolskie badania przeprowadzone przez Zakład Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego pod koniec lat siedemdziesiątych i na początku lat dziewięćdziesiątych. Braki te nie muszą jednak powodować, jak pisze Autor listu, że „lekcje, na których uczniowie samodzielnie przeprowadzają eksperymenty, są rzadkością”. Bardzo wiele eksperymentów fizycznych w gimnazjach i liceach można przeprowadzić bez środków dydaktycznych produkcji fabrycznej. Do tego celu zupełnie dobrze nadają się przedmioty codziennego użytku, opakowania z tworzyw sztucznych oraz liczne zabawki, które można kupić za kilka złotych niemal w każdym kiosku. Na temat wykorzystania tych przedmiotów do doświadczeń pokazowych i samodzielnych eksperymentów uczniowskich – zarówno jakościowych, jak i ilościowych – istnieją liczne publikacje książkowe i artykuły. Już ponad trzydzieści lat temu J.L. Lewis w swojej znanej książce *Nauczanie fizyki* zauważył, że fizyki w szkole można z powodzeniem nauczać przy użyciu „kamyków, kawałów drewna i sznurków”. Doświadczenia fizyczne z wykorzystaniem przedmiotów codziennego użytku uczniowie mogą również samodzielnie wykonywać w domu. Niedawno ukazał się zbiór zadań z opisami takich doświadczeń pt. *Domowe zadania doświadczalne z fizyki*, opracowany przez J. Domańskiego. Wykorzystanie przedstawionych możliwości przeprowadzania pokazów czy samodzielnych eksperymentowania przez uczniów nie wymaga nakładów finansowych ani specjalnego wysiłku ze strony nauczyciela, a zależy tylko od jego wiedzy, dobrej woli i umiejętności organizacyjnych.

W ostatnim czasie coraz więcej instytucji fizyki i innych placówek naukowych organizuje różnego rodzaju imprezy popularnonaukowe w postaci wykładów, odczytów czy festiwali nauki. Odczyty popularnonaukowe prowadzone są chyba przez wszystkie oddziały Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Bardzo wiele z tych imprez ilustro-

wanych jest doświadczeniami pokazowymi, a Oddział Lubelski od ponad czterdziestu lat organizuje bardzo atrakcyjne i wielokrotnie powtarzane pokazy, przeznaczone specjalnie dla uczniów i nauczycieli. Niektóre instytucje fizyki, np. Polskiej Akademii Nauk czy Uniwersytetu Jagiellońskiego, oferują możliwość przeprowadzenia na miejscu lekcji fizyki z pokazami. Bardzo popularne stają się ostatnio wystawy tzw. zabawek fizycznych. Jedną z nich, zorganizowaną przez Instytut Fizyki Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku, dostępna jest na stronach internetowych tej uczelni. Wynika stąd, że nauczyciele fizyki mają szerokie możliwości wzbogacania nauczania fizyki w szkole udziałem w tego typu imprezach. Dzięki temu, nawet przy ubogim wyposażeniu pracowni i licznych klasach uczniowie mogą oglądać, a często sami przeprowadzać, doświadczenia fizyczne, ucząc się fizyki w sposób atrakcyjny. Od dobrej chęci i umiejętności organizacyjnych nauczyciela zależy, czy zechce przyjąć te propozycje.

Okazuje się niestety, że znaczna liczba nauczycieli fizyki o tych możliwościach i propozycjach nie wie, a nawet nie chce wiedzieć. Mogłem się o tym wielokrotnie przekonać prowadząc zajęcia w Pracowniach Dydaktyki Fizyki i Technicznych Środków Nauczania z nauczycielami studiującymi zaocznie na piątym roku studiów magisterskich. Niektórzy nauczyciele z kilkunastoletnim stażem pracy nie wiedzieli, że do szkolnych doświadczeń z fizyki można wykorzystywać przedmioty i materiały codziennego użytku, zabawki, literaturę popularnonaukową czy Internet. Nie umieli także podać choćby jednego tytułu podręcznika czy czasopisma dotyczącego nauczania fizyki. Do pewnej grupy przyszło na początku semestru kilka osób, które już studiowały, ale nie ukończyły studiów, i poprosiły o przepisanie zaliczeń uzyskanych przed ponad dwudziestu laty. Kiedy powiedziałem, że w tym czasie pojawiło się wiele nowych technicznych środków nauczania i możliwości realizacji szkolnych eksperymentów fizycznych, z którymi chciałbym ich praktycznie zapoznać, osoby te dały mi do zrozumienia, że ich to po prostu nie interesuje i wystarczy im przepisanie oceny dostatecznej. Dopiero postawienie formalnego warunku, że przepisać można zaliczenie uzyskane nie dawniej niż przed trzema laty, skłoniło tych studentów do udziału w zajęciach.

Podczas kolejnych zajęć zapoznałem studentów z niektórymi stronami internetowymi dotyczącymi doświadczeń pokazowych z fizyki. Następnie zaproponowałem, żeby samodzielnie spróbowali znaleźć inne, interesujące ich strony przydatne na lekcjach fizyki lub przyrody. Po kilkunastu minutach okazało się, że wszyscy przeglądali stronę Ministerstwa Edukacji Narodowej, zawierającą informacje na temat liczby nauczycieli dyplomowanych i złożonych w tej sprawie wniosków. Przykładów podob-

nych sytuacji, występujących również na studiach dziennych i podyplomowych, mógłbym podać znacznie więcej. Wykazują one, że znaczna liczba nauczycieli podnoszących swoje kwalifikacje traktuje to w sposób instrumentalny, ukierunkowany na uzyskanie odpowiedniego dokumentu, i stosuje przy tym znaną zasadę minimalnego działania. Rzeczywistym motywem tego dokształcania jest najczęściej zapewnienie sobie bardziej stabilnej pozycji na rynku pracy, czemu zresztą trudno się dziwić. Opisane przykłady podają tutaj nie w celu zrzucania winy za niski poziom nauczania fizyki na nauczycieli, ale w celu stworzenia pełnego obrazu istniejących tendencji.

Wielu nauczycieli nie w pełni zdaje sobie sprawę również z tego, że ich rola w procesie dydaktycznym ulega istotnym zmianom, przewidywanym już w latach siedemdziesiątych, m.in. przez ekspertów Klubu Rzymskiego. Współczesny nauczyciel w coraz mniejszym stopniu pełni rolę źródła i przekaznika wiedzy, ponieważ te role przejmują różnego rodzaju media, np. telewizja czy Internet. Główna rola współczesnego nauczyciela polega w coraz większym stopniu na organizowaniu i koordynowaniu procesu edukacyjnego w taki sposób, żeby jak najlepiej wykorzystać wszystkie dostępne środki i możliwości kształcenia. Szybko zmieniające się warunki życia i gwałtowny rozwój wielu nauk, w tym również fizyki, powodują, że nie można wyposażyć uczniów w zasób wiedzy i umiejętności wystarczający na dłuższy czas. W tej sytuacji bardzo ważne jest, żeby nauczyć uczniów, jak samodzielnie mają uczyć się fizyki w przyszłości – jeżeli będą od nich tego wymagały okoliczności lub odczują taką potrzebę. Obecnie także w naszym kraju stają się faktem dyskutowane przed kilkunastu laty na uczelnianych seminariach koncepcje „uczyć się dla przyszłości” i „uczyć się, żeby być”.

Zmniejszenie liczby godzin przeznaczonych na nauczanie fizyki jest niekorzystnym faktem, który jednak nie musi przesądzać o obniżeniu poziomu nauczania tego przedmiotu. Nie jest również prawdą, że ilość materiału nauczania pozostała przy tym bez zmian. Żeby się o tym przekonać, wystarczy porównać obecnie obowiązującą podstawę programową z programami nauczania fizyki w szkole podstawowej i liceum obowiązującymi pod koniec lat osiemdziesiątych. Obowiązująca podstawa stanowi minimum, na bazie którego mogą powstawać i powstają różne, tzw. autorskie programy nauczania, zawie-

rające również treści wykraczające poza to minimum. Zmniejszenie liczby godzin nauczania powoduje konieczność pominięcia niektórych szczegółowych i mniej istotnych zagadnień w celu skoncentrowania się na treściach najistotniejszych i ujęciu ich w sposób strukturalny.

W podstawie programowej poszczególne hasła sformułowane są bardzo ogólnie i przez to również dobrze mogą stanowić temat lekcji, jak i tytuł podręcznika akademickiego. Prowadzi to do powstania wątpliwości, jak szeroki powinien być zakres treści nauczania realizowanych w ramach tych haseł oraz jakie konkretne wiadomości i umiejętności powinni przy tym zdobyć uczniowie. Wątpliwości te można by usunąć przez opracowanie standardów nauczania fizyki, zawierających szczegółowy i powszechnie akceptowany spis minimum wiadomości i umiejętności wymaganych na zakończenie poszczególnych etapów kształcenia. Standardy takie w ogromny sposób ułatwiłyby pracę nauczycielom oraz uchroniły uczniów od przykrych niespodzianek podczas przechodzenia na następne szczeble kształcenia i zdawania egzaminów. W tej sytuacji o wiele łatwiejsze byłoby m.in. przeprowadzenie nowej matury z fizyki i jednolita ocena prac na tym egzaminie. Nauczyciele natomiast dokładniej wiedzieliby, do jakiego poziomu należy dążyć, przy czym sposób jego osiągnięcia i stosowane w tym celu środki, np. podręczniki, pozostawione byłyby całkowicie do ich wyboru. Dzięki temu istniałoby także szerokie pole działania dla twórczych nauczycieli, którzy chcą uczyć fizyki w sposób nowatorski i atrakcyjny, oraz dla autorów programów i podręczników, a to przecież były główne założenia reformy. Żeby jednak standardy te rzeczywiście spełniały swoją rolę, konieczne jest porozumienie się nauczycieli szkolnych, akademickich i przedstawicieli komisji egzaminacyjnych. Być może inicjującą rolę w tym przedsięwzięciu odegra Polskie Towarzystwo Fizyczne. Wydaje się, że dążenie do zapewnienia wysokiego poziomu nauczania fizyki w obecnych – dość często niesprzyjających warunkach, powinno być przedmiotem wspólnej troski wszystkich fizyków niezależnie od ich miejsca zatrudnienia.

Stanisław Bednarek
Instytut Fizyki UŁ
Łódź

Nobel z fizyki za kondensację Bosego–Einsteina

Nagrodę Nobla z fizyki w 2001 r. przyznano trzem fizykom pracującym w Stanach Zjednoczonych. Nagrodzeni zostali dwaj Amerykanie: Eric Cornell i Carl Wieman z instytutu JILA w Boulder, w stanie Colorado, oraz Niemiec, Wolfgang Ketterle, pracujący na słynnym MIT w Cambridge, w stanie Massachusetts. Wspomniana JILA jest wspólnym instytutem stanowego University of Colorado oraz federalnego National Institute of Standards and Technology. Uehonorowano więc doświadczalną realizację kondensacji Bosego–Einsteina w rozrzedzonych gazach atomowych oraz pierwsze spektakularne doświadczenia z kondensatem. Osiągnięcia tych noblistów otworzyły drogę do doświadczeń z nowym, doskonale izolowanym pojedynczym obiektem kwantowym złożonym z dużej liczby atomów. Od pierwszych doświadczeń, w których skondensowano ok. 2000 atomów, udało się wkrótce dojść do kondensatów zawierających kilka milionów atomów.

Zjawisko kondensacji zostało przewidziane na drodze teoretycznej już w 1924 r. Pierwszą pracę napisał na ten temat Hindus Satyendra Nath Bose. Praca ta, dotycząca fotonów – cząstek bez masy spoczynkowej, przesłana Einsteinowi, wzbudziła jego wielkie zainteresowanie i wkrótce zaowocowała jego własną pracą dotyczącą już bozonów z niezerową masą. Sam Einstein, a także wielu innych fizyków po nim (wśród nich Schrödinger) sądziło, że kondensacji, w jej czystej, ulubionej przez teoretyków postaci nigdy nie uda się zrealizować doświadczalnie. Właśnie ostatni nobliści wykazali, że klasycy nie doceniali postępów doświadczenia.

Jak wiemy, identyczne cząstki kwantowe są nierozróżnialne. Nie dają się ponumerować. Wyobraźmy sobie dwa pudła i dwie cząstki. Gdy są to obiekty klasyczne, np. piłeczki pingpongowe, to istnieją dwa sposoby umieszczenia ich w dwu pudełkach. Dla dwóch cząstek kwantowych, jako nierozróżnialnych, istnieje tylko jeden taki sposób. Gdy spytamy, czy obie kwantowe cząstki można umieścić w jednym pudle (stanie), to okaże się, że w zależności od całkowitego momentu pędu jest to albo możliwe (bozony), albo niemożliwe (fermiony). To ostatnie rozróżnienie zależy od tego, czy całkowity moment pędu cząstki jest parzystą (bozony), czy nieparzystą (fermiony) krotnością połowy przekreślonej stałej Plancka. To właśnie bozony wykazują zjawisko kondensacji. O tym, czy dany atom jest bozonem, czy fermionem, decyduje całkowita liczba jego elementarnych składników, którymi są elektrony, protony i neutrony. Wszystkie te cząstki elementarne są fermionami. Ponieważ obojętny atom ma tyle samo dodatnio naładowanych protonów co ujemnych elektronów, o jego własnościach statystycznych decyduje parzystość liczby neutronów w jądrze. Już ten fakt jest za-

dziwiający i wskazuje na głęboko kwantową naturę zjawiska kondensacji. O globalnych własnościach atomów, np. o ich własnościach chemicznych, a także elektrycznych lub oddziaływaniu ze światłem, decydują własności powłok elektronowych. Własności jąder dają zwykle o sobie znać w związku z procesami zachodzącymi pod wpływem sił jądrowych, a te wymagają znacznych energii.

Łatwo powiedzieć, co to jest kondensacja atomowego gazu doskonałego bozonów umieszczonych w zewnętrznym, ograniczającym ich ruch potencjale, zwanym potencjałem pułapki. W takim potencjale każdy atom może się znajdować w jednym z energetycznych stanów własnych. Oczywiście przy obniżaniu temperatury obsadzenie stanu podstawowego rośnie. W pewnej, określonej temperaturze, zwanej temperaturą krytyczną, obsadzenie to staje się makroskopowe – znaczna część atomów nagle wędruje do stanu podstawowego. Ciekawe, że staje się to wówczas, gdy w układzie jest dość energii, by wszystkie atomy umieścić w stanach wzbudzonych. Cząstki klasyczne w takiej temperaturze skorzystałyby z wyższych poziomów.

Upraszczając, można powiedzieć, że w kondensacie wszystkie atomy znajdują się w tym samym stanie kwantowym. Ruch ich środka masy opisuje taka sama, dla poszczególnych atomów, funkcja falowa. Mamy więc „klasyczną” falę materii. Stąd jednym z pierwszych doświadczeń było wykazanie, że dwa takie kondensaty interferują tak, jak dwie fale na wodzie lub dwie spójne wiązki światła.

Chmura gazu tworzącego kondensat ma temperaturę rzędu nanokelwinów. Jeśli przyjąć (a założenie takie jest dyskusyjne), że pojęcie temperatury daje się bez zastrzeżeń odnieść do kondensatu, to jest on najzimniejszym obiektem we Wszechświecie. A tuż obok są grzejące, przewodzące potężne prądy, cewki wytwarzające niejednorodne pole magnetyczne, dostarczające potencjału pułapkującego atomy!

Ponad 20 lat zajęło fizykom opracowanie i doskonalenie metod chłodzenia i pułapkowania obojętnych atomów. Bez tego wysiłku otrzymanie kondensatu nie byłoby możliwe. Nie wchodząc w szczegóły, do wstępnego spowolnienia atomów wykorzystuje się przekaz pędu (odrzut) towarzyszący pochłonięciu fotonu. Za przygotowanie gruntu dla doświadczeń nad kondensatem, za rozwinięcie laserowych metod spowalniania i pułapkowania atomów, przyznano Nagrodę Nobla w 1997 r. Jednak decydujący krok udało się wykonać dopiero laureatom z roku 2001, gdy do zimnego (mikrokelwiny) spolaryzowanego gazu, zawieszono w przestrzeni pod działaniem sił magnetycznych zastosowali metodę chłodzenia przez parowanie. Za pomocą pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej udaje się usunąć z pułapki atomy o największej energii. Tym samym średnia energia ato-

mów w pułapce spada. Zderzenia między atomami termalizują chmurę, a zmieniająca się częstość pola radiowego wyrzuca z pułapki kolejne, wysokoenergetyczne warstwy atomów. Wreszcie następuje przejście fazowe. Ruch atomów zostaje uporządkowany i do głosu dochodzi ich falowa natura.

W czerwcu 1995 r. pierwszy kondensat wytworzyły w JILA grupy Erica Cornella i Carla Wiemana. Skondensowali oni rubid o liczbie masowej 87. Kilka tygodni później Randy Hulet z Rice University w Teksasie ogłosił

o skondensowaniu litu-7. Świat naukowy uznał jednak tę pracę za niedostatecznie przekonującą. Po kilku tygodniach dołączył kondensat sodu-23, wytworzony przez Ketterlego.

Od tej chwili rozpoczął się wyścig. Dopiero po dwóch latach do wymienionych dołączyły następne laboratoria, w których są kondensaty. Jest ich w tej chwili ponad 30. Wkrótce, dzięki powstającemu w Toruniu Krajowemu Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej, doczekamy się zapewne kondensatu w Polsce.



Od lewej: Carl E. Wieman, Eric A. Cornell i Wolfgang Ketterle.

Grupy w Boulder i MIT, po odkryciu kondensatu, wykonały z nim wiele przełomowych doświadczeń. Dostrzeżone przez Komitet Noblowski zostało pierwsze doświadczenie z laserem atomowym (Ketterle). W tym doświadczeniu spójne fale materii o znacznym natężeniu zostają wyprowadzone z pułapki magnetycznej i swobodnie spadają pod wpływem grawitacji. Pojawia się wizja bardzo precyzyjnego napyłania cienkich warstw takim spójnym strumieniem, który poddaje się zabiegom optyki atomowej, analogicznym do metod sterowania za pomocą elementów optycznych spójnymi wiązkami światła.

Doświadczenia z kwantowo zdegenerowanymi gazami atomowymi rozwijają się bardzo szybko. Do najciekawszych kierunków zaliczam: wytwarzanie solitonów i wirów w kondensacie, badanie zjawisk nieliniowej optyki atomowej, badanie własności kondensatu w sieciach optycznych, próby konstrukcji lasera atomowego o działaniu ciągłym, wysiłek zmierzający do wytworzenia kondensatu molekularnego, schłodzenie fermionów do temperatury niższej niż temperatura Fermiego i wiele innych. Wszystkie one, rozwijane na całym świecie, stały się możliwe dzięki Cornellowi, Wiemanowi i Ketterlemu.

Oczywiście ślady kwantowej degeneracji bozonów występują we własnościach nadciegłego helu, badanego wiele lat przed doświadczeniami z kondensatem atomowym. W przeciwieństwie do rozrzedzonych gazów, ciekły hel jest układem silnie oddziaływającym. Energia oddziaływania pary atomów w ciekłym helu jest 10^{10} razy większa

niż odpowiednia energia oddziaływania atomów w kondensacie atomowym. Jesteśmy o tyle bliżej idealnej sytuacji rozważanej w oryginalnej pracy Einsteina. Podkreślić jednak należy, że nawet w kondensacie atomowym występujące tam oddziaływania resztkowe są bardzo ważne i ich teoretyczny opis nadal stanowi wyzwanie dla teoretyków.

Na koniec kilka danych biograficznych: Carl E. Wieman urodził się w 1951 r. w Corvallis (Oregon). Podstawowe studia zakończył w 1973 r. w MIT, a doktorat uzyskał w roku 1977 w Stanfordzie. Po kilkuletniej pracy na University of Michigan, od 1984 r. pracuje w Boulder. Był m.in. dyrektorem instytutu JILA.

Eric A. Cornell, najmłodszy z trójki, urodzony w 1961 r., skończył – odwrotnie niż Wieman – studia w Stanfordzie (1985), a doktorat zrobił w 1990 r. w MIT. Dalsza jego kariera związana jest z Boulder, gdzie przeszedł kolejne szczeble stanowisk akademickich.

Wolfgang Ketterle urodził się w 1957 r. w Heidelbergu. Fizykę ukończył na Politechnice w Monachium w 1982 r. Doktorat uzyskał w 1986 r., w wyniku pracy w Instytucie Optyki Kwantowej im. Maksa Plancka w Garching pod Monachium. Po doktoracie pracował dwa lata w Garching, a następnie w Heidelbergu. Od 1990 r. jest w MIT, awansując od współpracownika D.E. Pritcharda (pioniera w próbach skondensowania atomowego wodoru) do obecnego stanowiska profesorskiego.

Wszyscy czytelnicy słyszeli zapewne o słynnej politechnice MIT w Cambridge pod Bostonem. Nieco mniej

znany jest instytut w Boulder. Jest to moje ulubione miejsce w USA. Położone na wysokości ok. 1600 metrów nad poziomem morza, u podnóża Gór Skalistych, ma wspinały, suchy klimat z liczbą słonecznych dni w roku dochodzącą do 300. Dzięki programowi stypendiów dla uczonych z innych ośrodków amerykańskich i zagranicznych, JILA jest zawsze pełny gości. Połowa z nich to fizycy,

a połowa astronomowie. Wielu polskich fizyków i astronomów wygrywało konkursy na stypendia w JILA.

Kazimierz Rzązewski

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN
oraz Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego
Warszawa

KRONIKA

PTF

Oddział Zielonogórski – nowy Oddział PTF

Nie zdajecie sobie sprawy, drodzy Czytelnicy, jaką ogromną radość sprawiła mi możliwość poinformowania Was o wydarzeniu dość nieoczekiwanym. Wydawało się, że Polskie Towarzystwo Fizyczne jest już dość ustabilizowaną w swych strukturach organizacją, a tu za sprawą prof. Andrzeja Więckowskiego oraz wielu fizyków zarówno z ówczesnej Wyższej Szkoły Pedagogicznej im. Tadeusza Kotarbińskiego jak i z Politechniki Zielonogórskiej (obecnie obie uczelnie tworzą Uniwersytet Zielonogórski) w dniu 22 stycznia 2000 r. uchwałą Zarządu Głównego PTF, zatwierdzoną przez Zebranie Delegatów PTF w dniu 18 września 2001 r., powołany został Oddział Zielonogórski Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Kiedy członkowie PTF pracujący w Zielonej Górze postanowili wystąpić do Zarządu Głównego z wnioskiem o powołanie nowego oddziału, ich liczba wynosiła zaledwie 18 (członkowie założyciele). Dzisiaj nasz Oddział liczy 39 osób i nadal wpływają nowe wypełnione deklaracje członkowskie (chęć przystąpienia do Oddziału coraz częściej zgłaszają nauczyciele).

Poniżej podaję kilka informacji o aktualnym składzie Zarządu Oddziału i Komisji Rewizyjnej oraz krótko charakteryzuję naszą działalność.

Zarząd Oddziału wybrany w dniu 22 lutego 2000 r.: przewodniczący – Andrzej Więckowski, wiceprzewodniczący – Roman Gielerak, sekretarz – Grzegorz Spichał, skarbnik – Napoleon Maron, członek Zarządu – Paweł B. Szczaniecki. W skład Komisji Rewizyjnej weszli: Marian Olszowy (przewodniczący) oraz Barbara Pilawa i Wanda Wojtowicz.

Działalność naukowa i popularyzacyjna: 22 lutego 2000 r. prof. Franciszek Rozpłoch, dziekan Wydziału Fizyki i Astronomii UMK wygłosił wykład pt. „Fizyka diamentu”; 8 maja 2000 r. prof. Roman Gielerak z PZ wygłosił z okazji setnej rocznicy urodzin Ernsta Isinga wykład pt. „Model Isinga – historia i aktualne trendy”; 3 kwietnia 2001 r. prof. Karol I. Wysokiński z Instytutu Fizyki UMCS wygłosił wykład pt. „Nadprzewodnictwo – nieoczekiwane

odkrycia”; 5 czerwca 2001 r. prof. Piotr Rozmej z Zakładu Metod Matematycznych Fizyki PZ wygłosił referat pt. „Wyścig do superciężkich jąder atomowych”; 4 października 2001 r. prof. Czesław Rudowicz z Department of Physics and Materials Science, City University of Hong Kong, ChRL, prezes Towarzystwa EPR/ESR Azji i Pacyfiku wygłosił referat pt. „Badania elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) i spektroskopii optycznej na Dalekim Wschodzie”.

Jest mi niezmiernie miło zauważyć, nie wyciągając przedwczesnych wniosków, iż z każdym kolejnym wykładem liczba słuchaczy była coraz większa, za co im serdecznie w imieniu Zarządu Oddziału dziękuję!

Pozostałe informacje: 13 czerwca 1999 r. odbyła się w Żaganiu (mieście Johanna Keplera) uroczystość nadania jego imienia Centrum Astronomicznemu WSP w Zielonej Górze, mieszczącemu się przy ul. Lubuskiej 2; 17 lipca 2000 r. Urząd Miejski w Zielonej Górze, działając na podstawie art. 8 ust. 5 pkt. 2, przyjął zawiadomienie o powołaniu stowarzyszenia pod nazwą Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Zielonogórski i nadał mu numer ewidencyjny 118; 18 listopada 2000 roku w Żaganiu odbyła się uroczystość odsłonięcia pomnika upamiętniającego Johanna Keplera; nadal staramy się uzyskać informację, czy została w jakiś sposób uwieczniona praca Ernsta Isinga w Krośnie Odrzańskim (Krossen an der Oder); zbieramy również informacje na temat niemieckiego fizyka, filozofa i psychologa Gustava Fechnera oraz jego związku z Żarami; w grudniu 2000 r., po wielu miesiącach zabiegów, zostało otwarte konto naszego Oddziału; 24 kwietnia 2001 r. uchwałą (nr 2/2001) Zarządu Oddziału przedstawicielem Oddziału Zielonogórskiego w Komisji PTF ds. Nauczania Fizyki w Szkołach został dr Henryk Tygielski; 24 kwietnia 2001 r. uchwałą (nr 3/2001) Zarządu korespondentem Oddziału została Justyna Jankiewicz. W dniu 5 czerwca 2001 r. odbyło się zwyczajne Walne Zebranie Członków Oddziału Zielonogórskiego PTF, na którym zostały złożone i po dyskusji przyjęte: sprawozdanie przewodniczącego z działalności Zarządu Oddziału Zielonogórskiego PTF i sprawozdanie Komisji Rewizyjnej Oddziału. Na delegatów Oddziału na Zebranie Delegatów PTF w Toruniu wybrano dra Napoleona Marona i prof. Andrzeja Więckowskiego; student V

roku fizyki Andrzej Drzewiecki pracuje obecnie nad utworzeniem strony internetowej naszego Oddziału o tymczasowym adresie: www.if.wsp.zgora.pl/~ptf.

Grzegorz Spichał

Nagrody FNP 2001

W 2001 r. Fundacja na rzecz Nauki Polskiej przyznała po raz dziesiąty swoje doroczne Nagrody. W dziedzinie nauk ścisłych laureatem został prof. Ludomir Nowicki (Instytut Matematyczny UW) za prace w dziedzinie logiki matematycznej, stanowiące przełom w teorii modeli oraz w algebrze. W dziedzinie nauk technicznych Nagrodę otrzymał prof. Michał Kleiber (IPPT PAN, Warszawa) za opracowanie nowych metod analizy i optymalizacji w nieliniowej termomechanice ciał odkształcalnych. Dodajmy, że prof. Kleiber, którego znamy jako ministra nauki, jest również świetnym tenisistą i miał także osiągnięcia sportowe.

Nagrody FNP, należące do najbardziej prestiżowych wyróżnień naukowych w Polsce, Fundacja przyznaje (w dziedzinie nauk humanistycznych i społecznych, przyrodniczych i medycznych, ścisłych oraz technicznych) uczonym polskim za osiągnięcia i odkrycia z ostatnich czterech lat, stanowiące istotny wkład w życie umysłowe i postęp cywilizacyjny naszego kraju oraz zapewniające Polsce miejsce w nauce światowej. W 2001 r. wysokość Nagrody wynosi 60 tys. zł (wolne od podatku), a uroczyste wręczenie Nagród odbyło się już tradycyjnie 6 grudnia na Zamku Królewskim w Warszawie.

B. W.

Doktorat h.c. Adama Sobiczewskiego

Dnia 24 października 2001 r. odbyła się uroczystość nadania godności doktora honoris causa Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie prof. Adamowi Sobiczewskiemu. Tę najwyższą godność Uniwersytet przyznał mu za cykl prac teoretycznych, prowadzących do poszerzenia układu okresowego pierwiastków oraz ponadtrzydziestoletnią współpracę z fizykami lubelskimi, która przyczyniła się do znacznego wzrostu kadry samodzielnych pracowników naukowych na Wydziale Matematyki i Fizyki UMCS. Podczas uroczystości sylwetkę prof. Sobiczewskiego przedstawił promotor doktoratu, prof. Krzysztof Pomorski, kierownik Katedry Fizyki Teoretycznej Instytutu Fizyki UMCS. W swym wystąpieniu nakreślił on drogę naukową Adama Sobiczewskiego oraz jego ogromne zaangażowanie w działalność dydaktyczną i popularyzatorską. Przypomniwał, że był on laureatem wielu nagród i wyróżnień, m.in. Nagrody Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w dziedzinie nauk ścisłych w 1995 r. „za prace, w których zostało przewidziane istnienie nieoczekiwane bardzo stabilnych jąder atomowych najcięższych pierwiastków, potwierdzone doświadczalnie w połowie 1993 r.”, Nagrody im. G.N. Florowa Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej w Rosji w 1997 r. oraz medalu im. Andrzeja Sołtana nada-

nego mu w 2001 r. przez Instytut Problemów Jądrowych w Świerku. Promotor podkreślił wizjonerstwo Adama Sobiczewskiego, który już w 1966 r. wraz z F.A. Garejewem i B.N. Kalinkinem przewidział istnienie podwójnie magicznego, kulistego jądra superciężkiego o liczbie protonów $Z = 114$ i neutronów $N = 184$, a w latach 1986–91 – istnienie i własności zdeformowanych jąder superciężkich skupionych wokół podwójnie magicznego jądra o liczbach $Z = 108$ i $N = 162$. Promotor szczególnie ciepło ukazał ścisłe związki prof. Sobiczewskiego z Uniwersytetem Marii Curie-Skłodowskiej, a mianowicie jego życzliwość jako opiekuna lubelskich fizyków, promotora i recenzenta wielu rozpraw doktorskich i habilitacyjnych oraz wniosków o tytuł profesora, jako aktywnego uczestnika Warsztatów Fizyki Jądrowej w Kazimierzu Dolnym oraz współautora wielu prac badawczych dotyczących m.in. trwałości jąder superciężkich i kształtów równowagowych jąder atomowych oraz ich izomerów.

Opiniodawcami wniosku o nadanie doktoratu honoris causa byli: prof. Jerzy Dudek z Uniwersytetu im. Louisa Pasteura w Strasburgu we Francji, prof. Reinhard Kullersa z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz prof. Stanisław Szpikowski, emerytowany profesor Katedry Fizyki Teoretycznej Instytutu Fizyki UMCS. W opiniach podkreślono ważność prac Adama Sobiczewskiego, które przyspieszyły dokonanie eksperymentalnych odkryć jąder superciężkich, przybliżających poznanie granic istnienia ciężkich jąder, a więc i granic istnienia ciężkich pierwiastków. Uznając profesora Sobiczewskiego za wybitnego uczonego, niekwestionowany autorytet w dziedzinie teorii jądra atomowego oraz czołowego przedstawiciela nauki polskiej na forum światowym, opiniodawcy z głębokim przekonaniem poparli jego kandydaturę na doktora honoris causa UMCS, przynoszącą niewątpliwie splendor naszej Uczelni.



Doktor h.c. UMCS prof. Adam Sobiczewski (z prawej) i jego promotor, prof. Krzysztof Pomorski.

Po promocji odczytano listy gratulacyjne z najodleglejszych zakątków świata i wysłuchano wykładu prof. Sobiczewskiego na temat odkryć jąder superciężkich.

Elżbieta Jartych

Będzie wielka nagroda dla matematyków

Norwegia ustanowiła nagrodę dla matematyków – Nagrodę im. Abela, której prestiż ma być równy prestiżowi Nagród Nobla.

Kapitał Fundacji tej nagrody stanowi 200 mln koron norweskich, a wysokość dorocznej Nagrody będzie wynosiła 5 mln koron (ponad 2 mln złotych). Pierwsza zostanie przyznana w roku 2003. Intencja ustanowienia nagrody z dziedziny matematyki jest dawna – wyraził ją już na przełomie XIX i XX w. Oskar II, król Szwecji i Norwegii.

Niels Henrik Abel (1802–29), matematyk norweski, ukończył Uniwersytet w Krystianii (obecnie Oslo) w 1822 r. Zajmował się wtedy teorią szeregów potęgowych. Podał ścisłe kryteria sumowania szeregów i ich zbieżności. W teorii równań algebraicznych podał dowód twierdzenia, że w ogólności nie można podać pierwiastków równania wyższego stopnia niż 4. Był współtwórcą teorii funkcji eliptycznych i hiperbolicznych. Wniósł znaczny wkład do teorii grup (grupy abelowe).

Phys. Bl. 57, nr 11 (2001)

B. W.

Sięgnąć dalej

Europejskie Towarzystwo Fizyczne ustanowiło nową nagrodę „Outreach” (Sięgnąć dalej) za umiejętność przekazywania społeczeństwu informacji o roli fizyki. Po raz pierwszy Nagroda została wręczona w 2001 r. na Europejskiej Konferencji Fizyki Wysokich Energii. Otrzymali ją Christine Sutton (Oxford) i Erik Johansson (Sztokholm) za działalność zmierzającą do przybliżenia szerszej publiczności osiągnięć fizyki wysokich energii, w szczególności za opracowanie edukacyjnych interakcyjnych programów komputerowych, przeznaczonych dla szkół średnich.

CERN Courier 41, nr 8 (2001)

B. W.

Program MILAB w Instytucie Fizyki PAN

W roku 2001 Fundacja na rzecz Nauki Polskiej uruchomiła kilkuletni program MILAB, którego celem jest udzielenie najlepszym polskim placówkom naukowym pomocy w realizacji ich zadań inwestycyjnych w zakresie tworzenia lepszych warsztatów pracy (modernizacji laboratoriów i pracowni). Ogromne potrzeby polskiej nauki w tym zakresie spowodowały napływ ponad 100 wniosków, które zostały ocenione przez recenzentów Fundacji. Jednym z beneficjentów programu MILAB (edycja 2001) jest Instytut Fizyki PAN w Warszawie. Spośród kilku zadań inwestycyjnych przedłożonych we wniosku Instytutu do realizacji zakwalifikowano dwa przedsięwzięcia: 1) modernizację Laboratorium Wzrostu Kryształów Tlenkowych Oddziału Fizyki Magnetyków (kier. Laboratorium – doc. Marek Berkowski, kier. Oddziału – prof. Henryk Lachowicz), 2) modernizację Laboratorium Wzro-

stu Półprzewodnikowych Warstw Epitaksjalnych (MBE) Oddziału Fizyki Półprzewodników (kier. Laboratorium – dr Andrzej Nadolny, kier. Oddziału – doc. Tomasz Story). W obu laboratoriach głównym celem modernizacji było uzyskanie wymaganej przez technologię odpowiednio wysokiej klasy czystości powietrza oraz stabilnych warunków klimatyczno-wentylacyjnych.

W Laboratorium Wzrostu Kryształów Tlenkowych metodą Czochralskiego oraz metodą optycznego topienia strefowego hodowane są kryształy wieloskładnikowych tlenków magnetycznych, zwłaszcza materiały z intensywnie badanej na całym świecie grupy manganitów. Dużym osiągnięciem tego laboratorium jest opanowanie metody otrzymywania wysokiej klasy monokryształów materiałów tlenkowych wykorzystywanych przez kilka grup naukowych jako podłoża w pracach związanych z otrzymywaniem cienkich warstw nadprzewodników wysokotemperaturowych. W ramach realizacji programu MILAB istotnie rozszerzona ostatnio baza technologiczna laboratorium została ulokowana w całkowicie zmodernizowanych pomieszczeniach, wyposażonych w nowoczesny system wentylacyjny, system odprowadzania ciepła z pieców technologicznych oraz układ automatycznej kontroli warunków termiczno-klimatyzacyjnych.

W laboratorium MBE otrzymywane są cienkie warstwy półprzewodników grupy IV–VI, przede wszystkim półprzewodnikowe heterostruktury ferromagnetyczne SnMnTe–SnTe. Opracowana w tym laboratorium metoda kontroli koncentracji nośników ładunku w heterostrukturach SnMnTe–SnTe umożliwiła w pełni kontrolowane otrzymywanie zarówno paramagnetycznych jak i ferromagnetycznych warstw SnMnTe. Urządzenie do epitaksji z wiązek molekularnych zostało ostatnio zmodernizowane przez wyposażenie w nowoczesne metody charakteryzacji jakości hodowanej warstwy oraz analizy składu i intensywności wiązek molekularnych. Urządzenie to stanowi jeden z ważnych elementów nowych projektów badawczych IF PAN związanych ze spintroniką półprzewodnikową. W ramach realizacji programu MILAB w laboratorium MBE zainstalowano nowoczesny układ klimatyzacyjno-wentylacyjny, dzięki czemu w pomieszczeniu utrzymuje się powietrze wysokiej klasy czystości. Wykonano także generalny remont laboratorium z pełną wymianą instalacji elektrycznej i wodnej.

Marek Berkowski, Tomasz Story

Rzecznik ds. nauki w Holandii

Holenderska Królewska Akademia Nauk, Holenderska Organizacja Badań Naukowych i 13 holenderskich uniwersytetów utworzyły stanowisko rzecznika (ombudsmana) ds. badań naukowych. Jego rolą będzie rozpatrywanie oskarżeń o manipulacje wynikami badań naukowych i plagiaty. Wyniki dochodzenia będzie on przedstawiał radom naukowym właściwych instytucji, a te będą decydować, jakie kroki należy podjąć w sprawie oskarżenia. Powołano także, w obrębie Królewskiej Akademii,

kolegium ds. uczciwości naukowej, jako swego rodzaju sąd apelacyjny.

Nature 414, nr 6863 (2001)

B. W.

Edward Raymond Andrew (1921 – 2001)

Profesor Edward Raymond Andrew, wybitny fizyk brytyjski, był przez ponad 50 lat czołową postacią w dziedzinie jądrowego rezonansu magnetycznego, wnosząc ogromny i twórczy wkład w rozwój tej dziedziny badań.

Andrew urodził się 27 czerwca 1921 r. w Bostonie, małym mieście portowym na wschodnim wybrzeżu Anglii. Studiował fizykę na Uniwersytecie w Cambridge. W czasie wojny przez dwa lata pracował w Royal Radar Research Establishment w Malvern, zajmując się zagadnieniami związanymi z absorpcją sygnałów mikrofalowych. Po wojnie powrócił do Cambridge, gdzie pod kierunkiem prof. Davida Shoenberga, ucznia Piotra Kapicy, uzyskał doktorat w dziedzinie fizyki niskich temperatur. Jego pierwsze zainteresowania jądrowym rezonansem magnetycznym pojawiły się już w 1946 r., gdy jako student w czasie cotygodniowego seminarium referował opublikowane właśnie prace Purcella, Torreya i Pounda oraz Blocha, Hansena i Packarda donoszące o odkryciu zjawiska. Zaraz po uzyskaniu doktoratu w 1948 r. przybył do Uniwersytetu Harvarda i odbył roczny staż naukowy w Laboratorium prof. Purcella. Owocem stażu była piękna praca doświadczalna na temat dynamiki molekularnej benzenu w fazie stałej. Ta pionierska praca, demonstrująca niezwykle możliwości poznawcze nowej metody, jest do dzisiaj cytowana we wszystkich monografiach poświęconych jądrowemu rezonansowi magnetycznemu. Wytyczyła ona jeden z głównych kierunków jego zainteresowań, rozwijany szczególnie intensywnie na Uniwersytecie St. Andrews, gdzie w 1949 r. po powrocie ze Stanów Zjednoczonych został wykładowcą. W 1954 r. objął katedrę fizyki na Uniwersytecie Walijskim w Bangor. W 1955 r. opublikował pierwszą monografię poświęconą zjawisku jądrowego rezonansu magnetycznego. Książka ta, wielokrotnie wznawiana, znana była w latach 60. czytelnikom polskim dzięki rosyjskiemu tłumaczeniu. Przyczyniła się ona do znacznego wzrostu zainteresowania nowo odkrytym zjawiskiem, pomagała zrozumieć jego podstawy teoretyczne oraz możliwości zastosowań badawczych. W czasie pobytu w Bangor prof. Andrew dokonał odkrycia stanowiącego kamień milowy w rozwoju badań radiospektroskopowych. Pokazał mianowicie, że dzięki szybkiej rotacji próbek ciał stałych dookoła osi tworzącej kąt $54,7^\circ$ z polem magnetycznym możliwa jest eliminacja oddziaływań poszerzających widmo i otrzymanie informacji o bardziej subtelnych oddziaływaniach związanych z ekranowaniem chemicznym i sprzężeniem spin-spin. Opracowana przez niego metoda, znana pod nazwą MAS (magic angle spinning), stanowi podstawę wielu współczesnych prac doświadczalnych. W 1963 r. Andrew przybywa do Nottingham, gdzie czeka na niego nowy budynek Wydziału Fizyki, wysoka dotacja na zakup nowoczesnej aparatury na-

ukowej oraz cztery nowe etaty badawcze. Pasja naukowa i wspaniała osobowość Profesora sprawiły, że wkrótce zgromadził on wokół siebie tak wybitnie utalentowanych młodych badaczy, jak S. Clough, P. Allen, W. Derbyshire i P. Mansfield. Zespół ten pracował razem przez ok. 20 lat, w czasie których Nottingham było jednym z najbardziej znanych centrów badań radiospektroskopowych w świecie.

Niezawodna intuicja naukowa prof. Andrew sprawia, że już we wczesnych latach siedemdziesiątych podejmuje on badania nad obrazowaniem metodą jądrowego rezonansu magnetycznego, otrzymując jedne z pierwszych w świecie obrazy struktury wewnętrznej nadgarstka oraz mózgu człowieka. W 1983 r. decyduje się opuścić Wielką Brytanię i przez następne 15 lat kontynuuje pracę naukową w University of Florida w Gainesville w Stanach Zjednoczonych. W czasie jego pobytu powstaje w Gainesville silny zespół zajmujący się zastosowaniami medycznymi mikroobrazowania MR.

Profesor Andrew utrzymywał rozległe kontakty naukowe z licznymi ośrodkami naukowymi. W jego laboratoriach w Wielkiej Brytanii i w Stanach Zjednoczonych zdobywało wiedzę i doświadczenie naukowe kilkudziesięciu pracowników naukowych z całego świata, w tym kilkanaście osób z Polski. Wielokrotnie odwiedzał Polskę, a szczególnie więzi łączyły go z Poznaniem i Krakowem. E. Raymond Andrew posiadał nieczęsto spotykaną umiejętność mówienia i pisanie w sposób jasny o sprawach trudnych. Bardzo starannie przygotowywał wszystkie swoje wystąpienia, biorąc pod uwagę poziom słuchaczy. Pamiętam, jak na początku lat 90. spędził cały weekend w laboratorium, przygotowując wystąpienie na temat MAS, które miał zaprezentować na poniedziałkowym seminarium doktoranckim. Byłem zdumiony, bo temat związany był z jego największym odkryciem i mógł o nim mówić bez żadnego przygotowania. Na moją uwagę odpowiedział wówczas: „To prawda, ale działo się to ponad 40 lat temu”.

Był założycielem British Radiospectroscopy Group i członkiem wielu organizacji naukowych. W latach 1974–80 był prezesem Ampère Group, a w latach 1984–87 prezesem międzynarodowego komitetu International Society of Magnetic Resonance. Był członkiem komitetów redakcyjnych licznych czasopism specjalistycznych i wieloletnim redaktorem *Journal of Magnetic Resonance in Medicine*. Jako członek Ampère Group wspierał inicjatywy organizowania w Polsce wielkich imprez naukowych poświęconych magnetycznym rezonansom. Dzięki jego poparciu zorganizowano w Poznaniu w 1988 r. XXIV Światowy Kongres Ampère, a w 1994 r. Workshop Ampère na temat nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Popierał również organizację XXXI Kongresu Ampère, który odbędzie się w Poznaniu w roku 2002. Przyczynił się tym wielce do rozpowszechnienia osiągnięć polskich grup badawczych w dziedzinie radiospektroskopii.

Działalność naukowa Profesora wyróżniona została kilkoma doktoratami honoris causa, m.in. Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W 1984 r. został

członkiem Towarzystwa Królewskiego w Londynie i otrzymał Welcome Medal. Był również członkiem Królewskiego Towarzystwa w Edynburgu. W uznaniu wybitnych osiągnięć Society of Magnetic Resonance in Medicine przyznało mu w 1991 r. Distinguished Service Medal.

Profesor E. Raymond Andrew zmarł w Gainesville na Florydzie 27 maja 2001 roku. Odszedł od nas wybitny uczyony i wspaniały człowiek.

Eugeniusz Szcześniak

KALENDARZ IMPREZ

Od pewnego już czasu informacje zawarte w dziale Kalendarz Imprez podawane są na stronie internetowej PTF (www.fuw.edu.pl/~ptf/fiz.html). Ze względu na powszechność i łatwość dostępu do tej strony wydaje się, że nie jest celowe powtarzanie jej w *Postęпах Fizyki*. Czytelników zainteresowanych tą informacją kierujemy zatem do tej strony.

Redakcja

NOWE KSIĄŻKI

- Lee Smolin, *Trzy drogi do kwantowej grawitacji*, z jęz. angielskiego tłum. Jerzy Kowalski-Glikman; Wyd. CiS, Warszawa 2001, s. 244.
- Curt Suplee, *Fizyka XX wieku*, z jęz. angielskiego tłum. Jerzy Prochorow; PWN, Warszawa 2001, s. 223.
- Janusz Stokłosa, Tomasz Bilski, Tadeusz Pankowski, *Bezpieczeństwo danych w systemach informatycznych*, PWN, Warszawa 2001, s. 417.
- Marek Siemiński, *Środowiskowe zagrożenia zdrowia*, PWN, Warszawa 2001, s. 659.
- Bronisław Średniawa, *Historia filozofii przyrody i fizyki w Uniwersytecie Jagiellońskim*, seria: „Rozprawy z dziejów nauki i techniki”, t. 12, Komitet Historii Nauki i Techniki PAN; Wyd. Retro-Art, Warszawa 2001.
- Zbigniew Bielecki, Antoni Rogalski, *Detekcja sygnałów optycznych*, WNT, Warszawa 2001, s. 400.
- Władysław Przygocki, Andrzej Włochowicz, *Fulereny i nanorurki: własności i zastosowania*, WNT, Warszawa 2001, s. 480, cena 59 zł.

OGŁOSZENIA

IV Ogólnopolski Konkurs na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki Kraków, wrzesień 2002 r.

Pokazowe doświadczenia – zwane inaczej demonstracjami – stanowią jeden z filarów dobrego kształcenia w zakresie fizyki na każdym poziomie nauczania. Celem ogłaszanego konkursu jest wydobyć na światło dzienne często niedocenianych mistrzów demonstracji fizycznej, poszukiwanie nowych talentów i popularyzacja najlepszych pomysłów, które mogłyby trafić do szkół i sal wykładowych. Do udziału w nim zapraszamy zawodowców i amatorów, pracowników szkół wyższych, studentów, nauczycieli i uczniów.

IV Ogólnopolski Konkurs na Pokazowe Doświadczenie z Fizyki organizuje Oddział Krakowski Polskiego Towarzystwa Fizycznego przy współudziale Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej. Konkurs jest organizowany w Krakowie od 1996 roku. Finał IV Konkursu będzie jedną z imprez Jarmarku Fizycznego 2002, który odbędzie się w Krakowie we wrześniu 2002 r.

Zgłoszenia prosimy kierować pocztą pod adresem: dr Marek Gołąb, Oddział Krakowski PTF, Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, ul. Reymonta 4, 30-059 Kraków, względnie pocztą elektroniczną pod adresem: ufmgolab@kinga.cyf-kr.edu.pl do dnia 27 maja 2002 r.

Bieżące informacje dotyczące konkursu oraz pełny tekst regulaminu dostępne są na stronach WWW Oddziału Krakowskiego PTF (<http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~ptf/>).

REGULAMIN KONKURSU

1. Do udziału w konkursie mogą być zgłaszane doświadczenia pokazowe z fizyki możliwe do wykonania w sali wykładowej lub klasie szkolnej. Konkurs dotyczy doświadczeń nowych, można też zaproponować nowy sposób prezentacji zjawisk należących do kanonu demonstracji fizycznych.
2. W konkursie może wziąć udział każdy. Udział w konkursie może być indywidualny lub zespołowy.
3. Łączny czas na wykonanie doświadczenia oraz na omówienie demonstrowanego zjawiska nie może przekraczać 10 min.
4. Zgłoszenie konkursowe powinno zawierać opis fizyczny i techniczny projektu doświadczenia (nie więcej niż dwie strony A4). Zalecane jest dołączenie fotografii zestawu doświadczalnego. Można zgłosić dowolną liczbę doświadczeń.
5. Projekty konkursowe należy zgłaszać do 27 maja 2002 roku. Opis doświadczenia należy przesłać pocztą tradycyjną na adres: dr Marek Gołąb, Oddział Krakowski PTF, Instytut Fizyki UJ, ul. Reymonta 4, 30-059 Kraków lub pocztą elektroniczną (ufmgolab@kinga.cyf-kr.edu.pl). W przypadku prac zespołowych prosimy o wskazanie osoby, do której należy kierować korespondencję (preferujemy dalszą korespondencję z wykorzystaniem poczty elektronicznej).
6. Jury Konkursu kwalifikuje nadesłane projekty do finału na podstawie ich opisu. Zwracamy uwagę uczestników konkursu na ten punkt regulaminu, ponieważ brak precyzji i jasności opisu może zadecydować o niepowodzeniu dobrego i oryginalnego pomysłu.
7. Przegląd doświadczeń zakwalifikowanych do finału konkursu odbędzie się we wrześniu 2002 roku podczas Jarmarku Fizycznego Kraków 2002. Komisja zawiadomi każdego z uczestników finału o terminie prezentacji do 31 lipca 2002 r. Do publicznej wiadomości zostaną podane wyłącznie tytuły prac zakwalifikowanych do finału (na stronach WWW Jarmarku Fizycznego Kraków 2002).
8. W finale konkursu uczestnicy prezentują przed Jury doświadczenia zgłoszone do konkursu. Uczestnicy konkursu przyjeżdżają z własnym sprzętem. Organizatorzy konkursu zapewniają standardowe wyposażenie laboratoryjne (zasilanie prądem stałym i zmiennym, gaz, sprężone powietrze, szkło laboratoryjne itp.). Po uzgodnieniu z organizatorami konkursu istnieje możliwość skorzystania z niestandardowego, a trudnego do transportu wyposażenia (np. ciekłe gazy, lasery).
9. Rozstrzygnięcie konkursu nastąpi podczas Jarmarku Fizycznego Kraków 2000. Przewiduje się przyznanie nagród pieniężnych za zajęcie I, II, III miejsca. (Jury może rozdzielić nagrody w inny sposób). Prace nagrodzone i wyróżnione zostaną zaprezentowane publicznie na specjalnym Konwersatorium PTF, w czasie trwania którego zostanie przyznana nagroda publiczności. Opisy nagrodzonych doświadczeń pokazowych zostaną opublikowane w wydawanym przez Instytut Fizyki UJ czasopiśmie dla uczniów i nauczycieli fizyki FOTON.
10. Nadesłanie prac na konkurs jest równoznaczne z wyrażeniem zgody na ich dowolne, z zachowaniem praw autorskich, niekomercyjne wykorzystanie przez organizatorów konkursu.
11. Jury Konkursu jest powoływane przez Zarząd Krakowski PTF. Decyzje Jury są ostateczne.
12. Organizatorzy zapewniają finalistom nocleg na dwie noce.

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2002 r. wynosi 30,00 zł za pół roku, 60,00 zł za rok. Prenumeratę można zamówić za pośrednictwem:

I. RUCH-u

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

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

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

II. ZARZĄDU GŁÓWNEGO PTF

Prenumeratę można także zamówić w Zarządzie Głównym PTF, drogą wpłaty na konto ZG PTF w PKO BP IX O/Warszawa nr 10201097-335245-270-1-111 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową na wskazany adres.

III. ODDZIAŁÓW PTF

Prenumeratę można zamówić również w oddziale PTF. Członkowie PTF, którzy opłacają prenumeratę w oddziałach PTF na cały rok, otrzymują 40% zniżki. Taka sama zniżka (40%) przysługuje studentom. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

INFORMACJE DLA AUTORÓW I TŁUMACZY

Komitety Redakcyjne proszą o opracowywanie materiałów przeznaczonych do druku w *Postęпах Fizyki* zgodnie z podanymi niżej zasadami:

1. Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków.

2. Układ pracy (tytuł i autor, angielski tytuł i streszczenie, tekst, odnośniki literaturowe itd.) powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły np. w tym zeszycie).

3. Rysunki należy wykonać starannie na oddzielnych arkuszach. Niezbędne napisy (tylko w języku polskim, z wyjątkiem reprodukowanych ilustracji o charakterze dokumentów historycznych) powinny być czytelne i dostosowane do wielkości rysunku. Opisy osi wykresów powinny odpowiadać ogólnie przyjętym regułom, np. „temperatura” lub „ T [K]” czy „ t [°C]”, a liczby w układzie dziesięt-

nym należy podawać z przecinkiem, nie kropką. Fotografie prosimy przysyłać w postaci odbitek, a w razie ich braku – plików o odpowiednio dużej zdolności rozdzielczej.

4. Prace należy nadsyłać pod adresem: Redakcja *Postępów Fizyki*, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres (również elektroniczny) do dalszej korespondencji.

5. Prosimy autorów o nadsyłanie – wraz z wydrukami – plików, zawierających teksty artykułów oraz rysunki, pocztą elektroniczną (nasz adres: postepy@fuw.edu.pl) lub na dyskietkach czy innych nośnikach.

6. O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny. Maszynopisów prac niezamówionych i niezakwalifikowanych do druku Redakcja nie zwraca.

7. Autora obowiązuje szybkie wykonanie korekty autorskiej.

POSTĘPY FIZYKI (ADVANCES IN PHYSICS), founded in 1949, is published bimonthly in Polish with abstracts in English by the Polish Physical Society with a support of the Polish State Research Committee (KBN) and the Physics Faculty of the Warsaw University.

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Jana Kazimierza 31/33, skrytka pocztowa 12, 00-958 Warszawa, Poland.

SPIS TREŚCI

H. Kroemer – Pola quasi-elektryczne i przesunięcia pasmowe, czyli jak nauczyć elektrony nowych sztuczek	1
RÓŻNE	
M. Suffczyński, P. Janiszewski – Stałe fizyczne	16
J. Spałek – Czy fizyka ma szansę w XXI wieku?	19
WSPOMNIENIA – ROCZNICE	
J.J. Wysocki – 50 lat fizyki na Politechnice Częstochowskiej	26
NAUCZANIE FIZYKI	
S. Bednarek – Podstawowe doświadczenia pokazowe z reologii i magnetoreologii	33
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	41
RECENZJE	45
LISTY DO REDAKCJI	47
NAGRODA NOBLA 2001	49
KRONIKA	51

CONTENTS

H. Kroemer – Quasielectric fields and band offsets: teaching electrons new tricks	1
MISCELLANEA	
M. Suffczyński, P. Janiszewski – The fundamental physical constants	16
J. Spałek – Does physics have a prospect in the 21st century?	19
RECOLLECTIONS – ANNIVERSARIES	
J.J. Wysocki – 50 years of physics at Technical University of Częstochowa	26
PHYSICS TEACHING	
S. Bednarek – Basic demonstration experiments in rheology and magnetorheology	33
MEETINGS AND CONFERENCES	41
REVIEWS	45
LETTERS TO THE EDITOR	47
NOBEL PRIZE 2001	49
CHRONICLE	51

WKRÓTCE

- *Wykład noblowski 2000 Žoresa I. Ałfiorowa*
- *Granty KBN z fizyki: XX i XXI konkurs*
- *Jan Mostowski – 50 lat Olimpiad Fizycznych*
- *Władimir I. Arnold – Matematyka i fizyka: matka i córka czy siostry?*
- *Manfred Schroeder o rozwoju i przyszłości fizyki*
- *Franz Bader o tym, jak mechanika kwantowa wkracza do szkoły*