

# POSTĘPY FIZYKI

TOM 50 ZESZYT 1 ROK 1999



DWUMIESIĘCZNIK  
POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



**MANIPULOWANIE ATOMAMI**

FUNDACJA ALFREDA JURZYKOWSKIEGO

BADANIA NAUKOWE W WARUNKACH SAMOFINANSOWANIA

MOJĘSZ DOLINY KRZEMOWEJ

---

---

## POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

---

---

### ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes: Prof. Ireneusz Strzałkowski  
Wiceprezesa: Prof. Andrzej Budzanowski  
Prof. Józef Szudy  
Sekretarz Generalny: Prof. Maciej Kolwas  
Skarbnik: Mgr Wanda Doborzyńska-Głazek  
Członkowie Zarządu: Prof. Bogdan Cichocki  
Prof. Stanisław K. Hoffmann  
Prof. Wojciech Suski  
Dr Edmund Śniadek  
Prof. Jacek Turnau  
Mgr Urszula Woźnikowska-Bezak

### 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. Bronisław Grzegorzewski (Bydgoszcz)  
Prof. Marian Głowacki (Częstochowa)  
Prof. Eugeniusz Czuchaj (Gdańsk)  
Dr Andrzej Klimasek (Gliwice)  
Dr hab. Andrzej Burian (Katowice)  
Dr Marek Pajek (Kielce)  
Prof. Jacek Turnau (Kraków)  
Prof. Stanisław Hałas (Lublin)  
Prof. Leszek Wojtczak (Łódź)  
Dr Stanisław Chabik (Opole)  
Prof. Jerzy Dembczyński (Poznań)  
Prof. Marian Kuźma (Rzeszów)  
Prof. Henryk Wrembel (Słupsk)  
Prof. Tadeusz Rewaj (Szczecin)  
Prof. Wacław Bała (Toruń)  
Prof. Bronisław Orłowski (Warszawa)  
Prof. Witold Ryba-Romanowski (Wrocław)

Adres Zarządu: ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, tel./fax: 621 26 68, adres elektroniczny: ptf@fuw.edu.pl,  
strona WWW: <http://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. Wystocki (Częstochowa)  
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)  
Dr Roman Bukowski (Gliwice)  
Prof. Wiktor Zipper (Katowice)  
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)  
Dr Jacek Bieroń (Kraków)  
Mgr Tomasz Durakiewicz (Lublin)  
Dr Urszula Garuska (Łódź)  
Dr Ryszard Czajka (Poznań)  
Mgr Małgorzata Kuzio (Słupsk)  
Dr Ewa Weinert-Rączka (Szczecin)  
Dr Józefina Turło (Toruń)  
Dr Ewa Jędryka (Warszawa)  
Prof. Bernard Jancewicz (Wrocław)

Adres Redakcji: ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, adres elektroniczny: postepy@fuw.edu.pl,  
strona WWW: <http://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

---

# 50 lat *Postępów Fizyki*

W bieżącym roku upływa 50 lat od chwili założenia *Postępów Fizyki*, w celu „krzewienia wiedzy fizycznej w Polsce”.

W zamierzeniu twórców pisma „*Postępy Fizyki* nie mają być pismem popularnym w najpełniejszym znaczeniu tego wyrażenia. Nasze nowe pismo przeznaczamy dla tych, którzy mając już pewne przygotowanie i interesując się fizyką nie mogą korzystać bezpośrednio z publikacji oryginalnych, przeważnie zbyt specjalnych i trudno dostępnych.

Spodziewamy się, że *Postępy Fizyki* podając rzetelne i ściśle informacje na temat najbardziej aktualnych zagadnień współczesnej fizyki zdobędą sobie licznych Czytelników zarówno spośród studiującej młodzieży, jak i spośród dorosłych”.

Założycielem pisma było Polskie Towarzystwo Fizyczne. Reprezentowali je wówczas: Stefan Pieńkowski (przew. Zarządu), Czesław Białobrzęski (wiceprzew.), Ludwik Natanson (sekretarz), Władysław Kapuściński (skarbnik), Szczepan Szczeniowski i Jan Weyssenhoff (redaktorzy), Andrzej Sołtan (członek). Interesujące może być też, kto przewodniczył oddziałom PTF, których wówczas było osiem: Arkadiusz Piekara (Gdańsk), Marian Puchalik (Gliwice), Henryk Niewodniczański (Kraków), Stanisław Ziemecki (Lublin), Feliks Joachim Wiśniewski (Łódź), Szczepan Szczeniowski (Poznań), Wojciech Rubinowicz (Warszawa), Stanisław Loria (Wrocław).

Pismo redagowali: Szczepan Szczeniowski (redaktor), Władysław Kapuściński, Stefan Pieńkowski i Wojciech Rubinowicz (członkowie Redakcji). Z osobą redaktora wiązała się także siedziba Redakcji: Zakład Fizyki Uniwersytetu Poznańskiego przy ul. Grunwaldzkiej 14.

A jaka była treść pierwszego zeszytu? Oto ona:

Szczepan Szczeniowski, „Praktyczny układ elektromagnetycznych jednostek Giorgiego”;

Henryk Niewodniczański, „Rozszczepienie ciężkich jąder atomowych wywołane fotonami”;

Henryk Niewodniczański, „Rozszczepienie się samorzutne jąder najcięższych pierwiastków”;

Wiktor Kemula, „Pierwiastki transuranowe”;

Włodzimierz Mościcki, „Określanie wieku zabytków organicznych z pomiaru natężenia promieniowania  $\beta$  izotopu  $C^{14}$ ”;

Bronisław Średniawa, „Recenzja książki *Elementary Nuclear Theory* Bethego”.

Zwróćmy uwagę, że prawie cała treść to fizyka jądra atomowego, której tak burzliwy rozwój nastąpił w czasie wojny, a o którym przynajmniej pewną wiedzę należało w odbudowującej się Polsce przyswoić.

Podajmy jednak i treść następnych dwóch zeszytów, które razem z pierwszym (wszystkie trzy podwójne) sta-

nowiły pierwszy tom. Treść ta bowiem wyznaczy całkiem nieźle kierunki badań, jakie będą rozwijane w Polsce w następnych latach.

Zeszyt 3–4:

Marian Mięśowicz, „Działanie hamujące materii na fragmenty rozszczepienia jąder ciężkich”; Jan Blaton, „Procesy rozszczepienia ciężkich jąder”; Leonard Sosnowski, „Współczesny stan teorii zjawisk elektrycznych w kryształach”; Leonard Sosnowski, „Rozwój badań nad półprzewodnikami”; Henryk Niewodniczański, „Recenzja książki *Niekotoryje woprosy teorii jadra* – Akhiezer i I. Pomieranczuk”.

Zeszyt 5–6:

Arkadiusz Piekara, „Badania własności dielektrycznych ciał stałych, w szczególności ferroelektryków”; Ignacy Adamczewski, „Metoda klisz fotograficznych w badaniach fizyki jądrowej i fizyki promieni kosmicznych”; Aleksander Jabłoński, „Fotoluminescencja kryształów”; Stanisław Loria, „Recenzja książki W.H. Westphala *Fizyka cz. I. Mechanika, akustyka, nauka o ciepłe*” [uczyło się z niej wiele roczników studentów – Red.].

Ponadto w obu tych zeszytach podane zostały krótkie streszczenia referatów wygłoszonych na XII Zjeździe Fizyków Polskich (trzecim po wojnie), który odbył się w Warszawie na przełomie października i listopada 1949 r. Wśród referentów, oprócz autorów powyższych artykułów, znajdujemy takie nazwiska, jak: Jerzy Rayski, Jan Rzewuski, Janusz Groszkowski (radiotechnik), Jan Wesołowski, Roman S. Ingarden, Stanisław Ziemecki, Włodzimierz Zonn (astronom), Wojciech Królikowski, Maciej Suffczyński, Marian Danysz, Zdzisław Wilhelmi, Armin Teske, Leopold Jurkiewicz, Michał Massalski, Mieczysław Jeżewski, Włodzimierz Ścisłowski, Kazimierz Antonowicz.

Minęło już 50 lat, a większość tych nazwisk dobrze dzisiaj znamy. I nie jest to chyba dziwne. Stanowią bowiem niemały i ważny fragment historii fizyki polskiej. Ilustruje to także fakt, jak dobrze te pierwsze zeszyty „zakotwiczyły się” w środowisku fizyków. Czy trwa to tak do dzisiaj? Na to pytanie najlepiej odpowiedzą sobie Państwo sami.

Ciekawe jest także zauważyć, że pisali w *Postępkach* znakomici fizycy polscy, ludzie tę fizykę tworzący. Wierzmy, że będzie tak zawsze. Oni sami także te *Postępy* prowadzili, gdyż nikt inny nie zna i nie rozumie lepiej problemów fizyki w Polsce niż oni sami.

Chcielibyśmy w ciągu tego jubileuszowego roku przypomnieć kilka charakterystycznych fragmentów z tego, co ukazało się w tych latach w *Postępkach*.

Redakcja

# Manipulowanie atomami za pomocą fotonów\*

Claude N. Cohen-Tannoudji

*Collège de France oraz Laboratoire Kastler-Brossel\*\* de l'Ecole Normale Supérieure, Paris, Francja*

---

## Manipulating atoms with photons

---

*Nobel Lecture, 8 December 1997, Stockholm*

Oddziaływania elektromagnetyczne odgrywają podstawową rolę w fizyce niskich energii. Są odpowiedzialne za przyciąganie się atomów i cząsteczek, są też przyczyną emisji i absorpcji światła przez te układy. Światło jest nie tylko źródłem informacji o strukturze atomowej, ale może być również wykorzystane, aby oddziaływać na atomy, manipulować nimi czy też wpływać na ich różne stopnie swobody. Wraz z rozwojem laserowych źródeł światła, badania tego typu niezwykle się rozwinęły w ostatnich latach. Wynaleziono metody pułapowania atomów i ich ochładzania do bardzo niskich temperatur. Otworzyło to niezwykle szerokie możliwości nowych badań i zastosowań.

W atomach wyróżnić można dwa typy stopni swobody: wewnętrzne – takie jak konfiguracja elektronowa lub orientacja spinu w układzie środka masy, i zewnętrzne – tu przede wszystkim wymienić należy położenie i pęd środka masy atomu. Manipulowanie wewnętrznymi stopniami swobody atomu ma swe początki w pompowaniu optycznym [1], polegającym na rezonansowych wymianach momentu pędu pomiędzy atomami i kołowo spolaryzowanym światłem w celu uzyskania polaryzacji spinów atomowych. Doświadczenia pompowania optycznego prowadzono jeszcze przed zastosowaniem laserów w fizyce atomowej. W manipulowaniu zewnętrznymi stopniami

swobody atomów istotne jest pojęcie sił radiacyjnych [optycznych – D.W.G.], wynikających z wymiany pędu pomiędzy światłem i atomami. Do sił radiacyjnych wywieranych przez promieniowanie słoneczne odwoływał się już Kepler w celu wyjaśnienia powstawania warkoczy komet. Mimo że siły te są bardzo małe, gdy mamy do czynienia ze zwykłymi źródłami światła, to już na początku XX w. badali je doświadczalnie P. Lebediew, E.F. Nichols oraz G.F. Hull i R. Frisch. Historyczny przegląd tych badań zawarty jest w artykułach [2-5], które zawierają również omówienie wczesnych prac teoretycznych dotyczących tego tematu, wykonanych przez grupy A.P. Kazancewa i W.S. Letochowa w Rosji, A. Ashkina w Laboratoriach Bella oraz S. Stenholma w Helsinkach.

Okazuje się, że pomiędzy zmianami wewnętrznymi i zewnętrznymi stopni swobody atomu istnieje silny związek. Jest on podstawą wydajnych metod chłodzenia laserowego, takich jak „chłodzenie syzyfowe” czy „zależne od prędkości spójne uwięzienie obsadzeń”, które odkryto w końcu lat 80. (historię tych badań można prześledzić w pracy [6]). Metody te pozwoliły na pokonanie podstawowych ograniczeń wynikających ze zjawiska Dopplera i odrzutu pojedynczego fotonu, co umożliwiło osiągnięcie temperatur mikro- i nanokelwinowych. Duża część niniejszego artykułu (rozdz. 2 i 3) poświęcona jest omówieniu tych me-

---

\*Wykład noblowski, wygłoszony 8 grudnia 1997 r. w Sztokholmie, został przetłumaczony za zgodą Autora i Fundacji Nobla [Translated with permission. Copyright ©1998 by the Nobel Foundation] (przyp. Red.).

\*\*Laboratoire Kastler-Brossel jest stowarzyszone z CNRS i z Uniwersytetem Piotra i Marii Curie.

to, a także opisowi kilku zastosowań badanych przez naszą grupę w Paryżu (rozdz. 4). Istnieje wyraźna ciągłość pomiędzy obecnym postępowaniem w dziedzinie pułapkowania i chłodzenia atomów a teoretycznymi i doświadczalnymi pracami z lat 60. i 70., dotyczącymi wewnętrznych stopni swobody. Zademonstrujemy tę ciągłość w rozdz. 1, przedstawiając krótki przegląd różnych procesów fizycznych i interpretując je przy użyciu dwóch parametrów: rozszerzenia promienistego i przesunięcia świetlnego (ang. light shift) stanu podstawowego atomu.

## 1. Krótki przegląd procesów fizycznych

Przy klasyfikowaniu podstawowych procesów fizycznych, które są wykorzystywane do manipulowania atomami za pomocą światła, wygodnie jest wyróżnić dwie kategorie zjawisk: efekty dyssypacyjne (absorpcyjne) z jednej strony oraz efekty reaktywne (dyspersyjne) z drugiej. Podział ten dotyczy zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych stopni swobody.

### 1.1. Istnienie dwóch typów zjawisk w oddziaływaniach pomiędzy atomami i fotonami

Rozważmy na wstępie promień świetlny o częstotliwości  $\omega_L$ , rozchodzący się przez ośrodek składający się z atomów o częstotliwości rezonansowej  $\omega_A$ . Współczynnik załamania, opisujący tę propagację, ma część rzeczywistą i urojoną, które są związane z dwoma typami procesów fizycznych. Padający foton może być zaabsorbowany, a ściślej – rozproszony w dowolnym kierunku. Związane z tym osłabienie wiązki światła jest maksymalne w przypadku rezonansu. Jest ono opisywane przez część urojoną współczynnika załamania, która zmienia się w zależności od  $\omega_L - \omega_A$  jak lorentzowska krzywa absorpcyjna. Zjawisko to określamy jako dyssypacyjne (absorpcyjne). Podczas oddziaływania zmienia się także prędkość światła, co opisuje część rzeczywista współczynnika załamania, która zależy od  $\omega_L - \omega_A$  jak lorentzowska krzywa dyspersyjna. Taki efekt nazywać będziemy reaktywnym (dyspersyjnym).

Zjawiska dyssypacyjne i reaktywne występują także dla atomów w wyniku ich oddziaływania z fotonami. Są to odpowiednio rozszerzenie i przesunięcie poziomów atomowych. Zjawiska te występują już wówczas, gdy atom oddziałuje

ze skwantowanym polem promieniowania w stanie próżni. Wiadomo, że wzbudzone poziomy atomowe mają naturalną szerokość  $\Gamma$ , odpowiadającą stałej czasowej emisji spontanicznej fotonów z takiego stanu. Poziomy atomowe przesuwają się również w wyniku wirtualnej emisji i reabsorpcji fotonów przez atom. Owo radiacyjne przesunięcie to po prostu przesunięcie Lamba [7].

Podobne zjawiska towarzyszą oddziaływaniu atomu z padającą wiązką światła. Stany podstawowe atomów doznają wówczas rozszerzenia promienistego  $\Gamma'$ , którego wielkość jest stałą czasową, z jaką fotony są absorbowane przez atom, a dokładniej – rozpraszane z padającej wiązki. Poziomy energetyczne atomu ulegają natomiast przesunięciu w wyniku wirtualnej absorpcji i re-emisji padających fotonów. Tego rodzaju przesunięcie  $\hbar\Delta'$  jest zwane przesunięciem świetlnym lub dynamicznym zjawiskiem Starka [8,9].

Wielkości  $\Gamma'$  i  $\Delta'$  są niezwykle ważne dla dalszej dyskusji, dlatego przedstawimy teraz krótkie wyprowadzenie opisujących je wzorów, oparte na teorii atomu ubranego, zastosowanej do oddziaływań atom-foton (patrz np. rozdz. VI pracy [10]). W przypadku braku oddziaływania, dwa stany atomu ubranego  $|g, N\rangle$  (atom w stanie podstawowym  $g$  w obecności  $N$  fotonów) i  $|e, N-1\rangle$  (atom w stanie wzbudzonym  $e$  w obecności  $N-1$  fotonów) są odległe o  $\hbar\delta$ , gdzie  $\delta = \omega_L - \omega_A$  jest odstrojeniem częstotliwości światła  $\omega_L$  od częstotliwości atomowej  $\omega_A$ . Hamiltonian oddziaływania atomu ze światłem  $V_{AL}$  sprzęga te dwa stany, bo atom ze stanu  $g$  może przejść do stanu  $e$ , pochłaniając jeden foton. Odpowiedni element macierzowy  $V_{AL}$  można zapisać jako  $\hbar\Omega/2$ , gdzie  $\Omega$  jest tzw. częstotnością Rabięgo, proporcjonalną do momentu dipolowego przejścia i do  $\sqrt{N}$ . W wyniku sprzężenia  $V_{AL}$  oba stany odpychają się i stan  $|g, N\rangle$  przesuwa się o wielkość  $\hbar\Delta'$ , która jest przesunięciem świetlnym stanu  $g$ . Domieszanie niestabilnego stanu  $|e, N-1\rangle$  o szerokości  $\Gamma$  do stanu  $|g, N\rangle$  powoduje, że stan podstawowy uzyskuje szerokość  $\Gamma'$ . W granicy  $\Omega \ll \Gamma$  lub  $|\delta|$  prosty rachunek zaburzeń daje:

$$\Gamma' = \Omega^2 \frac{\Gamma}{\Gamma^2 + 4\delta^2}, \quad (1)$$

$$\Delta' = \Omega^2 \frac{\delta}{\Gamma^2 + 4\delta^2}. \quad (2)$$

Zarówno  $\Gamma'$ , jak i  $\Delta'$  są proporcjonalne do  $\Omega^2 \propto N$ , tzn. do natężenia światła. Ze zmianą

odstrojenia  $\delta = \omega_L - \omega_A$  zmieniają się one odpowiednio jak absorpcyjne i dyspersyjne krzywe lorentzowskie, co uzasadnia użycie określeń „absorpcyjny” i „dyspersyjny” do tego rodzaju efektów. Przy dużych odstrojeniach ( $|\delta| \gg \Gamma$ )  $\Gamma'$  zmienia się jak  $1/\delta^2$  i staje się znikomą małą w porównaniu z  $\Delta'$ , które zmienia się jak  $1/\delta$ . Natomiast przy małych odstrojeniach ( $|\delta| \ll \Gamma$ )  $\Gamma'$  jest znacznie większe od  $\Delta'$ . W przybliżeniu dużego natężenia, gdy  $\Omega$  jest duże w porównaniu z  $\Gamma$  oraz  $|\delta|$ , dwa stany atomu ubranego to kombinacje liniowe stanów  $|g, N\rangle$  oraz  $|e, N-1\rangle$ , symetryczna i antysymetryczna, o energiach własnych różniących się o  $\hbar\Omega$ . Kombinacje te równo dzielą między siebie niestabilność stanu e, tak że  $\Gamma' = \Gamma/2$ . Za ich pomocą można wyjaśnić wiele zjawisk fizycznych, jak oscylacje Rabiego lub rozszczepienie Autlera-Townesa linii widmowych łączących stany e oraz g z dowolnym trzecim stanem [11].

## 1.2. Manipulacja wewnętrznymi stopniami swobody

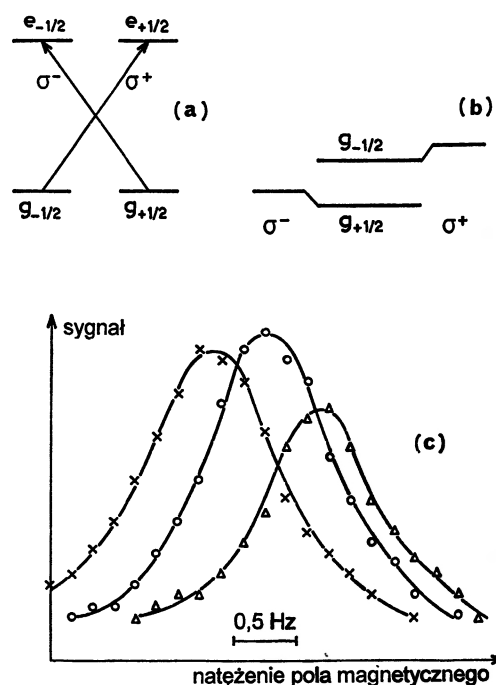
### 1.2.1. Pompowanie optyczne

Pompowanie optyczne jest jednym z pierwszych przykładów manipulowania atomami za pomocą światła [1]. Wykorzystuje ono rezonansowe wzbudzenie atomów przez kołowo spolaryzowane światło dla przekazania atomom części momentu pędu niesionego przez wiązkę świetlną. Jest to związane z faktem, że różne podpoziomy zeemanowskie atomowego stanu podstawowego mają na ogół różne prawdopodobieństwa absorpcji światła spolaryzowanego. Na przykład dla przejścia  $J_g = 1/2 \leftrightarrow J_e = 1/2$  tylko te atomy, które są na podpoziomie  $M_g = -1/2$ , mogą absorbować światło o polaryzacji  $\sigma^+$ . Są one wzbudzone do podpoziomu  $M_e = +1/2$  stanu e, po czym mogą spaść na podpoziom  $M_g = +1/2$  przez spontaniczną emisję fotonu o polaryzacji  $\pi$ . Pozostają one wówczas uwięzione w tym stanie, ponieważ kolejne przejścia o polaryzacji  $\sigma^+$  nie mogą już nastąpić. W ten sposób możliwe jest otrzymanie dużych stopni orientacji spinowej atomowych stanów podstawowych.

### 1.2.2. Przesunięcia świetlne

Pompowanie optyczne jest zjawiskiem dysypacyjnym, ponieważ jest związane z rezonansową absorpcją fotonów przez atom. Nierezonansowe wzbudzenie optyczne wywołuje przesunięcia

światłne podpoziomów stanu podstawowego. Ze względu na polaryzacyjne reguły wyboru przesunięcia światłne zależą od polaryzacji wzbudzającego światła i na ogół są różne dla różnych podpoziomów zeemanowskich. Rozważmy przykład przejścia  $J_g = 1/2 \leftrightarrow J_e = 1/2$  (rys. 1a). Wzbudzenie  $\sigma^+$  przesuwają wyłącznie podpoziom  $M_g = -1/2$ , podczas gdy wzbudzenie  $\sigma^-$  przesuwają jedynie podpoziom  $M_g = +1/2$  (rys. 1b). Krzywe rezonansu magnetycznego [związanego z przejściem magnetycznym dipolowym  $M_g = -1/2 \leftrightarrow M_g = +1/2 - D.W.G.$ ] są za-



Rys. 1. Doświadczalna obserwacja przesunięć świetlnych (z pracy [12]). Dla przejścia  $J_g = 1/2 \leftrightarrow J_e = 1/2$  (a) nierezonansowe wzbudzenie światłem o polaryzacji  $\sigma^+$  przesuwają wyłącznie podpoziom  $g_{-1/2}$  (prawa część b), podczas gdy wzbudzenie o polaryzacji  $\sigma^-$  przesuwają tylko podpoziom  $g_{+1/2}$  (lewa część b) [ściślej biorąc, przesuwają się też i poziomy  $e_{\pm 1/2}$ , ale nie jest to istotne dla rezonansu pomiędzy  $g_{\pm 1/2} - D.W.G.$ ]. Odstrojenie  $\delta$  jest dodatnie i znacznie większe od rozszczepienia zeemanowskiego w stanach e oraz g. Rozszczepienie zeemanowskie stanu podstawowego dzięki temu zwiększa się w pierwszym przypadku, a zmniejsza w drugim. (c) Sygnał rezonansu magnetycznego w funkcji natężenia pola magnetycznego. Środkowa krzywa (kółka) jest krzywą rezonansową pod nieobecność światła. Po użyciu nierezonansowej wiązki światła o polaryzacji  $\sigma^+$  (krzyżyki) albo  $\sigma^-$  (trójkąty) krzywe rezonansu magnetycznego ulegają przesunięciu przez światło w przeciwnych kierunkach.

tem przesunięte przez światło wskutek nierezonansowego wzbudzenia o odpowiedniej polaryzacji, a znak tego przesunięcia zmienia się, gdy

polaryzacja wiązki świetlnej zmienia się z  $\sigma^+$  na  $\sigma^-$ . W ten właśnie sposób zaobserwowano po raz pierwszy przesunięcia świetlne [12]. Rysunek 1c przedstawia przykład wyników doświadczalnych otrzymanych przez wzbudzenie przejścia  $6^1S_0, F = 1/2 \leftrightarrow 6^3P_1, F = 1/2$  atomów  $^{199}\text{Hg}$  za pomocą nierezonansowego światła z lampy wypełnionej innym izotopem rtęci ( $^{201}\text{Hg}$ ). Krzywe rezonansowe są bardzo wąskie ze względu na to, że czas relaksacji stanu g może być bardzo długi.

Przesunięcia świetlne można też rozpatrywać z innego punktu widzenia. Po pierwsze, mogą one być interpretowane jako poprawka radiacyjna, związana z polem zewnętrznym, a nie polem próżni. Z tego powodu Alfred Kastler nazwał je „Lamp shifts” [gra słów związana z analogią do „Lamb shift” – przesunięcie Lamba, której urok znika po przetłumaczeniu na polskie „przesunięcie lampowe” – D.W.G.]. Po drugie, przesunięcia te wprowadzają zaburzenia do precyzyjnych pomiarów wykorzystujących metody optyczne, co musi być uwzględniane przy wykorzystywaniu tych pomiarów do otrzymywania danych spektroskopowych. Wreszcie, ze względu na zależność tych przesunięć od podpoziomu, zjawisko przesunięć świetlnych może być interpretowane za pomocą fikcyjnych pól magnetycznych lub elektrycznych [13]. Jest to przyczyna, dla której przesunięcia świetlne wywołane przez nierezonansową laserową falę stojącą są coraz częściej wykorzystywane do wytwarzania przestrzennej modulacji zemanowskich rozszczepień stanów podstawowych w skali długości fali świetlnej. Nie byłoby to łatwe przy użyciu przestrzennie zmiennych rzeczywistych pól magnetycznych. W rozdziale 2 zobaczymy interesujące zastosowania takich sytuacji.

### 1.3. Manipulowanie zewnętrznymi stopniami swobody

#### 1.3.1. Dwa typy sił optycznych

Istnieją dwa typy sił optycznych, związane odpowiednio ze zjawiskami dyssypacyjnymi i reaktywnymi. Siły dyssypacyjne, zwane również siłami ciśnienia promieniowania lub siłami rozpraszania [inna często stosowana nazwa to siły spontaniczne – D.W.G.], wiążą się z przekazem pędu z padającej wiązki świetlnej do atomu w procesie rezonansowego rozpraszania. Są one proporcjonalne do kinetycznej stałej rozpraszania  $\Gamma'$ . Rozważmy dla przykładu atom w laserowej fali

płaskiej o wektorze falowym  $\mathbf{k}$ . Ponieważ fotony są rozpraszane z jednakowym prawdopodobieństwem w obu przeciwnych kierunkach, średni przekaz pędu do atomu w jednym cyklu absorpcja-emisja spontaniczna jest równy pędowi pochłoniętego fotonu  $\hbar\mathbf{k}$ . Średnia szybkość przekazu pędu, tzn. średnia siła, wynosi więc  $\hbar\mathbf{k}\Gamma'$ . Ponieważ przy dużych natężeniach  $\Gamma'$  dąży do stałej wartości  $\Gamma/2$  (rozd. 1.1), siła ciśnienia promieniowania dąży do  $\hbar\mathbf{k}\Gamma/2$ . Odpowiadające jej przyspieszenie (lub opóźnienie), jakiego może doznać atom o masie  $M$ , jest równe  $a_{\max} = \hbar\mathbf{k}\Gamma/2M = v_R/2\tau$ , gdzie  $v_R = \hbar k/M$  jest prędkością odrzutu atomu pochłaniającego lub emitującego foton, a  $\tau = 1/\Gamma$  jest promienistym czasem życia stanu wzbudzonego. Dla atomów sodu  $v_R = 3 \times 10^{-2}$  m/s, a  $\tau = 1,6 \times 10^{-8}$  s, tak że  $a_{\max}$  może osiągnąć aż  $10^6$  m/s<sup>2</sup>, tzn.  $10^5 g$ , gdzie  $g$  jest przyspieszeniem ziemskim. Taką siłą można zatrzymać termiczną wiązkę atomową na odcinku rzędu jednego metra, pod warunkiem jednoczesnej kompensacji przesunięcia dopplerowskiego spowalnianego atomu, wykorzystując na przykład zmieniające się przestrzennie przesunięcie zemanowskie [14,15] lub modulowaną częstość lasera [16].

Siły dyspersyjne, zwane również dipolowymi lub gradientowymi [a często też siłami wymuszonymi – D.W.G.] [2,3,17], można interpretować za pomocą przesunięć świetlnych  $\hbar\Delta'(\mathbf{r})$ , zależnych od położenia z powodu przestrzennej niejednorodności natężenia światła [18]. Rozważmy na przykład wiązkę laserową znacznie odstrojoną od rezonansu, tak że można zaniedbać  $\Gamma'$  (brak rozpraszania). Atom pozostaje wówczas w stanie podstawowym i przesunięcie świetlne  $\hbar\Delta'(\mathbf{r})$  tego stanu pełni rolę energii potencjalnej, powodującej pojawienie się siły, równej (ze znakiem przeciwnym) jego gradientowi:  $\mathbf{F} = -\nabla[\hbar\Delta'(\mathbf{r})]$ . Taką siłą można również interpretować jako wynik redystrybucji fotonów pomiędzy różnymi falami płaskimi tworzącymi falę laserową, zachodzącą poprzez cykle: absorpcja-emisja wymuszona. Jeżeli odstrojenie nie jest dostatecznie duże, aby można było zaniedbać  $\Gamma'$ , mogą zachodzić także spontaniczne przejścia pomiędzy stanami ubranymi, mającymi przeciwne gradienty. W ich wyniku chwilowa wartość siły oscyluje w przypadkowy sposób pomiędzy dwiema przeciwnymi wartościami. Taki obraz atomu ubranego umożliwia prostą in-

terpretację średniej wartości i fluktuacji sił dipolowych [19].

### 1.3.2. Zastosowania sił dyssypacyjnych – chłodzenie dopplerowskie i pułapki magnetoptyczne

W poprzednim rozdziale wspomnieliśmy już o możliwości spowalniania wiązki atomowej przez siłę ciśnienia promieniowania jednej płaskiej fali laserowej. Ciekawe zjawiska występują, gdy równocześnie zastosuje się dwie przeciwbieżne fale laserowe.

Pierwszym przykładem jest chłodzenie dopplerowskie, zaproponowane po raz pierwszy przez T.W. Hänscha i A.L. Schawlowa dla neutralnych atomów [20] i niezależnie przez D. Winelanda i H. Dehmelta dla uwięzionych jonów [21]. Ten proces chłodzenia jest wynikiem nierównoważenia się dwóch przeciwnych sił ciśnienia promieniowania. Dwie przeciwbieżne fale laserowe mają takie samo (słabe) natężenie i tę samą częstość, nieco odstrojoną w stronę czerwieni od częstości atomowej ( $\omega_L < \omega_A$ ). Gdy atom spoczywa, dwie siły ciśnienia promieniowania równoważą się i siła wypadkowa jest równa zeru. Dla poruszającego się atomu częstości obu fal laserowych są w jego układzie odniesienia przesunięte dopplerowsko. Fala biegnąca przeciwnie do ruchu atomu jest bliższa rezonansu i wywiera większe ciśnienie promieniowania niż fala współbieżna z atomem, której częstość oddala się od rezonansu. Wypadkowa siła jest więc przeciwnie skierowana do prędkości atomowej  $v$  i dla małych  $v$  może być przedstawiona jako  $F = -\alpha v$ , gdzie  $\alpha$  jest współczynnikiem tarcia. Używając trzech par przeciwbieżnych wiązek laserowych wzdłuż trzech ortogonalnych kierunków, można zmniejszyć prędkość atomu w bardzo krótkim czasie, poniżej kilku mikrosekund, osiągając coś, co jest nazywane „melasą optyczną” [22].

Tarcie dopplerowskie, odpowiedzialne za takie chłodzenie, jest nieuchronnie związane z fluktuacjami ze względu na fotony fluorescencji spontanicznie emitowane w przypadkowych kierunkach i w przypadkowych chwilach. Atomy uzyskują wówczas pęd odrzutu  $\hbar k$ , odpowiedzialny za rozmycie pędu, charakteryzowane przez współczynnik dyfuzji  $D$  [3,18,25]. Tak jak w przypadku zwykłych ruchów Browna, konkurencja między tarciami i dyfuzją prowadzi do stanu równowagi o temperaturze proporcjonalnej do  $D/\alpha$ . Teoria

chłodzenia dopplerowskiego [23-25] przewiduje, że otrzymana zgodnie z tym schematem temperatura równowagi jest zawsze wyższa od pewnej granicznej wartości  $T_D$ , zwanej granicą dopplerowską i wyznaczanej z równania  $k_B T_D = \hbar \Gamma / 2$ , gdzie  $\Gamma$  jest naturalną szerokością stanu wzbudzonego, zaś  $k_B$  stałą Boltzmanna. Granica ta, którą się osiąga przy  $\delta = \omega_L - \omega_A = -\Gamma/2$ , jest dla atomów alkalicznych rzędu  $100 \mu\text{K}$ . W istocie, gdy pomiary temperatury stały się dostatecznie dokładne, okazało się jednak, że temperatura melasy optycznej jest znacznie niższa niż się spodziewano [26]. Wskazuje to na występowanie jeszcze innego mechanizmu chłodzącego, bardziej wydajnego od chłodzenia dopplerowskiego. Powrócimy do niego w rozdziale 2.

Jeśli wykorzysta się przestrzenną niejednorodność przesunięć zeemanowskich w gradiencie pola magnetycznego, można doprowadzić do sytuacji, w której przeciwnie skierowane siły ciśnienia promieniowania równoważą się tylko w niektórych miejscach. W jednowymiarowej konfiguracji, zaproponowanej po raz pierwszy w 1986 r. przez J. Dalibarda, dwie przeciwbieżne fale, odstrojone ku czerwieni i mające przeciwne polaryzacje kołowe, są w rezonansie z atomem dla różnych jego położeń. Wynika stąd istnienie siły zwrotnej, przemieszczającej atom do położenia, w którym pole magnetyczne znika. Niezerowe odstrojenie zapewnia ponadto równoczesne chłodzenie dopplerowskie. W rzeczywistości układ taki może być rozszerzony do trzech wymiarów i prowadzi do silnej, dużej i głębokiej pułapki, zwanej pułapką magnetoptyczną (MOT, od ang. magneto-optical trap) [27]. Łączy ona pułapkowanie i chłodzenie, wychwytuje atomy o dużym zakresie prędkości i może być użyta do pułapkowania atomów w małych komórkach, wypełnionych parami o niskim ciśnieniu [28].

### 1.3.3. Zastosowania sił dyspersyjnych: pułapki laserowe i zwierciadła atomowe

Dla ujemnego odstrojenia ( $\omega_L - \omega_A < 0$ ) przesunięcia świetlne są ujemne. Jeżeli wiązka laserowa jest ogniskowana, obszar ogniska, gdzie natężenie ma maksymalną wartość, staje się obszarem minimum energii potencjalnej i tworzy studnię potencjału, w której mogą być więzione odpowiednio zimne atomy. Jest to pułapka laserowa. Pułapki laserowe zostały zrealizowane za-



równy z jednym [29], jak i z dwoma [30,31] zogniskowanymi promieniami laserowymi. Początkowo rozważano też pułapkowanie atomów w węzłach lub strzałkach nierezonansowej, stojącej fali laserowej [32]. Charakterystyczny, „kanalikowy” ruch atomów (channeling) w stojącej fali laserowej obserwowano doświadczalnie [33].

Gdy odstrojenie jest dodatnie, przesunięcia świetlne są też dodatnie, a więc mogą być użyte do wytworzenia barier potencjału. Na przykład, odstrojona ku błękitowi fala zanikająca na powierzchni szkła (evanescent wave) może uniemożliwić powolnym atomom poruszającym się ku tej powierzchni jej dotknięcie, tworząc jakby „świetlny dywan” [34]. Jest to zasada działania zwierciadeł dla atomów. Takie zwierciadła zostały już skonstruowane, zarówno płaskie [35,36], jak i wklęsłe [37].

## 2. Chłodzenie subdopplerowskie

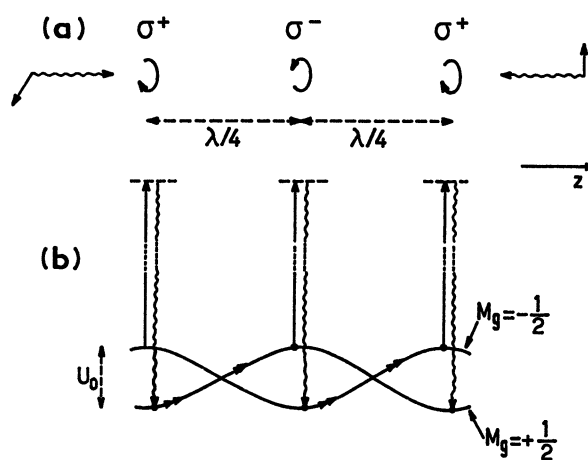
W poprzednim rozdziale dyskutowaliśmy oddzielnie manipulowanie zewnętrznymi oraz wewnętrznymi stopniami swobody i opisywaliśmy fizyczne mechanizmy, wywołujące tylko jeden rodzaj efektów fizycznych: albo dyspersyjne, albo dyssypacyjne. W rzeczywistości istnieją mechanizmy chłodzenia, wynikające ze współzależności pomiędzy spinowymi i zewnętrznymi stopniami swobody oraz pomiędzy zjawiskami dyspersyjnymi i dyssypacyjnymi. W niniejszym rozdziale przedyskutujemy jeden z nich, zwany „chłodzeniem syzyfowym” lub „chłodzeniem z gradientem polaryzacji” [38,39] (patrz także [19]), prowadzący do temperatur znacznie niższych niż chłodzenie dopplerowskie. Za pomocą tego mechanizmu można wyjaśnić otrzymywanie niższych od granicy Dopplera, tzw. subdopplerowskich temperatur melasy optycznej, o czym wspomniano wcześniej w rozdziale 1.3.2.

### 2.1. Efekt Syzyfa

Większość atomów, w szczególności atomy alkaliczne, posiada strukturę zeemanowską w stanie podstawowym. Ponieważ odstrojenia stosowane w eksperymentach chłodzenia laserowego nie są zbyt duże w porównaniu z  $\Gamma$ , zarówno różnicowe przesunięcia świetlne, jak i przejścia pompowania optycznego zachodzą dla różnych podpoziomów zeemanowskich. Ponadto polaryzacja światła lase-

rowego zmienia się w przestrzeni, zatem te przesunięcia świetlne i wydajności pompowania optycznego zależą od położenia atomu. Pokażemy teraz na prostym, jednowymiarowym przykładzie, jak połączenie tych różnych zjawisk może prowadzić do bardzo wydajnego mechanizmu chłodzenia.

Rozważmy konfigurację laserową pokazaną na rys. 2a, utworzoną przez dwie przeciwbieżne fale płaskie, rozchodzące się wzdłuż osi  $z$ , mające wzajemnie prostopadłą polaryzację liniową, tę samą częstość i takie samo natężenie. Ponieważ przesunięcie faz obu wiązek wzrasta liniowo ze współrzędną  $z$ , co  $\lambda/4$  polaryzacja pola wypadkowego zmienia się z  $\sigma^+$  na  $\sigma^-$  i odwrotnie, zaś w miejscach pośrednich jest eliptyczna lub liniowa.



Rys. 2. Chłodzenie syzyfowe. a) Konfiguracja utworzona przez dwie płaskie fale laserowe skierowane przeciwbieżnie wzdłuż osi  $z$  i mające ortogonalne polaryzacje liniowe. Polaryzacja wypadkowego pola elektrycznego jest modulowana przestrzennie z okresem  $\lambda/2$ . Co  $\lambda/4$  zmienia się ona cyklicznie z  $\sigma^+$  na  $\sigma^-$ . b) Dla atomu z dwoma podpoziomami zeemanowskimi w stanie podstawowym,  $M_g = \pm 1/2$ , przestrzenna modulacja polaryzacji światła laserowego jest skorelowana z przestrzenną modulacją przesunięć świetlnych, jakich doznają te podpoziomy, i prawdopodobieństw pompowania optycznego pomiędzy nimi. Ze względu na tę korelację ruchomy atom częściej porusza się w górę bariery potencjału niż w dół (podwójne strzałki).

Rozpatrzmy teraz prosty przypadek, gdy atomowy stan podstawowy ma moment pędu  $J_g = 1/2$ . Jak pokazano w rozdziale 1.2, dwa podpoziomy zeemanowskie  $M_g = \pm 1/2$  doznają różnych przesunięć świetlnych, w zależności od polaryzacji lasera, w wyniku czego degeneracja zeemanowska znika pomimo zerowej wartości pola magnetycznego. Daje to układ poziomów energetycznych, jak na rys. 2b, pokazującym prze-

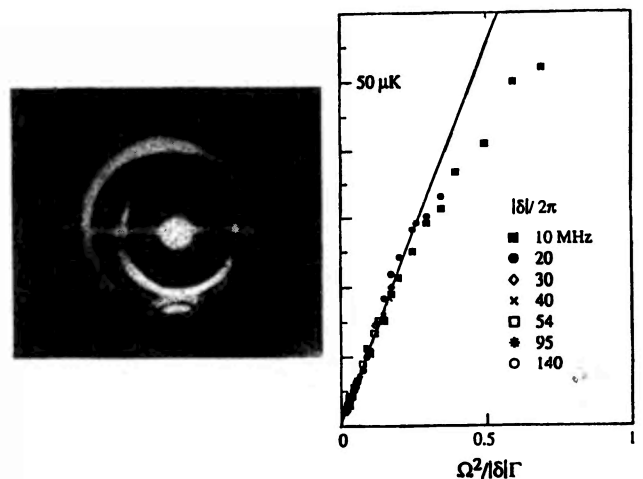
strzenną modulację zeemanowskiego rozszczepienia obu podpoziomów z okresem  $\lambda/2$ .

Jeśli odstrojenie  $\delta$  nie jest zbyt duże w porównaniu z  $\Gamma$ , występuje również rzeczywista absorpcja fotonów przez atom, po której następuje emisja spontaniczna. Powoduje to przekaz populacji przez pompowanie optyczne. Kierunek tego przekazu zależy od polaryzacji: dla polaryzacji  $\sigma^+$  kierunek pompowania jest  $M_g = -1/2 \rightarrow M_g = +1/2$ , a dla polaryzacji  $\sigma^-$   $M_g = +1/2 \rightarrow M_g = -1/2$ . Jednocześnie prawdopodobieństwa pompowania optycznego podlegają modulacji przestrzennej z takim samym okresem  $\lambda/2$  (pionowe strzałki na rys. 2b występują w miejscach, gdzie pompowanie optyczne jest najbardziej wydajne).

Obie te modulacje, przesunięć świetlnych i prawdopodobieństw pompowania optycznego, są oczywiście skorelowane, ponieważ wynikają z tej samej przestrzennej modulacji polaryzacji światła. Korelacje te są wyraźnie widoczne na rys. 2b. Przy odpowiednim znaku odstrojenia pompowanie optyczne zawsze przeprowadza atomy z wyższego podpoziomu zeemanowskiego do niższego. Załóżmy teraz, że atomy poruszają się od lewej strony ku prawej, startując z dna jamy potencjału, np. w stanie  $M_g = +1/2$  w miejscu, gdzie światło ma polaryzację  $\sigma^+$ . Ze względu na skończoną wartość czasu pompowania występuje opóźnienie czasowe między wewnętrznymi i zewnętrznymi zmiennymi, tak więc atom może wspiąć się na szczyt bariery potencjału, zanim pochłonie foton (ciągłe pionowe strzałki na rys. 2b), i osiągnąć szczyt bariery, gdzie prawdopodobieństwo, że zostanie przepompowany do innego podpoziomu, czyli na dno doliny (faliste strzałki), jest maksymalne, i tak dalej. Jak Syzyf z greckiego mitu, który wciąż wtaczał kamień pod górę, atom częściej wznosi się na barierę potencjału niż stacza się z niej w dół, co ilustrują podwójne strzałki na krzywej reprezentującej energię poziomu  $M_g = +1/2$ . Gdy atom wznosi się na barierę, jego energia kinetyczna przekształca się w energię potencjalną. Dyssypacja dokonuje się za pomocą światła, ponieważ fotony wyemitowane spontanicznie mają większą energię niż zaabsorbowane fotony laserowe (proces rozpraszania antystokesowskiego z rys. 2b). Po każdym cyklu syzyfowym całkowita energia atomu  $E$  zmniejsza się o wartość rzędu głębokości jamy potencjału

optycznego  $U_0$ , dopóki  $E$  nie stanie się mniejsze od  $U_0$ , kiedy to atom zostanie uwieczony w jamie potencjału.

Poprzednia dyskusja wykazuje, że chłodzenie syzyfowe prowadzi do temperatur  $T_{\text{Syzyf}}$ , takich że  $k_B T_{\text{Syzyf}} \approx U_0$ . Zgodnie z równ. (4), przesunięcie świetlne  $U_0$  jest proporcjonalne do  $\hbar\Omega^2/\delta$ , gdy  $4|\delta| > \Gamma$ . Taka zależność  $T_{\text{Syzyf}}$  od częstości Rabi'ego i od odstrojenia  $\delta$  została sprawdzona doświadczalnie dla atomów cezu [40]. Rysunek 3 przedstawia zmiany zmierzonej temperatury  $T$  w zależności od bezwymiarowego parametru  $\Omega^2/|\delta|\Gamma$ . Pomiary zależności  $T$  od natężenia światła dla różnych odstrojeń  $\delta$  pokazują, że dla niedużych natężeń  $T$  zależy liniowo od jednego parametru, którym jest przesunięcie świetlne podpoziomów zeemanowskich stanu podstawowego.



Rys. 3. Pomiary temperatury w cezowej melasie optycznej (z pracy [40]). Lewa część rysunku pokazuje światło fluorescencji emitowanej przez melasę, obserwowane przez okienko komory próżniowej. Pozioma jasna linia jest światłem fluorescencji emitowanej przez wiązkę atomową, zasilającą melasę i spowolnioną przez wiązkę lasera o modulowanej częstości. Prawa część rysunku: temperatura atomów (zmierzona metodą czasu przelotu) w funkcji bezwymiarowego parametru  $\Omega^2/|\delta|\Gamma$ , proporcjonalnego do przesunięcia świetlnego ( $\Omega$  jest częstością Rabi'ego,  $\delta$  odstrojeniem lasera od częstości atomowej, a  $\Gamma$  naturalną szerokością stanu wzbudzonego).

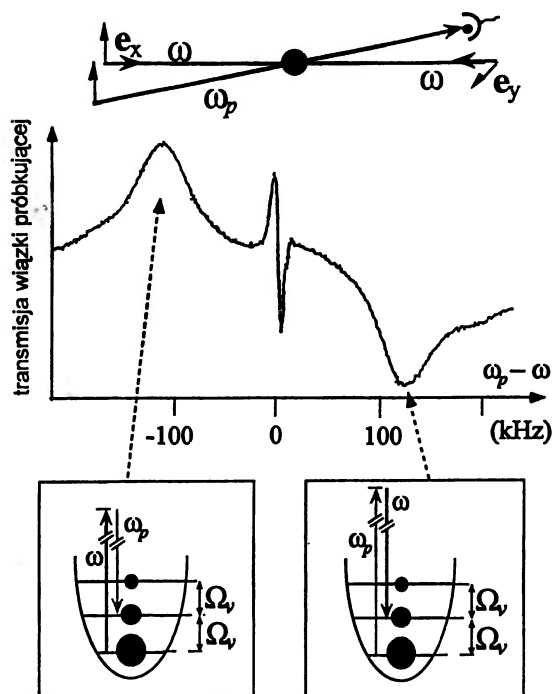
## 2.2. Granice chłodzenia syzyfowego

Przy małym natężeniu światła przesunięcie świetlne  $U_0 \propto \hbar\Omega^2/\delta$  jest znacznie mniejsze niż  $\hbar\Gamma$ . Wyjaśnia to, dlaczego chłodzenie syzyfowe pozwala na osiągnięcie temperatur znacznie niższych niż osiągalne za pomocą chłodzenia dopplerowskiego. Natężenia światła laserowego nie można jednak nieskończenie zmniejszać.

Dotychczasowa dyskusja zaniebdywała efekt odrzutu pochodzącego od spontanicznie emitowanych fotonów, który zwiększa energię kinetyczną atomu o wartość rzędu  $E_R$ , gdzie

$$E_R = \hbar^2 k^2 / 2M \quad (3)$$

jest energią odrzutu atomu absorbującego lub emitującego jeden foton. Gdy  $U_0$  przyjmuje wartość mniejszą lub równą  $E_R$ , chłodzenie związane z efektem Syzyfa staje się słabsze niż grzanie przez energię odrzutu i przestaje działać. Wynika stąd, że najniższe temperatury osiągalne w takim układzie są rzędu  $E_R/k_B$ . Pełna kwantowa teoria chłodzenia syzyfowego [41,42] oraz wyniki doświadczalne potwierdzają ten rezultat. Minimalna temperatura odpowiadająca rys. 3 jest rzędu  $10E_R/k_B$ .



Rys. 4. Widmo absorpcji światła słabej wiązki próbującej przez jednowymiarową sieć optyczną (z pracy [44]). Górna część rysunku pokazuje dwie przeciwbieżne, ortogonalnie spolaryzowane wiązki laserowe o częstotliwości  $\omega$ , tworzące jednowymiarową sieć optyczną, oraz wiązkę próbującą o częstotliwości  $\omega_p$ , której absorpcję mierzy detektor. Środkowa część rysunku pokazuje transmisję wiązki próbującej w funkcji  $\omega_p - \omega$ . Dwa boczne rezonanse odpowiadają wzmocnieniu lub osłabieniu wiązki próbującej, wynikającemu z wymuszonego rozpraszania ramanowskiego pomiędzy oscylacyjnymi poziomami atomów uwięzionych w polu świetlnym (przedstawionymi w dolnej części rysunku). Wąska struktura pośrodku widma jest linią rozpraszania rayleighowskiego, związanego z antyferromagnetycznym uporządkowaniem przestrzennym atomów.

### 2.3. Sieci optyczne

Przy optymalnych warunkach chłodzenia syzyfowego, atomy stają się tak chłodne, że zostają uwięzione w studni potencjału na skwantowanych poziomach oscylacyjnych (patrz rys. 4). Ścisłej biorąc, w takiej okresowej strukturze powinno rozpatrywać się pasma energetyczne [43]. Pierwsze doświadczalne obserwacje kwantyzacji ruchu atomowego w potencjale optycznym dotyczyły jednego wymiaru (patrz rys. 4 oraz prace [44,45]). Atomy były wówczas uwięzione w przestrzennej, okresowej strukturze studni potencjału nazwanej „jednowymiarową siecią optyczną”. Ponieważ dwie sąsiednie jamy potencjału odpowiadają przeciwnym polaryzacji spinowej, taka sieć miała porządek antyferromagnetyczny. Po pierwszej obserwacji jednowymiarowej sieci zrealizowano też sieci dwu- i trójwymiarowe (patrz artykuły przeglądowe [46,47]).

## 3. Chłodzenie laserowe poniżej granicy odrzutu

### 3.1. Granica związana z odrzutem pochodzącym od pojedynczego fotonu i metody jej przekraczania

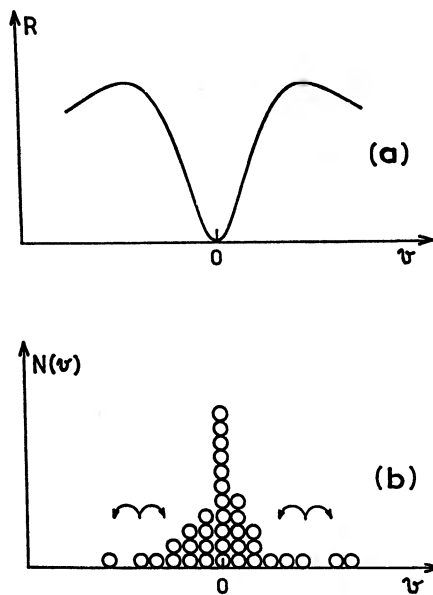
W większości metod chłodzeniu laserowemu towarzyszy emisja fluorescencji. Ponieważ podczas emisji spontanicznej każdego fotonu przekaz pędu  $\hbar k$  wynikający z efektu odrzutu jest przypadkowy, wydaje się niemożliwe zmniejszenie rozrzutu pędu atomów  $\delta p$  poniżej wartości odpowiadającej pędowi pojedynczego fotonu  $\hbar k$ . Warunek  $\delta p = \hbar k$  określa więc „granicę odrzutu pojedynczego fotonu”. Przy chłodzeniu laserowym przyjęto się określać efektywną temperaturę  $T$  za pomocą szerokości połówkowej  $\delta p$  (na poziomie  $1/\sqrt{e}$ ) rozkładu pędów poprzez zależność  $k_B T / 2 = \delta p^2 / 2M$ . W skali temperatur warunek  $\delta p = \hbar k$  określa „temperaturę odrzutu”  $T_R$  jako:

$$\frac{k_B T_R}{2} = \frac{\hbar^2 k^2}{2M} = E_R. \quad (4)$$

Wartość  $T_R$  zmienia się w zakresie od kilkuset nanokelwinów dla atomów alkalicznych do kilku mikrokelwinów dla helu.

Okazuje się, że przekroczenie tego ograniczenia i osiągnięcie temperatur  $T$  niższych niż  $T_R$  jest możliwe dzięki metodzie zwanej chłodzeniem

laserowym poniżej granicy odrzutu (subrecoil cooling). Ideą tej metody jest stworzenie sytuacji, w której kinetyczna stała absorpcji fotonów  $\Gamma'$ , która jest zarazem częstością  $R$  skokowych zmian prędkości atomów  $v = p/M$  podczas ich dyfuzji w przestrzeni prędkości, zależałaby od  $v$  i w szczególności znikałaby dla  $v = 0$  (rys. 5a). W takich warunkach dla atomu mającego prędkość  $v = 0$  absorpcję światła można byłoby zaniedbać. W konsekwencji nie występowałyby spontaniczna reemisja i związany z nią przypadkowy odrzut. W ten sposób ultrazimne atomy (o  $v \approx 0$ ) byłyby chronione przed „niekorzystnym” wpływem światła i tylko atomy o  $v \neq 0$  absorbowałyby i reemitowały światło. Ponieważ prędkości atomów zmieniają się podczas takich cykli absorpcji i reemisji w przypadkowy sposób, wynikające stąd błędzenie przypadkowe w przestrzeni  $v$  powinno przenieść atomy ze stanu absorbującego o  $v \neq 0$  do pułapkującego stanu ciemnego o  $v \approx 0$ , w którym mogłyby zostać zgromadzone (rys. 5b). Jest to podobny efekt do tego,



Rys. 5. Chłodzenie laserowe bez efektu odrzutu. a) Przyjmujemy, że błędzenie przypadkowe atomu w przestrzeni prędkości jest scharakteryzowane przez częstość  $R$  skoków prędkości, która znika, gdy  $v = 0$ . b) W wyniku takiego niejednorodnego błędzenia atomy, które wpadną do małego otoczenia punktu  $v = 0$ , gromadzą się tam uwięzione na długi czas, rzędu  $1/R(v)$ .

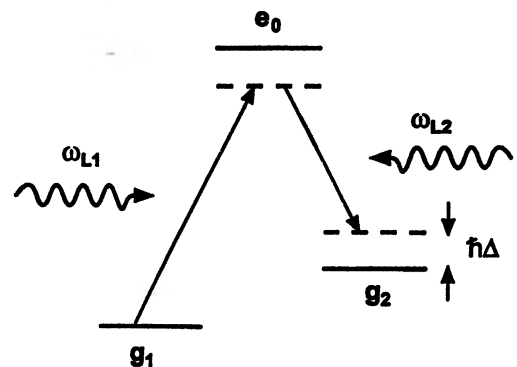
który występuje w rurze Kundta, gdzie ziarenka piasku drgają w akustycznej fali stojącej i gromadzą się w jej węzłach, w których nie mogą się już poruszać. Należy wszakże pamiętać, że błędzenie

przypadkowe odbywa się w przestrzeni prędkości, podczas gdy w rurze Kundta zachodzi ono w przestrzeni geometrycznej.

Dotychczas zaproponowano i zrealizowano dwie metody chłodzenia bez efektu odrzutu. W pierwszej z nich, nazwanej „spójnym uwięzieniem obsadzeń zależnym od prędkości” (VSCPT, od velocity-selective coherent population trapping), znikanie  $R(v)$  dla  $v = 0$  osiąga się dzięki destruktywnej interferencji kwantowej różnych amplitud absorpcji [48]. W drugiej, zwanej chłodzeniem ramanowskim, stosowana jest odpowiednia sekwencja impulsów wymuszających przejścia ramanowskie i pompowanie optyczne, pozwalająca na uzyskanie właściwego kształtu  $R(v)$  [49].

### 3.2. Krótki opis metody VSCPT

Na początku przypomnimy zasadę wygaszania absorpcji poprzez „spójne uwięzienie obsadzeń”, efekt odkryty i zbadany w 1976 r. [50,51]. Rozważmy układ trójpoziomowy pokazany na rys. 6, składający się z dwóch podpoziomów stanu podstawowego  $g_1$  i  $g_2$  oraz jednego podpoziomu wzbudzonego  $e_0$  w polu dwóch laserów o częstościach  $\omega_{L1}$  oraz  $\omega_{L2}$ , wywołujących odpowiednio przejścia  $g_1 \leftrightarrow e_0$  oraz  $g_2 \leftrightarrow e_0$ . Niech  $\hbar\Delta$



Rys. 6. Spójne uwięzienie obsadzeń. Trójpoziomowy atom  $g_1, g_2, e_0$  oddziałuje z dwiema wiązkami laserowymi o częstościach  $\omega_{L1}$  i  $\omega_{L2}$ , wzbudzającymi odpowiednio przejścia  $g_1 \leftrightarrow e_0$  i  $g_2 \leftrightarrow e_0$ . Wielkość  $\hbar\Delta$  jest odstrojeniem od rezonansu dla wymuszonego procesu ramanowskiego, indukowanego pomiędzy  $g_1$  oraz  $g_2$  przez dwa pola laserowe  $\omega_{L1}$  i  $\omega_{L2}$ . Gdy  $\Delta = 0$ , atomy są pompowane optycznie do stanu liniowej superpozycji  $g_1$  i  $g_2$ , w którym już nie pochłaniają światła z powodu destruktywnej interferencji między dwiema amplitudami absorpcji  $g_1 \rightarrow e_0$  oraz  $g_2 \rightarrow e_0$ .

będzie odstrojeniem od rezonansu wymuszonego przejścia ramanowskiego  $g_1 \rightarrow g_2$ , składającego się z absorpcji jednego fotonu  $\omega_{L1}$  i wymuszonej emisji fotonu  $\omega_{L2}$ . Gdy  $\Delta = 0$ , stała fluorescencji

cji  $R$  znika. Zmiany  $R$  w funkcji  $\Delta$  są podobne do przedstawionych na rys. 5a, jeżeli  $v$  zostanie zastąpione przez  $\Delta$ . Interpretuje się ten efekt jako pompowanie optyczne atomów do stanu będącego liniową kombinacją  $g_1$  i  $g_2$ , nie sprzężonego z  $e_0$  ze względu na destruktywną interferencję dwóch amplitud rozpraszania  $g_1 \rightarrow e_0$  oraz  $g_2 \rightarrow e_0$ .

Podstawowa idea metody VSCPT polega na wykorzystaniu zjawiska Dopplera w celu uzyskania takiego odstrojenia  $\Delta$  w wymuszonym procesie ramanowskim z rys. 6, które będzie proporcjonalne do prędkości atomowej  $v$ . Zanik absorpcji spowodowany spójnym uwięzieniem obsadzeń staje się w ten sposób zależny od prędkości i realizowana jest sytuacja z rys. 5a. Osiąga się to za pomocą dwóch fal laserowych, rozchodzących się przeciwnie wzdłuż osi  $z$ , o tak dobranych częstościach  $\omega_{L1}$  i  $\omega_{L2}$ , że dla atomu spoczywającego  $\Delta = 0$ . Wówczas dla atomu poruszającego się z prędkością  $v$  wzdłuż osi  $z$  przeciwne przesunięcia dopplerowskie dwóch fal laserowych dają odstrojenie ramanowskie  $\Delta = (k_1 + k_2)v$ , proporcjonalne do  $v$ .

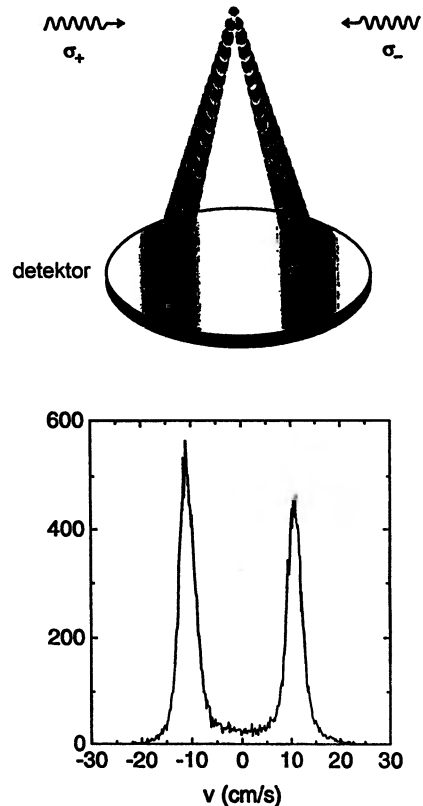
Łoścowa analiza procesu ochładzania [52] wykazuje, że stan ciemny, dla którego  $R = 0$ , jest liniową superpozycją dwóch stanów różniących się nie tylko wewnętrznym stanem ( $g_1$  lub  $g_2$ ), lecz również wartością pędu wzdłuż osi  $z$ :

$$|\psi_D\rangle = c_1|g_1, -\hbar k_1\rangle + c_2|g_2, +\hbar k_2\rangle. \quad (5)$$

Wynika to z faktu, że stany  $g_1$  i  $g_2$  muszą być związane z różnymi pędami atomowymi  $-\hbar k_1$  oraz  $+\hbar k_2$ , aby były sprzężone do tego samego stanu wzbudzonego  $|e_0, p = 0\rangle$  przez absorpcję fotonów o różnych pędach  $+\hbar k_1$  oraz  $-\hbar k_2$ . Ponadto, gdy  $\Delta = 0$ , stan (5) jest stanem stacjonarnym całego układu: atom + fotony laserowe. W wyniku chłodzenia metodą VSCPT rozkład pędów atomowych wykazuje więc dwa wąskie maksima dla wartości  $-\hbar k_1$  oraz  $+\hbar k_2$  o szerokości  $\delta p$  dążącej do zera, gdy czas oddziaływania  $\theta$  dąży do nieskończoności.

Pierwsze doświadczenie, w którym wykorzystano metodę VSCPT [48] zostało przeprowadzone dla atomów helu w stanie metatrwałym  $2^3S_1$ . Dwoma dolnymi stanami  $g_1$  i  $g_2$  były podpoziomy zeemanowskie  $M = -1$  oraz  $M = +1$  stanu  $2^3S_1$ , a stan  $e_0$  był podpoziomem  $M = 0$  stanu wzbudzonego  $2^3P_1$ . Dwie przeciwbieżne fale laserowe miały tę samą częstość  $\omega_{L1} = \omega_{L2} = \omega_L$  oraz przeciwne polaryzacje kołowe. Dwa maksima rozkładu

pędów leżały przy  $\pm\hbar k$ , a ich szerokości odpowiadały  $T \approx T_R/2$ . Po tym pierwszym doświadczeniu czas oddziaływania został wydłużony przez użycie wstępnie ochłodzonej chmury atomów helu zamiast wiązki atomowej, stosowanej w pierwszych eksperymentach [53]. Umożliwiło to otrzymanie znacznie niższych temperatur (patrz rys. 7) – całkiem niedawno uzyskano temperaturę wynoszącą zaledwie  $T_R/800$  [54].

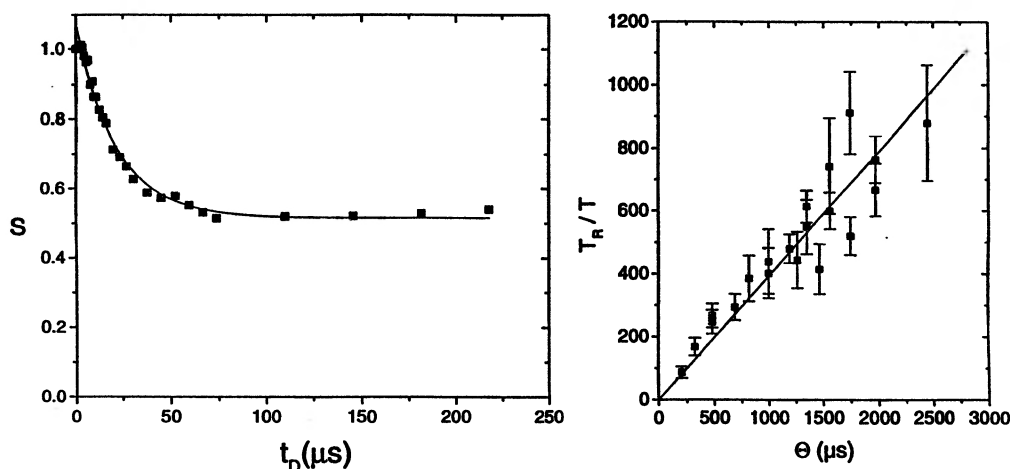


Rys. 7. Metoda VSCPT w jednym wymiarze. Górna część rysunku przedstawia schemat doświadczenia. Uwięziona chmura wstępnie ochłodzonych atomów jest uwalniana, gdy dwie przeciwbieżne wiązki laserowe o przeciwnych polaryzacjach kołowych są włączane na czas równy 1 ms. Potem atomy spadają swobodnie z wysokości 6,5 cm, po czym ich położenie jest mierzone na płytce mikrokanalikowej (microchannel plate). Rozdwojona struktura wiązki spadających atomów świadczy o jednowymiarowym ochłodzeniu i zgromadzeniu atomów w stanie, który jest liniową superpozycją stanów o dwóch różnych pędach. Dolna część rysunku przedstawia rozkład prędkości atomów dochodzących do płytki mikrokanalikowej. Szerokość  $\delta v$  obu maksimów jest wyraźnie mniejsza od ich odległości  $2v_R$ , gdzie  $v_R = 9,2$  cm/s jest prędkością odrzutu. Jest to wyraźną cechą charakterystyczną chłodzenia poniżej granicy odrzutu.

Tak niskich temperatur nie można łatwo zmierzyć przy użyciu zwykłej metody czasu przelotu,

ponieważ jej rozdzielczość jest ograniczona przestrzenną rozciągłością chmury atomowej. Opracowano więc nową metodę [54], polegającą na bezpośrednim pomiarze przestrzennej funkcji korelacji atomów  $G(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} dz \phi^*(z+a)\phi(z)$ , gdzie  $\phi(z)$  jest funkcją falową atomowej paczki falowej. Ta funkcja korelacji, opisująca stopień spójności przestrzennej pomiędzy punktami oddległymi o  $a$ , jest transformatą Fouriera rozkładu pędów  $|\phi(p)|^2$ . Metoda ta jest analogiczna do optycznej spektroskopii fourierowskiej, gdzie wąską linię widmową  $I(\omega)$  łatwiej jest wyłowić z funkcji korelacji emitowanego pola elektrycznego  $G(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} dt E^*(t+\tau)E(t)$ , będącą transformatą Fouriera rozkładu  $I(\omega)$ . Pomiaru  $G(a)$  dokonuje się w doświadczeniu, w którym dwie spójne paczki wytworzone metodą VSCPT [czyli dwie części, na które rozdziela się chmura ato-

mowa, jak to przedstawia górna część rys. 7 – D.W.G.] rozbiegają się z wzajemną prędkością  $2v_R = 2\hbar k/m$  w ciemności przez czas  $t_D$ , podczas którego wiązki laserowe są wyłączone. W czasie tego okresu ciemności paczki falowe oddalają się na odległość  $a = 2v_R t_D$ . Następnie, używając próbnego impulsu świetlnego uzyskuje się sygnał  $S$ , proporcjonalny do wzajemnego nałożenia się tych paczek. Rysunek 8a pokazuje zmianę sygnału  $S$ , który jest równy  $[1 + G(a)]/2$ , w zależności od  $t_D$ . Na podstawie takiej krzywej wyznaczono temperaturę  $T \approx T_R/625$ , odpowiadającą  $\delta p \approx \hbar k/25$ . Rysunek 8b przedstawia zmianę  $T_R/T$  w zależności od czasu oddziaływania VSCPT. Jak wynika z teorii (patrz następny rozdział),  $T_R/T$  zmienia się liniowo z  $\theta$  i może osiągnąć wartości dochodzące nawet do 800.

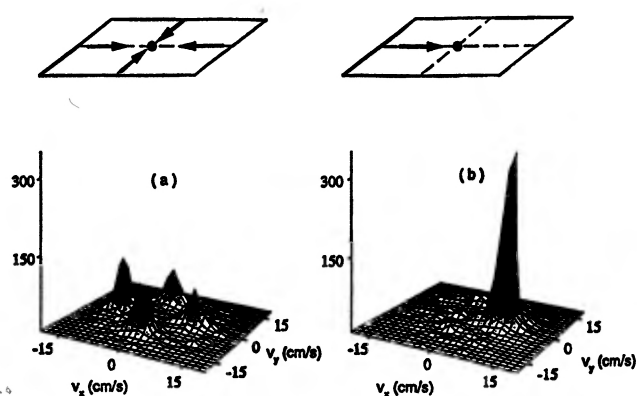


Rys. 8. Pomiar funkcji przestrzennej korelacji atomów chłodzonych metodą VSCPT (z pracy [54]). Po czasie chłodzenia  $\theta$  obie wiązki laserowe są wyłączone na czas  $t_D$ . Dwie spójne paczki falowe oddalają się z prędkością  $2v_R$  na odległość  $a = 2v_R t_D$ . Ponowne zastosowanie dwóch wiązek laserowych jako krótkiego impulsu próbkującego pozwala zmierzyć sygnał  $S$ , który, jak można wykażać, jest równy  $[1 + G(a)]/2$ , gdzie  $G(a)$  jest przestrzenną częścią wspólną dwóch identycznych paczek falowych oddległych o  $a$ . Na podstawie  $G(a)$ , która jest funkcją korelacji przestrzennej każdej paczki, można wyznaczyć rozkład pędów atomowych, który jest transformatą Fouriera  $G(a)$ . Lewa część rysunku pokazuje  $S$  jako funkcję odległości  $a$ . Prawa przedstawia  $T_R/T$  w zależności od czasu chłodzenia  $\theta$ , gdzie  $T_R$  jest temperaturą odrzutu, zaś  $T$  temperaturą atomów wyznaczoną z szerokości  $G(a)$ . Linia prosta to dopasowanie liniowe, zgodne z przewidywaniami teoretycznymi statystyki Lévy'ego. Najniższa temperatura, rzędu  $T_R/800$ , odpowiada 5 nK.

Metodę VSCPT rozszerzono na dwa [55] i trzy [56] wymiary. Dla przejścia  $J_g = 1 \leftrightarrow J_e = 1$  wykazano [57], że istnieje stan ciemny, opisywany przez takie samo pole wektorowe, jak pole lasera. Ścisłej mówiąc, jeśli pole lasera tworzy liniowa superpozycja  $N$  fal płaskich o wektorach falowych  $k_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) o równych modułach  $k$ , to okazuje się, że atomy są chłodzone do stanu spój-

nej superpozycji  $N$  paczek falowych o średnich pędach  $\hbar k_i$  i rozmyciu  $\delta p$ , które staje się coraz mniejsze wraz ze zwiększaniem czasu oddziaływania  $\theta$ . Ponadto dzięki izomorfizmowi pomiędzy ciemnym stanem de Broglie'a i polem laserowym można adiabaticznie zmienić konfigurację lasera i przetransformować całe obsadzenie atomowe w pojedynczą paczkę falową lub też w dwie

dowolnie wybrane paczki spójne [58]. Rysunek 9 ukazuje przykład manipulowania paczkami atomowymi w dwóch wymiarach. Na rys. 9a widać rozkład prędkości poprzecznej, związanej z czterema paczkami otrzymanymi przy użyciu dwóch par przeciwbieżnych wiązek laserowych, rozchodzących się wzdłuż osi  $x$  oraz  $y$  w płaszczyźnie poziomej, a rys. 9b ukazuje pojedynczą paczkę falową, do której przeprowadzono całe obsadzenie atomowe poprzez adiabaticzne wyłączenie trzech spośród czterech wiązek laserowych. Podobne wyniki uzyskano także dla trzech wymiarów.

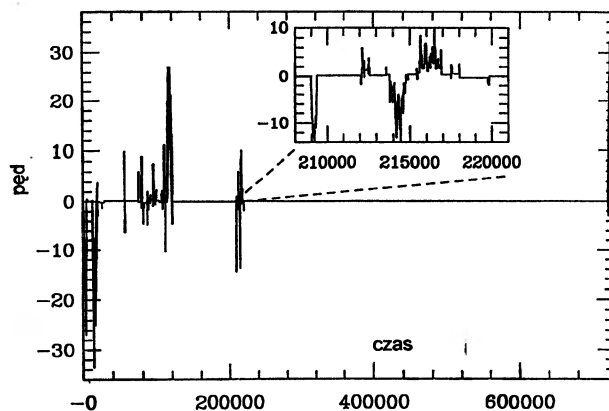


Rys. 9. Metoda VSCPT w dwóch wymiarach (z pracy [58]). a) Układ doświadczalny jest taki sam jak na rys. 7, z tym że tutaj wykorzystano cztery wiązki laserowe, biegnące w płaszczyźnie poziomej i wytwarzające cztery maksima dwuwymiarowego rozkładu prędkości. b) Gdy trzy wiązki są adiabaticznie wyłączone, cała populacja atomów jest przenoszona do pojedynczej paczki falowej.

### 3.3. Chłodzenie laserowe poniżej granicy odrzutu i statystyka Lévy'ego

Kwantowe symulacje Monte-Carlo z funkcjami opóźnienia [59,60] umożliwiły nowe spojrzenie na chłodzenie poniżej granicy odrzutu [61]. Rysunek 10 pokazuje na przykład przypadkową ewolucję pędu atomowego  $p$  w jednowymiarowym doświadczeniu VSCPT. Każda pionowa nieciągłość reprezentuje tu proces spontanicznej emisji, podczas której pęd  $p$  zmienia się w przypadkowy sposób, zaś jest stały pomiędzy dwoma kolejnymi przeskokami. Widać wyraźną anomalię błędzenia przypadkowego w przestrzeni prędkości, zdominowane jest ono bowiem przez kilka rzadkich przypadków, których czas trwania jest znacznym ułamkiem całkowitego czasu oddziaływania. Prosta analiza wykazuje, że rozkład  $P(\tau)$  czasów

uwięzienia  $\tau$  w małym otoczeniu  $v = 0$  jest szeroką funkcją, malejącą na skrzydłach w sposób potęgowej. Skrzydła te maleją tak wolno, że średnia wartość (lub wariancja) czasu uwięzienia może być rozbieżna. Oczywiście w takich przypadkach centralne twierdzenie graniczne (CTG) nie stosuje się już do analizy rozkładu całkowitego czasu uwięzienia po  $N$  wejściach atomu w obszar pułapowania oddzielonych  $N$  wyjściami.



Rys. 10. Pęd  $p$  (w jednostkach  $\hbar k$ ), charakteryzujący ochłodzone atomy, otrzymany w funkcji czasu (w jednostkach  $\Gamma^{-1}$ ) przez symulację Monte Carlo funkcji falowej dla jednowymiarowego doświadczenia VSCPT (z pracy [61]). Każda pionowa nieciągłość odpowiada przeskokowi związanemu z emisją spontaniczną, gdy  $p$  zmienia się w sposób przypadkowy. Pomiedzy dwoma kolejnymi skokami wartość  $p$  pozostaje stała. Okienko pokazuje fragment ewolucji w powiększeniu.

Możliwe jest rozszerzenie CTG na szerokie rozkłady z potęgowymi skrzydłami [62,63]. Zastosowaliśmy odpowiednią statystykę, zwaną statystyką Lévy'ego, do chłodzenia poniżej granicy odrzutu i pokazaliśmy, że umożliwia ona lepsze zrozumienie procesów fizycznych oraz pozwala na ilościowe przewidywania asymptotycznych własności ochłodzonych atomów w granicy, gdy  $\theta$  dąży do nieskończoności [61,64]. Na przykład, przewiduje się w ten sposób, że temperatura maleje jak  $1/\theta$ , gdy  $\theta \rightarrow \infty$ , i że skrzydła rozkładu pędu maleją jak  $1/p^2$ , czyli że kształt rozkładu pędu jest bliższy lorentzowskiego niż gaussowskiego. Jest to zgodne z obserwacjami doświadczalnymi, przedstawionymi na rys. 8. Na rys. 8a dopasowano do punktów doświadczalnych funkcję wykładniczą, czyli transformatę Fouriera funkcji Lorentza.

Ważną własnością, ujawnioną przez tę analizę, jest nieergodyczność procesu chłodzenia. Niezależnie od czasu oddziaływania  $\theta$ , zawsze są takie czasy ewolucji (czasy uwięzienia w małym otoczeniu  $v = 0$  z rys. 5a), które mogą być dłuższe niż  $\theta$ . Inną zaletą nowego podejścia jest to, że pozwala ono na optymalizację parametrów lasera chłodzącego w danych warunkach doświadczalnych. Dzięki temu podejściu dobrano na przykład kształty impulsów laserowych w jednowymiarowym chłodzeniu ramanowskim w taki sposób, że możliwe było osiągnięcie temperatury atomów cezu wynoszącej zaledwie 3 nK [65].

#### 4. Kilka przykładów zastosowań

Możliwość pułapkowania atomów i chłodzenia ich do bardzo niskich temperatur, odpowiadających prędkościom kilku milimetrów na sekundę, stworzyła ogromne możliwości zastosowań. Ultradźwiękowe atomy mogą być obserwowane przez długi czas, co jest istotne dla spektroskopii o wysokiej rozdzielczości i wzorców częstości. Takie atomy mają również bardzo duże długości fali de Broglie'a, co wytyczyło nowe kierunki badań, takie jak optyka i interferometria atomów oraz kondensacja Bosego-Einsteina rozrzedzonych gazów. Niemożliwe jest omówienie tutaj wszystkich tych zastosowań. Odsyłamy po nie Czytelnika do ostatnich prac przeglądowych, np. [5]. Opiszemy tu jedynie kilka przykładów zastosowań, które zostały ostatnio zbadane przez naszą grupę w Paryżu.

##### 4.1. Cezowe zegary atomowe

Atomy cezu spowolnione przez chłodzenie syzyfowe mają efektywną temperaturę rzędu 1  $\mu$ K, odpowiadającą średnim prędkościom rzędu 1 cm/s. Pozwala im to przebywać przez długi czas  $T$  w rejonie, w którym pole mikrofalowe indukuje przejścia rezonansowe pomiędzy dwoma poziomami struktury nadsubtelnej  $g_1$  i  $g_2$  stanu podstawowego. Długi czas  $T$  oznacza małą szerokość  $\Delta\nu \approx 1/T$  linii rezonansu mikrofalowego, którego częstość jest używana do zdefiniowania jednostki czasu. Stabilność zegarów atomowych można więc znacznie poprawić dzięki zastosowaniu ultradźwiękowych atomów [66,67].

W zwykłych zegarach atomowych termiczna wiązka atomowa przecina dwa rezonatory mikro-

falowe zasilane przez ten sam generator. Średnia prędkość atomów wynosi kilkaset metrów na sekundę, a odległość między dwoma rezonatorami jest rzędu 1 m. Rezonans mikrofalowy między  $g_1$  i  $g_2$  jest rejestrowany i wykorzystywany do synchronizacji częstości generatora do środka linii atomowej. Im węższa linia, tym bardziej stabilny jest zegar atomowy. W istocie linia rezonansu mikrofalowego wykazuje strukturę interferencyjnych prążków Ramseya, których szerokość  $\Delta\nu$  jest określona przez  $T$  – czas przelotu atomów od jednego rezonatora do drugiego. Dla najdłuższych urządzeń czas  $T$ , który można traktować jako czas obserwacji, może osiągnąć 10 ms, co odpowiada wartościom  $\Delta\nu \approx 1/T$  rzędu 100 Hz.

Znacznie węższe prążki Ramseya, o szerokościach poniżej 1 Hz, mogą być otrzymane w tzw. atomowej fontannie Zachariasasa [68]. W urządzeniu tym atomy są uwięzione w pułapce magneto-optycznej i ochładzane laserowo przed wystrzeleniem do góry poprzez rezonator mikrofalowy za pomocą impulsu laserowego. Pod wpływem siły ciężenia zwalniają one swój ruch, a następnie zawracają i spadają z powrotem, przelatując przez drugi rezonator. W ten sposób atomy oddziałują z dwoma spójnymi impulsami mikrofalowymi przelatując przez rezonator, raz podczas drogi w górę, a drugi raz podczas spadku. Przedział czasu pomiędzy dwoma impulsami może być dzięki temu rzędu 1 s, tzn. około dwóch rzędów wielkości dłuższy niż w zwykłych zegarach. Fontanny atomowe zrealizowano już z atomami sodu [69] i cezu [70]. Dla fontanny cezowej o wysokości 1 m zmierzono niedawno chwilową względną stałość częstości równą  $1,3 \times 10^{-13} \tau^{-1/2}$ , gdzie  $\tau$  jest czasem całkowania w sekundach [71,72]. Dla  $\tau = 10^4$  s otrzymano  $\Delta\nu/\nu \approx 1,3 \times 10^{-15}$ , natomiast dla  $\tau = 3 \times 10^4$  s zmierzono  $\Delta\nu/\nu \approx 8 \times 10^{-16}$ . Ta stabilność jest najprawdopodobniej ograniczona przez źródło wzorcowe, którym jest maser wodorowy. Rzeczywistą stałość można byłoby wyznaczyć przez zdudnienie sygnałów z dwóch jednakowych zegarów fontannowych. Powinna ona osiągnąć  $\Delta\nu/\nu \approx 10^{-16}$  po czasie całkowania równym jednej dobie. Inną bardzo ważną własnością wzorca czasu oprócz stabilności jest jego dokładność. Dzięki bardzo małym prędkościom w fontannie atomowej, można zmniejszyć wiele systematycznych odchyleń oraz dokładnie je zmierzyć. Najdokładniejszym wzor-



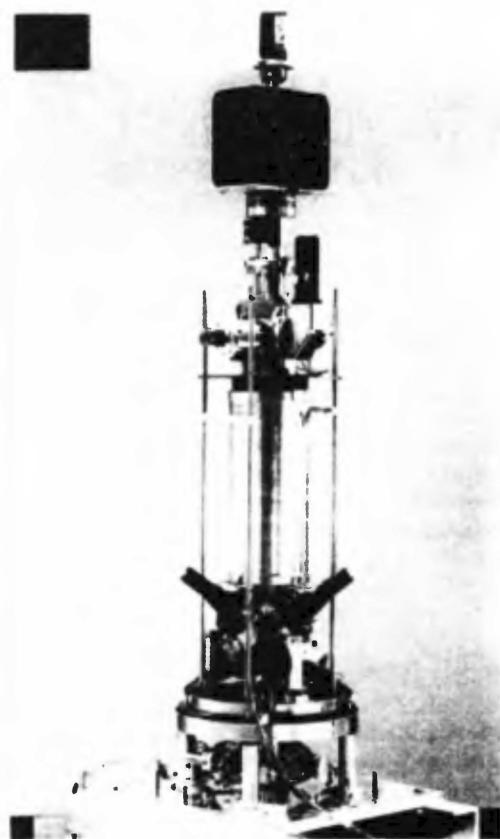
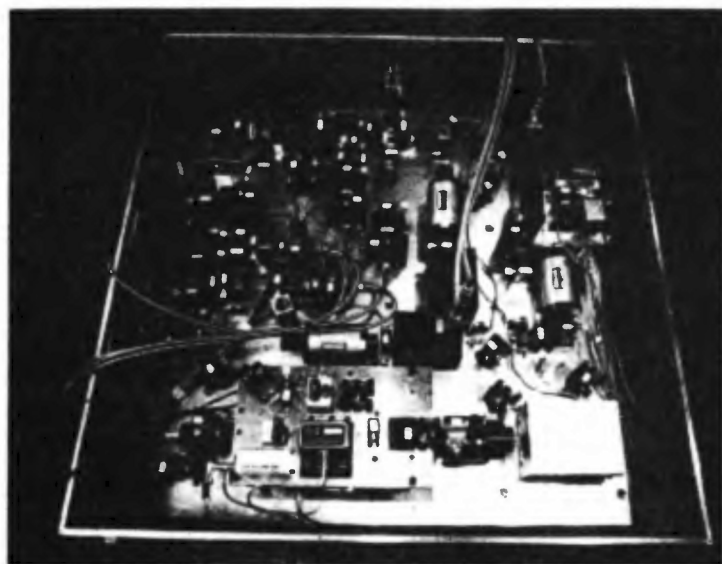
cem pierwotnym jest obecnie fontanna Laboratorium Podstawowych Wzorców Czasu i Częstotliwości Państwowego Biura Metrologii i Obserwatorium Paryskiego o dokładności  $2 \times 10^{-15}$  [73]. W najbliższej przyszłości spodziewane jest poprawienie tej dokładności o rząd wielkości.

Aby przedłużyć czas obserwacji powyżej jednej sekundy, można zbudować zegar działający w warunkach zmniejszonego ciężenia. Taki mikrogravitacyjny zegar został ostatnio wypróbowany w odrzutowcu wykonującym loty balistyczne. W warunkach  $10^{-2}g$  zmierzono w nim sygnał rezonansowy o szerokości 7 Hz. Jest to dwukrotnie mniej od szerokości, jaką ta sama aparatura daje na Ziemi. Ten prototyp zegara jest niewielkim, przenośnym urządzeniem (rys. 11), które może być również użyte na Ziemi do precyzyjnych porównań częstości.

Zegary atomowe pracujące z ultrazimnymi atomami mogą nie tylko służyć do udoskonalenia urządzeń nawigacyjnych typu GPS (Global Positioning System). Można ich również uży-

wać do badań podstawowych. Możliwe jest na przykład zbudowanie dwóch zegarów fontannowych, jednego z cezem, a drugiego z rubidem, w celu precyzyjnego pomiaru stosunku ich struktur nadsubtelnych. Z powodu poprawek relatywistycznych rozszczepienie nadsubtelne jest funkcją  $Z\alpha$ , gdzie  $\alpha$  jest stałą struktury nadsubtelnej, a  $Z$  liczbą atomową [74]. Ponieważ  $Z$  dla cezu i rubidu jest różne, stosunek tych dwóch struktur nadsubtelnych zależy od  $\alpha$ . Wykonując szereg pomiarów tego stosunku w długim przedziale czasu, można sprawdzić sugestię Diraca dotyczącą możliwej zmiany  $\alpha$  w czasie. Można byłoby dzięki temu wyznaczyć wartość górnej granicy  $\dot{\alpha}/\alpha$  z dokładnością większą o dwa rzędy wielkości od dotychczasowych testów laboratoryjnych.

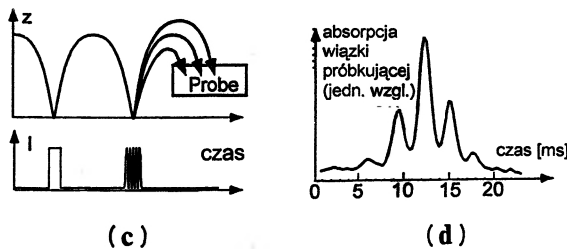
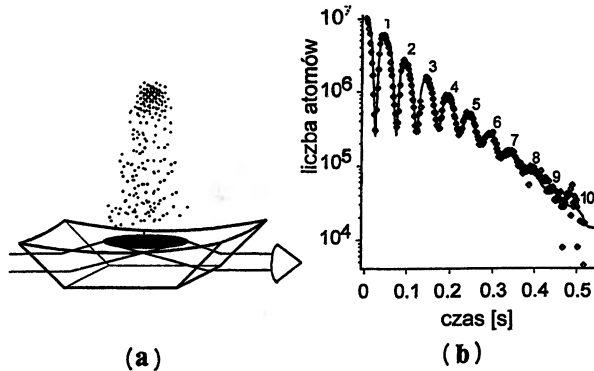
Innym interesującym testem byłby precyzyjny pomiar grawitacyjnego przesunięcia ku czerwieni i grawitacyjnego opóźnienia fali elektromagnetycznej przechodzącej w pobliżu dużej masy (efekt Shapira [75]).



Rys. 11. Prototyp zegara mikrogravitacyjnego. Lewa część to stół optyczny o wymiarach  $60 \times 60 \times 15$  cm, wyposażony w lasery diodowe i różne elementy optyczne. Prawa to sam zegar (o długości ok. 1 m), zawierający melasę optyczną, wnękę mikrofalową i obszar detekcji.

#### 4.2. Rezonatory grawitacyjne dla atomów obojętnych

W rozdziale 1.3 wspomnieliśmy już o możliwości wykonania zwierciadeł atomowych dla atomów przez użycie fal zanikających na powierzchni szkła, odstrojonych ku błękitowi. Szczególnie interesujące są zwierciadła wklęsłe (rys. 12a), ponieważ umożliwiają poprzecznie stabilny ruch atomów wypuszczanych z punktu położonego poniżej ogniska zwierciadła (rys. 12b). W takim ukła-



Rys. 12. Rezonator grawitacyjny dla atomów obojętnych (z prac [37] i [77]). a) Trampolina dla atomów – atomy uwolnione z pułapki magnetoptycznej odbijają się od zwierciadła wklęsłego, utworzonego przez falę zanikającą na powierzchni wklęsłego pryzmatu szklanego, odstrojoną w stronę błękitu. b) Liczba atomów w obszarze pułapki w funkcji czasu po wyłączeniu pułapki. Na wykresie widać 10 kolejnych odbić. c) Zasada doświadczenia demonstrującego modulację częstości fali de Broglie’a. Część górna pokazuje trajektorie atomowe (położenie pionowe  $z$  w funkcji czasu; „Probe” – obszar wiązki próbkującej). Część dolna to zależność czasowa natężenia fali zanikającej  $I$ . Pierwszy impuls dokonuje selekcji prędkości. Drugi ma modulowane natężenie, co wywołuje drgania zwierciadła i powoduje odbicie fali de Broglie’a o modulowanej częstości, która składa się z centralnej składowej i maksimów bocznych, odległych o częstość modulacji. Widmo energetyczne odbitych cząstek i ich trajektorie są więc dyskretne. d) Ten efekt jest widoczny podczas obserwacji zależności czasowej absorpcji próbkującej wiązki świetlnej, biegnącej ponad pryzmatem.

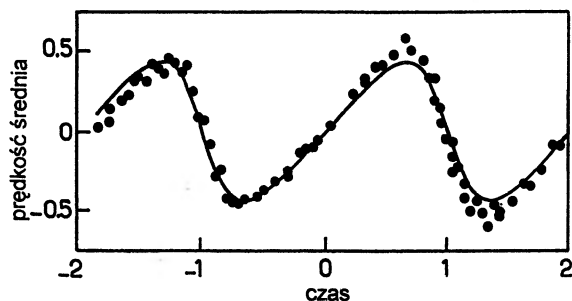
dzie zaobserwowano kilka kolejnych odbić atomów i dlatego można go nazwać „trampoliną dla atomów” [37]. W tego typu doświadczeniu odbija-

jące się od wklęsłego zwierciadła atomy z dobrym przybliżeniem można traktować jako cząstki klasyczne. W opisie kwantowym należy jednak uwzględnić odbijanie przez zwierciadło atomowych fal de Broglie’a. Można wówczas wprowadzić do takiego rezonatora grawitacyjnego stojące fale de Broglie’a, które są zupełnie analogiczne do stojących fal świetlnych w rezonatorze Fabry’ego-Pérot’a [76]. Modulując natężenie fali zanikającej z częstością  $\Omega/2\pi$ , można wytworzyć dla fali de Broglie’a odpowiednik drgającego zwierciadła. Odbite fale mają wówczas modulowane przesunięcia dopplerowskie. Taką modulację udało się niedawno stwierdzić [77] przez pomiar zmian energii  $\Delta E$  odbijającego się atomu. Okazały się one równe  $n\hbar\Omega$ , gdzie  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  (rys. 12c,d). Dyskretna natura takiego widma energii jest efektem czysto kwantowym. Dla cząstek klasycznych, odbijających się od drgającego zwierciadła wartość  $\Delta E$  zmieniałaby się bowiem w pewnym zakresie w sposób ciągły.

#### 4.3. Oscylacje Blocha

Przy chłodzeniu poniżej granicy odrzutu, gdy  $\delta p$  staje się mniejsze od  $\hbar k$ , długość spójności atomowej  $h/\delta p$  staje się większa od długości fali optycznej laserów używanych do chłodzenia  $\lambda = h/\hbar k = 2\pi/k$ . Rozważmy teraz taki ultrazimny atom w okresowym potencjale przesunięć świetlnych, wywołanych przez nierezonansową laserową falę stojącą. Atomowa fala de Broglie’a obejmuje kilka okresów potencjału, co oznacza, że można w ten sposób przygotować stan kwazi-blochowski. Przez modulację częstości dwóch przeciwbieżnych fal laserowych tworzących falę stojącą można wytworzyć przyspieszającą falę stojącą. W układzie odniesienia związanym z tą falą oprócz periodycznego potencjału atomy czują wówczas stałą siłę bezwładności, są więc przyspieszane, w wyniku czego długość fali de Broglie’a  $\lambda_{dB} = h/M(v)$  maleje. Gdy  $\lambda_{dB} = \lambda_{\text{Laser}}$ , fala de Broglie’a ulega odbiciu braggowskiemu przez okresowy potencjał optyczny i średnia prędkość atomu  $\langle v \rangle$  oscyluje, zamiast zwiększać się liniowo z czasem. Są to oscylacje Blocha, będące podręcznikowym zjawiskiem z zakresu fizyki ciała stałego. Okazuje się, że są one łatwiej obserwowalne dla ultrazimnych atomów niż dla elektronów w materii skondensowanej, ponieważ okres oscylacji Blocha może być znacznie krótszy niż czas relaksacji spójności fal

de Broglie'a (w fazie skondensowanej procesy relaksacji zderzeniowej są bardzo silne). Rysunek 13 przedstawia przykład oscylacji Blocha [78] obserwowanych dla atomów cezu ochłodzonych ulepszoną metodą chłodzenia ramanowskiego, opisaną w pracy [65].



Rys. 13. Oscylacje Blocha atomów w okresowym potencjale optycznym (z pracy [78]). Średnia prędkość (w jednostkach prędkości odrzutu) jako funkcja czasu (w jednostkach połowy okresu Blocha) dla ultrazimnych atomów cezu, poruszających się w okresowym potencjale optycznym i dodatkowo poddanych działaniu stałej siły.

## 5. Wnioski

W tym artykule opisaliśmy kilka mechanizmów fizycznych pozwalających na manipulację atomami obojętnymi za pomocą światła. Wiele tych mechanizmów można w prosty sposób interpretować jako wynik rezonansowej wymiany energii, pędu i momentu pędu między atomami i fotonami. Niektóre z nich, zwłaszcza te najbardziej wydajne, są wynikiem nowego sposobu połączenia dobrze znanych zjawisk fizycznych, jak pompowanie optyczne, przesunięcia świetlne, czy spójne uwięzienie obsadzeń. Przedstawiliśmy dwa przykłady takich mechanizmów chłodzących, chłodzenie syzyfowe i chłodzenie poniżej granicy odrzutu, pozwalające na chłodzenie atomów do temperatur mikro- i nanokelwinów. Dokonaliśmy także przeglądu kilku możliwych zastosowań atomów ultrazimnych. Wykorzystują one długie czasy oddziaływania i duże długości fal de Broglie'a, osiągalne obecnie dzięki metodom chłodzenia laserowego i pułapkowania atomów.

Uzasadnione jest oczekiwanie w najbliższym czasie dalszego postępu w tym zakresie i znalezienia nowych zastosowań. Jeśli chodzi o badania podstawowe, co najmniej dwa kierunki badań wyglądają obiecująco. Po pierwsze, lepsza możli-

wość wytworzenia „czystych” sytuacji, obejmujących małą liczbę atomów w dobrze określonych stanach wykazujących własności kwantowe, jak bardzo duża długość spójności lub splecenie (ang. entanglement). Dzięki tym perspektywom fizyka atomowa, molekularna i optyka będą nadal odgrywały ważną rolę „poligonu” dla postępu w naszym rozumieniu zjawisk kwantowych. Drugim interesującym kierunkiem jest badanie nowych układów, jak kondensaty Bosego-Einsteina, obejmujących makroskopowe liczby atomów w tym samym stanie kwantowym. Można mieć uzasadnioną nadzieję, że nowe rodzaje spójnych źródeł atomowych (nazywane niekiedy laserami atomowymi) zostaną zrealizowane, otwierając w ten sposób drogę do interesujących nowych badań.

Wreszcie, jest rzeczą jasną, że wszystkie te osiągnięcia, które pojawiły się w dziedzinie chłodzenia i pułapkowania laserowego, wzmacniają związki pomiędzy fizyką atomową i innymi dziedzinami fizyki, jak fizyka materii skondensowanej i fizyka statystyczna. Przykładem takiego owocnego dialogu jest wykorzystanie statystyki Lévy'ego do analizy chłodzenia poniżej granicy odrzutu. Międzydiscyplinarny charakter obecnych badań własności kondensatów Bosego-Einsteina jest również wyraźną oznaką intensyfikacji tej wymiany.

Tłumaczyli: *Wojciech Gawlik*  
Instytut Fizyki UJ  
oraz *Danuta Szot-Gawlik*  
Instytut Fizyki i Informatyki WSP  
Kraków

## Literatura

- [1] A. Kastler, *J. Phys. Rad.* **11**, 255 (1950).
- [2] A. Ashkin, *Science* **210**, 1081 (1980).
- [3] V.S. Letokhov, V.G. Minogin, *Phys. Reports* **73**, 1 (1981).
- [4] S. Stenholm, *Rev. Mod. Phys.* **58**, 699 (1986).
- [5] C.S. Adams, E. Riis, *Prog. Quant. Electr.* **21**, 1 (1997).
- [6] C. Cohen-Tannoudji, W. Phillips, *Physics Today* **43**, nr 10, 35 (1990).
- [7] W. Heitler, *The quantum theory of radiation*, wyd. 3. (Clarendon Press, Oxford 1954).
- [8] J.-P. Barrat, C. Cohen-Tannoudji, *J. Phys. Rad.* **22**, 329 i 443 (1961).
- [9] C. Cohen-Tannoudji, *Ann. Phys. (Paris)* **7**, 423 i 469 (1962).

- [10] C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, G. Grynberg, *Atom-photon interactions – Basic processes and applications* (Wiley, New York 1992).
- [11] S.H. Autler, C.H. Townes, *Phys. Rev.* **100**, 703 (1955).
- [12] C. Cohen-Tannoudji, *C. R. Acad. Sci. (Paris)* **252**, 394 (1961).
- [13] C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, *Phys. Rev. A* **5**, 968 (1972).
- [14] W.D. Phillips, H. Metcalf, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 596 (1982).
- [15] J.V. Prodan, W.D. Phillips, H. Metcalf, *Phys. Rev. Lett.* **49**, 1149 (1982).
- [16] W. Ertmer, R. Blatt, J.L. Hall, M. Zhu, *Phys. Rev. Lett.* **54**, 996 (1985).
- [17] G.A. Askarian, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **42**, 1567 (1962).
- [18] C. Cohen-Tannoudji, „Atomic motion in laser light”, w: *Fundamental systems in quantum optics*, red. J. Dalibard, J.-M. Raimond, J. Zinn-Justin, Les Houches session LIII (1990) (North-Holland, Amsterdam 1992), s. 1.
- [19] J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, *J. Opt. Soc. Am. B* **2**, 1707 (1985).
- [20] T.W. Hänsch, A.L. Schawlow, *Opt. Commun.* **13**, 68 (1975).
- [21] D. Wineland, H. Dehmelt, *Bull. Am. Phys. Soc.* **20**, 637 (1975).
- [22] S. Chu, L. Hollberg, J.E. Bjorkholm, A. Cable, A. Ashkin, *Phys. Rev. Lett.* **55**, 48 (1985).
- [23] V.S. Letokhov, V.G. Minogin, B.D. Pavlik, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **72**, 1328 (1977).
- [24] D.J. Wineland, W. Itano, *Phys. Rev. A* **20**, 1521 (1979).
- [25] J.P. Gordon, A. Ashkin, *Phys. Rev. A* **21**, 1606 (1980).
- [26] P.D. Lett, R.N. Watts, C.I. Westbrook, W. Phillips, P.L. Gould, H.J. Metcalf, *Phys. Rev. Lett.* **61**, 169 (1988).
- [27] E.L. Raab, M. Prentiss, A. Cable, S. Chu, D.E. Pritchard, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 2631 (1987).
- [28] C. Monroe, W. Swann, H. Robinson, C.E. Wieman, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 1571 (1990).
- [29] S. Chu, J.E. Bjorkholm, A. Ashkin, A. Cable, *Phys. Rev. Lett.* **57**, 314 (1986).
- [30] C.S. Adams, H.J. Lee, N. Davidson, M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 3577 (1995).
- [31] A. Kuhn, H. Perrin, W. Hänsel, C. Salomon, w: *OSA TOPS on Ultracold Atoms and BEC*, t. 7 (1996), red. K. Burnett (Optical Society of America, 1997), s. 58.
- [32] V.S. Letokhov, *Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **7**, 348 (1968).
- [33] C. Salomon, J. Dalibard, A. Aspect, H. Metcalf, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 1659 (1987).
- [34] R.J. Cook, R.K. Hill, *Opt. Commun.* **43**, 258 (1982).
- [35] V.I. Balykin, V.S. Letokhov, Yu. B. Ovchinnikov, A.I. Sidorov, *Phys. Rev. Lett.* **60**, 2137 (1988).
- [36] M.A. Kasevich, D.S. Weiss, S. Chu, *Opt. Lett.* **15**, 607 (1990).
- [37] C.G. Aminoff, A.M. Steane, P. Bouyer, P. Desbiolles, J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 3083 (1993).
- [38] J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, *J. Opt. Soc. Am. B* **6**, 2023 (1989).
- [39] P.J. Ungar, D.S. Weiss, E. Riis, S. Chu, *J. Opt. Soc. Am. B* **6**, 2058 (1989).
- [40] C. Salomon, J. Dalibard, W. Phillips, A. Clairon, S. Guellati, *Europhys. Lett.* **12**, 683 (1990).
- [41] Y. Castin, rozprawa doktorska (Paris 1991).
- [42] Y. Castin, K. Mølmer, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 3772 (1995).
- [43] Y. Castin, J. Dalibard, *Europhys. Lett.* **14**, 761 (1991).
- [44] P. Verkerk, B. Lounis, C. Salomon, C. Cohen-Tannoudji, J.-Y. Courtois, G. Grynberg, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 3861 (1992).
- [45] P.S. Jessen, C. Gerz, P.D. Lett, W.D. Phillips, S.L. Rolston, R.J.C. Spreeuw, C.I. Westbrook, *Phys. Rev. Lett.* **69**, 49 (1992).
- [46] G. Grynberg, C. Triché, w: *Proceedings of the International School of Physics „Enrico Fermi”, Course CXXXI*, red. A. Aspect, W. Barletta, R. Bonifacio (IOS Press, Amsterdam 1996), s. 243; A. Hemmerich, M. Weidemüller, T.W. Hänsch, tamże, s. 503.
- [47] P.S. Jessen, I.H. Deutsch, w: *Advances in Atomic, Molecular and Optical Physics*, t. 37 (1996), red. B. Bederson, H. Walther, s. 95.
- [48] A. Aspect, E. Arimondo, R. Kaiser, N. Vansteenkiste, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **61**, 826 (1988).
- [49] M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **69**, 1741 (1992).
- [50] G. Alzetta, A. Gozzini, L. Moi, G. Orriols, *Il Nuovo Cimento* **36B**, 5 (1976).
- [51] E. Arimondo, G. Orriols, *Lett. Nuovo Cimento* **17**, 333 (1976).
- [52] A. Aspect, E. Arimondo, R. Kaiser, N. Vansteenkiste, C. Cohen-Tannoudji, *J. Opt. Soc. Am. B* **6**, 2112 (1989).
- [53] F. Bardou, B. Saubamea, J. Lawall, K. Shimizu, O. Emile, C. Westbrook, A. Aspect, C. Cohen-Tannoudji, *C. R. Acad. Sci. (Paris)* **318**, 877 (1994).
- [54] B. Saubamea, T.W. Hijmans, S. Kulin, E. Rasel, E. Peik, M. Leduc, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **79**, 3146 (1997).
- [55] J. Lawall, F. Bardou, B. Saubamea, K. Shimizu, M. Leduc, A. Aspect, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **73**, 1915 (1994).
- [56] J. Lawall, S. Kulin, B. Saubamea, N. Bigelow, M. Leduc, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 4194 (1995).
- [57] M.A. Ol'shanii, V.G. Minogin, *Opt. Commun.* **89**, 393 (1992).
- [58] S. Kulin, B. Saubamea, E. Peik, J. Lawall, T.W. Hijmans, M. Leduc, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **78**, 4185 (1997).

- [59] C. Cohen-Tannoudji, J. Dalibard, *Europhys. Lett.* **1**, 441 (1986).
- [60] P. Zoller, M. Marte, D.F. Walls, *Phys. Rev. A* **35**, 198 (1987).
- [61] F. Bardou, J.-P. Bouchaud, O. Emile, A. Aspect, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **72**, 203 (1994).
- [62] B.V. Gnedenko, A.N. Kolmogorov, *Limit distributions for sum of independent random variables* (Addison Wesley, Reading, MA 1954).
- [63] J.P. Bouchaud, A. Georges, *Phys. Rep.* **195**, 127 (1990).
- [64] F. Bardou, rozprawa doktorska (Université Paris XI, Orsay 1995).
- [65] J. Reichel, F. Bardou, M. Ben Dahan, E. Peik, S. Rand, C. Salomon, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 4575 (1995).
- [66] K. Gibble, S. Chu, *Metrologia* **29**, 201 (1992).
- [67] S.N. Lea, A. Clairon, C. Salomon, P. Laurent, B. Lounis, J. Reichel, A. Nadir, G. Santarelli, *Physica Scripta* **T51**, 78 (1994).
- [68] J. Zacharias, *Phys. Rev.* **94**, 751 (1954); patrz także: N. Ramsey, *Molecular Beams* (Oxford University Press, Oxford 1956).
- [69] M. Kasevich, E. Riis, S. Chu, R. de Voe, *Phys. Rev. Lett.* **63**, 612 (1989).
- [70] A. Clairon, C. Salomon, S. Guellati, W.D. Phillips, *Europhys. Lett.* **16**, 165 (1991).
- [71] S. Ghezali, Ph. Laurent, S.N. Lea, A. Clairon, *Europhys. Lett.* **36**, 25 (1996).
- [72] S. Ghezali, rozprawa doktorska (Paris 1997).
- [73] E. Simon, P. Laurent, C. Mandache, A. Clairon, w: *Proceedings of EFTF 1997, Neuchatel, Switzerland*.
- [74] J. Prestage, R. Tjoelker, L. Maleki, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 3511 (1995).
- [75] I.I. Shapiro, *Phys. Rev. Lett.* **13**, 789 (1964).
- [76] H. Wallis, J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, *Appl. Phys. B* **54**, 407 (1992).
- [77] A. Steane, P. Szriftgiser, P. Desbiolles, J. Dalibard, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 4972 (1995).
- [78] M. Ben Dahan, E. Peik, J. Reichel, Y. Castin, C. Salomon, *Phys. Rev. Lett.* **76**, 4508 (1996).

# Fundacja Alfreda Jurzykowskiego

**Jerzy Krzywicki**

*Department of Philosophy, City University of New York (Queens College), New York, USA*

**Adam Sobiczewski**

*Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Warszawa*

**Aleksander Wolszczan**

*Department of Astronomy and Astrophysics, Pennsylvania State University, University Park, USA*

oraz

*Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń*

---

### Alfred Jurzykowski Foundation

*Abstract:* History and activity of the foundation established in 1960 by the Polish businessman Alfred Jurzykowski in New York is shortly described. Role of the Foundation in supporting various institutions in Poland and those of the Polish emigration, as well as in supporting scholars, writers and artists of the Polish origin, is discussed. A biography of Alfred Jurzykowski is presented.

---

#### 1. Wstęp

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie Czytelnikom *Postępów Fizyki* jednej z najbardziej aktywnych fundacji polonijnych, fundacji o szczególnych zasługach w popieraniu, promowaniu i popularyzowaniu dorobku kultury polskiej i jej wkładu do kultury światowej. Przedstawimy tu sylwetkę Fundatora i omówimy krótko organizację, cele i działalność Fundacji.

Przy omawianiu Nagród Fundacji, których od 1964 r., a więc w ciągu 35 lat, przyznano już 463, szczególną uwagę zwrócimy na laureatów w dziedzinie fizyki.

W *Postęпах Fizyki* ukazało się dotychczas zaledwie kilka drobnych notatek w „Kronice”, poświęconych poszczególnym laureatom z zakresu fizyki. Ogólnie, Fundacja i jej działalność jest stosunkowo mało znana w Polsce, wskutek złych rela-

cji władz PRL z emigracją. Niedostatek ten należy nadrobić.

#### 2. Alfred Jurzykowski

Alfred Jurzykowski [1] urodził się 23 kwietnia 1899 r. na Śląsku Cieszyńskim. Był zawodowym oficerem Wojska Polskiego. Brał m.in. udział w wojnie polsko-bolszewickiej 1919–20 r. Po wyjściu z wojska zaangażował się w życie gospodarcze, pracując początkowo na Śląsku, a następnie zakładając własny dom handlowy w Warszawie i firmę eksportową w Gdańsku. W lipcu 1939 r. został powołany do wojska jako podporucznik rezerwy piechoty i brał udział w kampanii wrześniowej. Po 17 września przedostał się do Rumunii, i dalej do Rzymu, skąd w 1940 r. wyjechał do Stanów Zjednoczonych.

W Nowym Jorku założył wspólnie z Alfredem Schenkerem fabrykę wyrobów czekoladowych. Aby mieć tani surowiec, zakupił w Republice Dominikańskiej plantację kakao. Plantacja ta stała się pierwszym źródłem jego majątku, który następnie został bardzo powiększony w Brazylii.



Alfred Jurzykowski

Do Brazylii Jurzykowski przenosi się w roku 1950. Tu, w Rio de Janeiro, zakłada przedsiębiorstwo, które zajmuje się handlem wymiennym z Republiką Federalną Niemiec. Przedsiębiorstwo to za kakao i drewno sprowadzało z Niemiec ciężarówki produkowane przez firmę Mercedes-Benz. W owym czasie Brazylia miała bardzo słabo rozwiniętą komunikację drogową i kolejową, a wszystkie samochody ciężarowe pochodziły z importu. Za sugestią i z pomocą gen. Kazimierza Sosnkowskiego, który w tym czasie był doradcą wojskowym rządu brazylijskiego, Jurzykowski wystąpił do władz brazylijskich i do firmy Mercedes-Benz o zgodę na wybudowanie w Brazylii pierwszej fabryki autobusów i ciężarówek. W wyniku tych starań została w 1956 r. uruchomiona taka fabryka („Mercedes-Benz do Brasil”) w pobliżu São Paulo. Jurzykowski miał w niej początkowo 50%, a potem 75% wszystkich udziałów. Uruchomienie tej fabryki uznawane jest w Brazylii za wydarzenie przełomowe w historii jej motoryzacji.

Obok działalności gospodarczej i przemysłowej, Jurzykowski prowadził w Brazylii rozległą akcję społeczną i charytatywną. Bardzo poprawił warunki życia w najbardziej zaniedbanych dzielnicach Rio de Janeiro, budując sieć wodociagową i elektryczną oraz szkoły. Ustanowił stypendia dla Brazylijczyków pragnących studiować medycynę. Opiekował się także polskimi uchodźcami i młodzieżą.

W 1960 r. Jurzykowski powrócił do USA, gdzie za sugestią swego przyjaciela Rudolfa Rathausa (byłego konsula RP w Chicago) utworzył, w tym samym roku, fundację swego imienia. Zmarł 29 maja 1966 r. w Bronxville k. Nowego Jorku.

### 3. Organizacja, cele i działalność Fundacji

#### 3.1. Organizacja

Fundacją kieruje 5-osobowy Zarząd (Board of Trustees). W skład jego wchodzi dwie córki Fundatora, Panie Jolanta L. Jurzykowska (wiceprzewodnicząca) i M. Krystyna Jurzykowska (sekretarz i skarbnik).

Zarząd korzysta z pomocy 7-osobowego Komitetu Doradczego ds. Kultury (Cultural Advisory Committee), w skład którego wchodzi dwóch spośród autorów tego artykułu (J.K. i A.W.). Jeden z nich (J.K.) jest jego przewodniczącym.

Siedziba Fundacji znajduje się w Nowym Jorku.

#### 3.2. Cele

Najogólniej ujętym, głównym celem Fundacji jest popieranie rozwoju polskiej kultury, propagowanie tej kultury w świecie oraz szeroka popularyzacja wkładu Polaków do kultury światowej. Kultura rozumiana jest tu najogólniej jako dorobek naukowy, artystyczny, literacki, ... Także Polacy rozumiani tu są szeroko jako osoby o polskich korzeniach, niezależnie od tego, w jakim kraju obecnie pracują czy też jakie mają obecnie obywatelstwo. W tym sensie Fundacja bardzo jednoczy wysiłki twórcze Polaków podejmowane w kraju i na emigracji.

#### 3.3. Działalność

Ważną formą działalności Fundacji w początkowych latach jej istnienia była pomoc Ameryka-

nom polskiego pochodzenia w podejmowaniu studiów wyższych, które w USA są kosztowne. Chodziło o zmniejszenie rażącej dysproporcji w tej dziedzinie w stosunku do innych mniejszości narodowych. Na przykład w takich częściach USA, jak regiony Buffalo czy Milwaukee, gdzie Polacy stanowią 20–30% ludności, polscy studenci szkół medycznych stanowili w latach siedemdziesiątych poniżej 2%. W pierwszych 5 latach swej działalności Fundacja udzieliła pomocy ponad 400 osobom [2].

Ważną postacią działalności była także pomoc absolwentom polskich uczelni i dziennikarzom, umożliwiającą im odbycie staży w USA [2]. Chodziło głównie o staże poświęcone badaniom ogólnie pojętego dorobku Polaków. Wynikiem tych staży były takie publikacje jak: *Portrety uczonych polskich* Andrzeja Biernackiego, opublikowane przez Wydawnictwo Literackie w 1974 r., przekład na język polski (przez tegoż Andrzeja Biernackiego) książki Claude'a Bakvisa *Studia kultury staropolskiej*, wydany w 1975 r. przez PIW, czy książka *Orzeł na gwiazdzystym sztandarze* Olgierda Budrewicza, wydana przez Interpress w 1976 r. Ta ostatnia pozycja, stanowiąca biografię 20 Amerykanów polskiego pochodzenia, przetłumaczona została na język angielski i znalazła się na rynku amerykańskim. Fundacja wspierała również wydawnictwa w Polsce, np. czasopismo *Fundamenta Mathematicae*.

Fundacja przyczyniła się także do powstania kilku ważnych dla kultury polskiej placówek. Ufundowała m.in. Katedrę Historii Literatury Polskiej na Uniwersytecie Harvarda, której kierownictwo objął Wiktor Weintraub, historyk literatury polskiej, profesor slawistyki i polonistyki na tym Uniwersytecie od 1954 r. Po przejściu prof. Weintrauba na emeryturę, kierownictwo to przejął znany poeta, krytyk literacki i tłumacz Stanisław Barańczak.

Oprócz działalności na rzecz polskiej kultury Fundacja wspierała także różne przedsięwzięcia i instytucje ważne społecznie, jak np. kształcenie czy doksztalcanie w USA polskich lekarzy, szpitale w Polsce, Zakład Ociemniałych w Laskach itp.

Bardzo istotną rolą Fundacji Jurzykowskiego jest wspieranie innych fundacji i instytucji emigracyjnych, jak np. Fundacji Kościuszkowskiej, Instytutu Piłsudskiego czy Polskiego Instytutu Naukowego. Trudno chyba znaleźć jakąś instytucję emigracyjną w Ameryce czy Europie, która by nie

otrzymała pomocy, często permanentnej, od Fundacji Jurzykowskiego w ciągu tych blisko czterdziestu lat jej istnienia. W wielu wypadkach Fundacja działała właśnie za pośrednictwem innych. Na przykład program stypendiów dla studentów i naukowców z Polski, administrowany przez Fundację Kościuszkowską, jest w dużej mierze finansowany przez Fundację Jurzykowskiego.

Jednak działalnością Fundacji, dzięki której jest ona chyba najbardziej znana, jest przyznawanie co roku nagród za wybitne osiągnięcia w dziedzinie szeroko pojętej kultury. Tej sprawie poświęcamy oddzielny rozdział (rozdz. 4).

### 3.4. *Finanse*

Nie dysponujemy dokładnymi danymi o finansach Fundacji, możemy więc dostarczyć Czytelnikom tylko pewnej orientacji w tej sprawie. Ogólny majątek Fundacji oceniany był w latach siedemdziesiątych na ok. 10 milionów USD. Fundacje tego typu działają w ten sposób, że ich majątek lokowany jest tak, by przy odpowiednim bezpieczeństwie lokaty, przynosił możliwie wysoki zysk. Z tego zysku pokrywa się wszelkie wydatki, i to w takim tylko stopniu, by sam majątek ciągle rósł.

Co do wydatków, to np. na utworzenie Katedry Historii Literatury Polskiej na Uniwersytecie Harvarda wydano ok. jednego miliona USD, Fundacja Kościuszkowska otrzymała w roku akad. 1970/71 25 tys. USD, a w latach 1971/72, 1972/73 i 1973/74 – corocznie po 100 tys. USD [2].

Wysokość jednej Nagrody (szczegółowo omówimy je w następnym rozdziale) systematycznie rosła i wynosiła: 1 tys. USD w latach 1964–69, 2,5 tys. w latach 1970–75, 5 tys. w latach 1976–89, 6 tys. w latach 1990–97 i 10 tys. USD w roku 1998.

## 4. Nagrody

Pierwsze Nagrody Alfreda Jurzykowskiego przyznane zostały w 1964 r. Wydarzenie to poprzedzone zostało szerokimi dyskusjami i konsultacjami, jak powinno się to robić. Analizowano postępowanie stosowane przy przyznawaniu innych nagród, jak np. Nagród Fundacji Guggenheima czy Nagród Pulitzera.

Przyjęto formułę, że Nagrody przyznawane będą za wybitne osiągnięcia twórcze osobom pochodzenia polskiego, w jakimkolwiek kraju pra-



cowałoby obecnie i jakiegokolwiek miałyby obywatelstwo. Dziedzina twórczości traktowana jest też bardzo szeroko. Są to zarówno nauki ścisłe, jak humanistyczne, medyczne, literatura (pisarstwo, przekłady, krytyka literacka), sztuki piękne, muzyka (kompozycja, wykonawstwo, muzykologia), teatr, film. W dziedzinie przekładów polskiej literatury na języki obce nie jest naturalnie stosowane kryterium polskiego pochodzenia tłumacza.

Zgłoszonych kandydatów opiniuje wspomniany wyżej Komitet Doradczy ds. Kultury, wykorzystując zarówno kompetencje swoich członków, jak i konsultacje z odpowiednimi specjalistami z USA i Europy. Samą decyzję przyznania Nagrody podejmuje jednak Zarząd Fundacji.

Nagrody przyznawane są corocznie. W ciągu pierwszych dwudziestu lat przyznano 313 Nagród, w tym 170 (tj. ok. 54%) osobom pracującym w Polsce, 60 w USA, 32 w Anglii, 13 we Francji, a dalej kolejno w Szwajcarii, Niemczech, Włoszech, Belgii, Hiszpanii, Norwegii, Holandii, Izraelu, Kanadzie, Australii, Argentynie i Brazylii [3]. Daje to orientację w geograficznym „rozmyśczeniu” polskich twórców, a jednocześnie podkreśla potrzebę i ważność zespalandia, łączenia wysiłków tych rozproszonych twórców, co jest jednym z głównych celów Fundacji. Interesujący może być też rozkład owych 313 Nagród na poszczególne dziedziny: 110 za twórczość artystyczną (literatura 57, sztuki piękne 27, muzyka 19, teatr 7), 64 dla humanistyki, 34 – medycyny, 24 – nauk przyrodniczych, 19 – matematyki i pozostałych dziedzin, reprezentowanych mniej licznie.

Liczba przyznawanych co roku Nagród zmieniała się w czasie i wynosiła: 9 w 1964 r., 13–17 w latach 1965–70, 26 w latach 1971–75, 10–11 w latach 1976–97 i 6 w roku 1998. Razem do 1998 r. łącznie, tzn. w ciągu 35 lat, przyznane zostały 463 Nagrody.

Dla Czytelników ciekawe może być podanie przykładów nagrodzonych osób. Zwykle bowiem właśnie laureaci świadczą o randze nagrody i tę rangę tworzą. Wśród fizyków Nagrodę otrzymali [4]: Wojciech Rubinowicz (1971), Władysław Opęchowski (1973), Jan Rzewuski (1974), Roman Smoluchowski (1975), Iwo Białynicki-Birula (1979), Andrzej Trautman (1984), Jerzy Pniewski (1985), Marian Mięśowicz (1987), Stanisław Woronowicz (1988), Wiesław Czyż (1989), Andrzej Białas (1990) i Adam Sobiczewski (1997).

Były też dwie Nagrody z pogranicza fizyki: David Shugar (biofizyka, 1984) i Włodzimierz Kołos (fizyka-chemia, 1986). Wśród nagrodzonych astronomów byli m.in. Wilhelmina Iwanowska (1970), Bohdan Paczyński (1981) i Aleksander Wolszczan (1993). Spośród matematyków wyróżnieni byli m.in. Hugo Steinhaus, Kazimierz Kuratowski i Stanisław Mazur.

W dziedzinie literatury wyróżnieni zostali m.in. Jan Parandowski, Czesław Miłosz i Wisława Szymborska. Warto zwrócić uwagę, że Miłosz (1968) i Szymborska (1972) otrzymali Nagrodę Jurzykowskiego na długo przed Nagrodą Nobla. W dziedzinie filozofii wyróżnieni byli m.in. Roman Ingarden, Tadeusz Kotarbiński i Władysław Tarkiewicz, w muzyce m.in. Krzysztof Penderecki, Witold Lutosławski i Wojciech Kilar, w dziedzinie teatru m.in. Jerzy Grotowski i Tadeusz Kantor, a filmu Andrzej Wajda. W dziedzinie politologii Nagrodę otrzymał Zbigniew Brzeziński.

Można powiedzieć, że zbiór dorocznych publikacji Fundacji, przedstawiających aktualnych laureatów i ich dorobek, stanowi swoisty informator typu „Kto jest kim” w kulturze polskiej.

W całej 35-letniej już historii Nagród Jurzykowskiego zdarzyło się raz, że (za sugestią Pani Mileny Jurzykowskiej, żony Fundatora) przyznane zostały (w 1968 r.) Złote Medale Uznania za Wybitne Osiągnięcia (Gold Medals of Recognition for Exceptional Achievements). Otrzymali je: historyk Oscar Halecki, pianista Artur Rubinstein i matematyk Waclaw Sierpiński.

Uroczyste wręczenie Nagród odbywa się w Nowym Jorku, w siedzibie Fundacji lub siedzibie Fundacji Kościuszkowskiej. Uroczystość rozpoczyna przemówienie przewodniczącego Komitetu Doradczego ds. Kultury. Następnie laureaci mówią o swych pracach i swojej drodze życiowej.

Oprócz Nagród dla twórców polskiego pochodzenia Fundacja przyznaje corocznie także Nagrody dla naukowców narodowości brazylijskiej lub pracujących w Brazylii. Kandydatów do tych Nagród zgłasza Brazylijska Akademia Medycyny. Na przykład w ciągu ostatnich czterech lat Fundacja przyznała po cztery takie Nagrody każdego roku.

Ostatnio (1998 r.) Zarząd Fundacji podjął decyzję o zawieszeniu od 1999 r. przyznawania Nagród, kontynuując jednak inne postaci działalności na rzecz kultury polskiej.

## Literatura

- [1] J. Osuchowski, „Alfred Jurzykowski 1899–1966” (Fundacja Odysseum, Ośrodek Dokumentacji Doko-  
nań Polaków na Świecie).
- [2] „What Alfred Jurzykowski made possible”, *The Ko-  
ściuszko Foundation Newsletter* 32, nr 1 (1977-78).
- [3] J. Krzywicki Herburt, „Twenty years of the Jurzy-  
kowski Foundation awards”, *The Polish Review* 29,  
nr 1 & 2, 5 (1984).
- [4] I. Białynicki-Birula, *Postępy Fizyki* 49, 53 (1998).

# Realizacja badań naukowych w warunkach samofinansowania na przykładzie VIGO-System Sp. z o.o.\*

Mirosław Grudziń

VIGO-System Sp. z o.o., Warszawa

---

## R&D studies without external financial support: a case of VIGO-System Ltd

*Abstract:* Research and development studies carried out in a high-tech company VIGO-System Ltd are described. This company produces infrared detectors as well as various electronic and optical systems, based on the own original design and innovative technical solutions. An attempt is undertaken to enumerate those actions of management, which could make possible to adapt such a company to demands and needs of the international market.

---

### 1. Wprowadzenie

Przełomowe zmiany polityczne i gospodar-  
cze, jakie nastąpiły w Polsce po roku 1989 stały się  
przyczyną ogromnych przeobrażeń we wszystkich  
dziedzinach życia. Podmioty gospodarcze reali-  
zujące dotychczas zadania podporządkowane ce-  
lom centralnego planisty stanęły nagle w obli-  
czu konieczności sprostania wymogom wolnego  
rynku, kierującego się innymi, nie do końca po-  
znanymi, a co gorsza nie zawsze chętnie akcepto-  
wanymi regułami. Zamknięta gospodarka z regła-  
mentowanym dostępem do surowców, dewiz i ryn-  
ków zagranicznych nie sprzyjała dynamicznemu  
rozwojowi i unowocześnianiu produkcji. Niewy-  
dolny system ekonomiczny, mimo werbalnej kry-

tyki, tolerował stan uspienia producentów dyk-  
tujących warunki na rynku. Otwarcie granic dla  
swobodnego przepływu myśli, towarów i usług,  
praktyczna wymienialność złotówki i umożliwie-  
nie prowadzenia handlu zagranicznego wszystkim  
podmiotom gospodarczym, postawiło krajowych  
producentów twarzą w twarz z konkurencją świa-  
tową. Kluczową rolę na rynku towarów i usług za-  
czął odgrywać klient i jego upodobania. Towarem  
w języku marketingu, choć być może nie w pełni,  
stały się nagle nauka i sztuka, niosące wartości  
uznawane dotychczas za pozarynkową, nietykalną  
domenę ludzi wybranych – uczonych i artystów.

Niedostateczne przygotowanie kadry kierow-  
niczej do prowadzenia przedsiębiorstw w nowych

---

\*Angielskie tłumaczenie artykułu ukazało się w *Opto-Electronics Review* 5, 285 (1997). Wersję polską, otrzymaną od Autora, drukujemy za zgodą Wydawcy, tj. Centralnego Ośrodka Szkolenia i Wydawnictw SEP (przyp. Red.).

w warunkach w znacznej mierze spotęgowało obiektywnie występujące trudności okresu przejściowego. Prawidłowe usytuowanie firmy w nowych realiach gospodarczych stało się zasadniczym problemem nie tylko dla szefów państwowych przedsiębiorstw czy placówek badawczych, ale także dla zarządów nowo powstałych firm prywatnych, poszukujących swej szansy zaistnienia na rynku.

Codzienna rzeczywistość uczy, że nie wszystkim się to udaje. Poszukiwanie własnej drogi w skomplikowanych uwarunkowaniach ekonomicznych i politycznych nie jest łatwe. Dołączenie na zasadzie partnerstwa do krajów od lat realizujących politykę wolnego, otwartego na świat rynku, rządzącego się twardymi prawami konkurencji, wymaga nadrobienia wielu zaległości. Konieczna jest zmiana wieloletnich przyzwyczajęń organizacyjnych, stosunku do pracy i klienta oraz znalezienia luk w rynku opanowanym przez koncerny światowe. Jest to szczególnie trudne dzisiaj, w obliczu silnej koncentracji kapitału i globalizacji procesów ekonomicznych przy jednoczesnym braku kapitału własnego. Wydaje się, że w takiej sytuacji szansę stanowić może stosunkowo dobrze wykształcona kadra, której umiejętności, właściwie spożytkowane przy odpowiednio określonych priorytetach, mogą zaowocować silnym impulsem rozwojowym dla gospodarki naszego kraju.

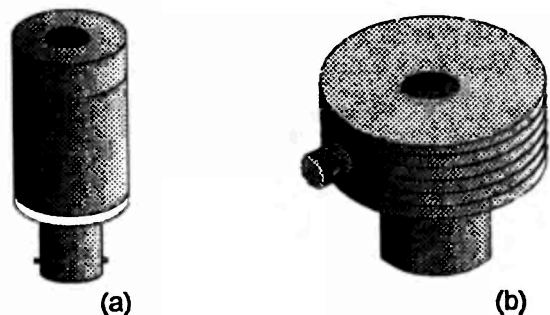
Doświadczenia krajów o rozwiniętej gospodarce rynkowej pokazują wszakże, że znalezienie cudownej recepty na sukces rynkowy jest niemożliwe. W samej tylko Republice Federalnej Niemiec corocznie upada i powstaje kilkaset tysięcy podmiotów gospodarczych. Mimo to jednak istnieją uzasadnione wskazówki warunkujące osiągnięcie sukcesu. Zastosowanie się do nich jest warunkiem koniecznym, choć niestety niewystarczającym, aby utrzymać się na rynku.

## 2. Krótka historia firmy

Wyraźny podział świata na dwa konkurujące ze sobą militarnie i gospodarczo bloki ustrojowe był w latach ubiegłych przyczyną silnej dominacji polityki nad racjami ekonomicznymi, zwłaszcza w bloku tzw. państw socjalistycznych. Powszechnie stosowana przez zamożne, rozwinięte państwa zachodnie blokada dostępu do zaawansowanych technologii wywołała w bloku wschodnim odruch obronny, zmierzający do niezależnie-

nia się od współpracy z Zachodem. W sytuacji znacznych różnic w poziomie rozwoju gospodarczego obu bloków, polityka autarkii gospodarczej przy niskiej efektywności systemu ekonomicznego i istniejących barierach ograniczających przepływ towarów, usług i nowoczesnych technologii, powodowała systematyczne pogłębianie się luki technologicznej i w dalszej perspektywie skazana była na niepowodzenie. Ponadto w bloku wschodnim szczególną wagę przywiązywano do badań i technologii mających znaczenie dla obronności kraju.

Na początku lat 70. w Wojskowej Akademii Technicznej, w zespole prof. Józefa Piotrowskiego – wówczas doktora nauk technicznych – opracowano po raz pierwszy na świecie sposób wytwarzania niechłodzonych, fotonowych detektorów podczerwieni z tellurku kadmowo-rtęciowego – półprzewodnika o zmiennej szerokości przerwy energetycznej, znanego w literaturze pod nazwą MCT (od ang. Mercury Cadmium Telluride). Opracowane detektory, wobec braku konieczności chłodzenia ciekłym azotem, otwierały nowe pole zastosowań dla techniki podczerwieni nie tylko w wojsku, ale także w zastosowaniach cywilnych. Informacja o opracowanym w Polsce nowym typie detektora, opublikowana w światowej literaturze naukowej, spotkała się z niedowierzaniem środowiska na wschodzie i na zachodzie. W kraju był to początek przysłowiowej już cierniowej drogi wynalazców.



Rys. 1. Pierwsze niechłodzone detektory promieniowania podczerwonego  $10,6 \mu\text{m}$ : a) fotorezystor R005, b) detektor fotomagnetoelektryczny [6]. Osiągają one stopień wykrywalności do  $3 \times 10^7 \text{ cm Hz}^{1/2} \text{ W}$  przy  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ .

W stosunku do ówczesnego poziomu krajowego przemysłu elektronicznego wynalazek wyprzedzał epokę. Zachód – poza nielicznymi doniesieniami w literaturze ściśle naukowej – pozbawiony był jakiegokolwiek dostępu do informacji komercyjnej. Handel zagraniczny skoncentro-

wany był w kilkunastu upoważnionych do tego centralach, cierpiących na brak rzeczoznawców, mogących wydać kompetentną opinię o wynalazku. Nierealistyczny kurs dolara, połączony ze ścisłą reglamentacją dostępu do dewiz, uniemożliwił podjęcie akcji promocyjnej bez zgody wyższych władz. Brak rynku uniemożliwił sprzedaż i powodował brak środków na szybki rozwój. Uczelnia, kierując się zadaniami statutowymi, nie była zainteresowana stworzeniem warunków do produkcji i rozwoju zastosowań. Zakłęty krąg niemożności.

Pierwsze sukcesy rynkowe przyniósł rok 1980, kiedy to na konferencji naukowej CLEO '80 w Bostonie, po wygłoszonym referacie, nawiązane zostały prywatne kontakty z amerykańskim dystrybutorem, który postanowił podjąć ryzyko promocji polskich detektorów na rynku amerykańskim.

W 1987 r., po wielu bezskutecznych próbach zainteresowania wynalazkiem krajowego przemysłu elektronicznego, grupa twórców technologii utworzyła prywatną spółkę. Zarząd spółki, korzystając z przychylnego klimatu dla wynalazczości, otrzymał w 1988 r. zamówienie rządowe na dokończenie badań i uruchomienie produkcji detektorów podczerwieni z MCT. Rzeczywistość bardzo szybko zweryfikowała pierwotne plany. Silny kryzys ekonomiczny w kraju i związany z tym brak środków spowodowały w 1990 r. przerwanie realizacji zamówienia rządowego z przyczyn niezależnych od spółki, co groziło załamaniem przedsięwzięcia. Dzięki zamówieniom zagranicznym firma z trudem przetrwała, z wielkim wysiłkiem finansującym z własnych środków swój rozwój i badania.

### 3. Charakterystyka firmy VIGO-System Sp. z o.o.

VIGO-System jest całkowicie prywatną firmą średniej wielkości, zajmującą się opracowywaniem i wdrażaniem do produkcji przede wszystkim własnych rozwiązań technicznych w dziedzinie optoelektroniki. Trzon zespołu, który sprawuje merytoryczne kierownictwo i zarządza firmą, stanowi grupa specjalistów o wysokich kwalifikacjach (1 profesor, 7 doktorów, 15 inżynierów). Większość z nich współpracuje ze sobą od ponad 20 lat, z początku w strukturach uczelnianych i instytutowych, a od 1987 r. w spółce. Firma zatrudnia ok. 50 osób – głównie pracowników o wy-

kształceniu technicznym. Zasadnicza część przychodów firmy pochodzi ze sprzedaży podzespołów i urządzeń optoelektronicznych, elektronicznych i optycznych, produkowanych na podstawie własnych oryginalnych rozwiązań.

Średnio ok. 50% produkcji firmy dociera na rynki krajów wysoko rozwiniętych. Firma posiada 16 dystrybutorów na świecie. Główne rynki zagraniczne to USA, Kanada, Niemcy, Japonia i Wielka Brytania. Pracownicy firmy utrzymują ożywione kontakty z krajowymi i zagranicznymi placówkami naukowo-badawczymi, przejawiające się wymianą doświadczeń, wspólnymi badaniami, opracowaniami i stażami naukowymi. Z polskich uczelni kierowani są do nas studenci w celu odbycia praktyk i wykonania prac dyplomowych.

### 4. Innowacyjny charakter firmy

Znamienną cechą firmy innowacyjnej jest podejmowanie zagadnień badawczo-wdrożeniowych, których poziom rozwiązań technicznych znacznie przekracza poziom dotychczas istniejący [1]. Innowacyjność jest głównie wynikiem intelektualnego wysiłku twórców, prowadzącego do niekonwencjonalnego wykorzystania materiałów lub podzespołów, co w konsekwencji owocuje nowym wyrobem wysokiej jakości, a czasem odkryciem nowych zjawisk lub materiałów o nieznanych dotychczas właściwościach. Warunkiem koniecznym sprawnego działania jest jednak swobodny dostęp do rynku światowego oraz jego zasobów intelektualnych i materialnych. Zagadnienie innowacyjności przedsiębiorstw na przykładzie doświadczeń zachodnich, a zwłaszcza brytyjskich jest szeroko opisane w interesującej pracy A.H. Jasińskiego [2].

Trudny problem innowacyjności gospodarki nie znalazł dotychczas w Polsce zadowalającego rozwiązania. Szczególnie niepokojące jest praktycznie całkowite oddzielenie nauki od przemysłu oraz ukształtowanie się fatalnej tradycji podziału ośrodków badawczych na dwie grupy: „prawdziwe” (uczelnie i instytuty PAN, gdzie koncentrują się zespoły badawcze o uznanym autorytecie) i „pozorne” (przemysłowe ośrodki badawczo-rozwojowe o niskim prestiżu). Powoduje to bierne oczekiwanie przemysłu na samoistny wpływ nowych rozwiązań z placówek badawczych oraz frustracje środowisk badawczych, wywołane brakiem zainteresowania przemysłu nowymi roz-

wiązaniami. A przecież w dobie nowoczesnych, zaawansowanych technologii nie sposób sobie wyobrazić uruchomienia np. produkcji podzespołów elektronicznych wielkiej skali integracji lub elementów optoelektronicznych bez bezpośredniego i ciągłego udziału twórców.

Wydaje się, że firma VIGO-System może być dobrym przykładem organizmu gospodarczego, w którym z powodzeniem udało się pogodzić ambicje naukowe wysokiej klasy specjalistów ze skuteczną realizacją przedsięwzięć produkcyjnych w obszarze zaawansowanych technologii. W firmie nie istnieje ostra granica między zespołami badawczymi i produkcyjnymi. Wyzwanie rynku światowego jest naturalnym stymulatorem badań i nowych opracowań, których realizacja jest warunkiem utrzymania się na powierzchni. Większość produktów, które obecnie znajdują się w ofercie firmy, to wynik jednostkowych opracowań realizowanych na indywidualne zamówienia klientów. Przeciętny czas realizacji takich zamówień zwykle nie przekracza 6 tygodni, co jest standardem w większości firm światowych. Wszystkie produkty firmy podlegają ustawicznej modernizacji i doskonaleniu, a średnio co rok pojawiają się dwa-trzy nowe, znacznie przewyższające parametrami dotychczasowe.

Nieustanny kontakt z klientami z całego świata za pomocą tradycyjnych i elektronicznych środków łączności stwarza swoiste sprzężenie zwrotne, umożliwiające poznanie potrzeb i kierunków, w jakich rozwija się rynek i myślenie potencjalnych użytkowników naszych wyrobów. Sprzężenie to w sposób naturalny pobudza innowacyjność w poszukiwaniu metod zaspokojenia oczekiwań potencjalnych klientów. Ten styl działania jest równie fascynujący jak praca w laboratorium. Efekty pracy są natychmiast weryfikowane przez rynek, który w dłuższym okresie jest w moim przekonaniu jedynym obiektywnym kryterium oceny wartości badań stosowanych.

## 5. Charakterystyka produktu

Na początku lat 60. odkryto na świecie nowy materiał półprzewodnikowy – tellurek kadmowo-rtęciowy  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , stwarzający nowe perspektywy rozwoju dla techniki podczerwieni. Materiał ten w odróżnieniu od tradycyjnych półprzewodników posiada specyficzne, niezwykle atrak-

cyjne właściwości fizyczne, z których najważniejsza to możliwość sterowania w dużym zakresie szerokością przerwy energetycznej. Pozwala to na wytwarzanie – oparte na jednolitej aparaturze i technologii – szerokiego asortymentu detektorów, czułych w zaprojektowanym z góry zakresie widmowym – od promieniowania widzialnego aż do dalekiej podczerwieni. Zarówno wytwarzanie samego półprzewodnika, jak i detektorów podczerwieni z MCT jest przedsięwzięciem bardzo skomplikowanym technologicznie i wymaga głębokiego zrozumienia wielu procesów fizycznych.

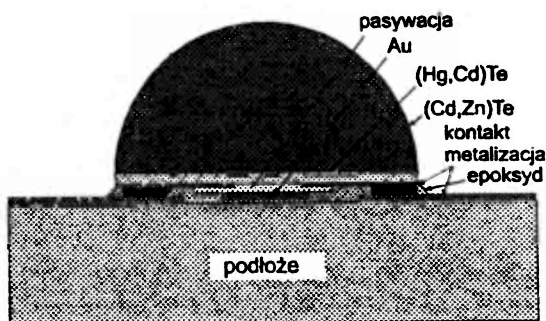
Istotny wkład do zrozumienia właściwości nowego materiału wnieśli już we wczesnym etapie badań pracownicy Instytutu Fizyki PAN, Politechniki Wrocławskiej i Uniwersytetu Warszawskiego – J. Baranowski, P. Becla, R. Gałązka, W. Giriat, J. Pawlikowski, A. Mycielski i inni. Niestety próby wdrożenia rezultatów ich prac nie wykroczyły poza stadium laboratoryjnej produkcji jednostkowej.

Przez wiele lat panowało w kręgach specjalistów błędne przekonanie (powszechnie przyjmowane jednak za prawdę), że półprzewodnikowe, fotonowe detektory dalekiej podczerwieni mogą działać jedynie w bardzo niskich temperaturach. Technologia światowa poszła zatem w tym właśnie kierunku i produkowane dziś przez znanych producentów detektory osiągnęły już parametry, których poziom ograniczony jest podstawowymi prawami fizyki. Jest jednak rzeczą oczywistą, że eksploatacja urządzeń wymagających głębokiego chłodzenia jest uciążliwa. Fakt ten silnie ograniczał rozwój techniki podczerwieni, zwłaszcza w przemyśle i medycynie.

Wykonane w Polsce i potwierdzone doświadczalnie prace teoretyczne pokazały, że panujące przekonanie o konieczności głębokiego chłodzenia detektorów podczerwieni jest nieuzasadnione. Na początku lat 70. pojawiły się w Polsce pierwsze na świecie niechłodzone, półprzewodnikowe detektory podczerwieni, wykonane z MCT. Ich parametry nie osiągały naturalnie poziomu detektorów chłodzonych ciekłym azotem, jednak w wielu zastosowaniach mogły je z powodzeniem zastąpić. Oferowane detektory mogły znaleźć zastosowanie w pracach badawczych, w szczególności w badaniach wysokotemperaturowej plazmy, w technice laserowej oraz w konstrukcji urządzeń wojskowych i cywilnych, jak dalmierze i prędkości-

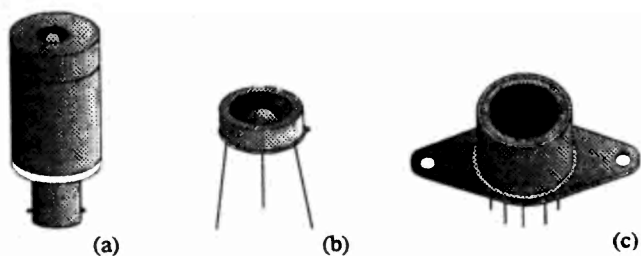
mierze laserowe, lidary, urządzenia łączności laserowej, bezkontaktowe mierniki temperatury, skanery liniowe, spawarki laserowe, analizatory gazów i skażeń atmosfery, laserowe przyrządy chirurgiczne itp. Charakterystyczną cechą tych detektorów jest niezwykle mały (poniżej 2%) udział materiałów i energii w kosztach produkcji. W cenie detektora (średnio ok. 1000 USD za szt.) sprzedawana jest przede wszystkim myśl techniczna i intelektualny dorobek zespołu.

Wśród szerokiego asortymentu oferowanych przez firmę detektorów dominują niechłodzone lub słabo chłodzone termoelektrycznie detektory średniej ( $3 - 5,5 \mu\text{m}$ ) i dalekiej ( $8 - 14 \mu\text{m}$ ) podczerwieni do różnorodnych zastosowań. Aktualnie najważniejszym zastosowaniem ich jest technika wojskowa. Znaczna ich ilość znajduje wszakże zastosowanie do budowy spektrofotometrów fourierowskich, sterowania urządzeniami laserowymi, konstrukcji urządzeń antykolizyjnych, bezkontaktowych pomiarów temperatury itp.



Rys. 2. Przekrój monolitycznego fotorezystora immersyjnego.

Firma oferuje zarówno detektory fotoprzewodzące, jak i fotowoltaiczne, które dzięki oryginalnej, trójwymiarowej architekturze przerwy energetycznej mogą działać w temperaturze pokojowej. To ostatnie rozwiązanie zostało uznane za najlepszy produkt optoelektroniczny wprowadzony na rynek światowy w 1995 r., za co amerykańskie czasopismo *Photonics Spectra* przyznało firmie w rok później prestiżową nagrodę „The Photonics Circle of Excellence Award”. Był to pierwszy w 9-letniej historii nagrody przypadek uznania osiągnięć firmy spoza grona krajów wysokorozwiniętych. Wśród laureatów znalazły się także IBM, Bell Labs, Eastman Kodak, Philips, Xerox i inni.



Rys. 3. Immersyjne detektory promieniowania podczerwonego: a) niechłodzone fotorezystory przeznaczane do pracy w szerokim pasmie częstotliwości, b) niechłodzone fotorezystory pracujące przy częstotliwościach do 30 MHz, c) chłodzone termoelektrycznie fotorezystory i detektory fotowoltaiczne [6].

Ostatnio wysiłek zespołu koncentruje się na badaniach nad technologią wytwarzania wieloelementowych detektorów liniowych sprzężonych z optyką binarną. Technika ta pozwoliłaby na osiągnięcie niespotykanych dotąd parametrów niechłodzonych detektorów wieloelementowych.

## 6. Reorientacja zarządzania w okresie przejścia do gospodarki rynkowej

Powszechnie głoszone poglądy na temat potrzeby głębszej prywatyzacji we wszystkich dziedzinach życia gospodarczego wcześniej czy później dotkną także, przynajmniej w części, środowisko naukowe. Załączkiem prywatyzacji w tym środowisku są prywatne szkoły wyższe, które z czasem dla utrzymania niezbędnego poziomu będą zmuszone do wypracowywania środków na własne badania naukowe. Zupełna komercjalizacja badań naukowych byłaby jednak trudna do wyobrażenia i bez wątpienia szkodliwa. Z drugiej jednak strony brak racjonalnych kryteriów wyboru kierunków badań, które należałoby finansować w sposób priorytetowy ze środków budżetowych powoduje, że efektywność takiego finansowania nauki jest niewielka.

Jak pisze A.H. Jasiński [2], w Wielkiej Brytanii istotną część środków budżetowych przeznaczonych na finansowanie badań i wdrożeń kierowana jest na pośrednie i bezpośrednie wspomaganie małych przedsiębiorstw innowacyjnych, powstałych z placówek naukowo-badawczych, które zajmują się badaniami stosowanymi oraz wdrażaniem do produkcji najnowszych osiągnięć technicznych. Przedsiębiorstwa takie stanowią źródło innowacji i nowych technologii dla całego przemysłu; pracujący w nich ludzie potrafią bowiem

przełożyć treść wyników badań na język inżyniera i dostosować je do potrzeb technologicznych.

Podobny cel przyświecał zapewne istniejącemu niegdyś w Polsce Urzędowi Postępu Technicznego i Wdrożeń. Niestety, urząd ten dość szybko przekształcono w Komitet Badań Naukowych, którego cele statutowe słabo przystają do zadań, jakie powinna wypełniać instytucja wspierająca rozwój firm innowacyjnych. Innej instytucji o lepiej dostosowanej strukturze niestety nie ma.

Analizując zaistniałą sytuację, zarząd VIGO-System podjął kroki dostosowawcze do nowych warunków ekonomicznych, kierując się doświadczeniami wyniesionymi z wieloletniej obecności na rynku światowym i uporczywie podnosząc kwalifikacje menedżerskie w drodze studiów literaturowych i podyplomowych. Sięgnięto po najlepsze wzory, poczynając od studium zarządzania zorganizowanego przez INSEAD (Europejski Instytut Zarządzania Gospodarką w Fontainebleau pod Paryżem), podyplomowe studia marketingu oraz szkolenie załogi na kursach. Zdobyta wiedza pozwoliła spojrzeć na zagadnienia gospodarki rynkowej z zupełnie nowej perspektywy. Radykalnej zmianie uległo nie tylko podejście do spraw zarządzania, sterowania produkcją, polityki kadrowej i gospodarowania posiadanymi środkami. Całkowitemu przewartościowaniu uległy cele firmy i sposób ich realizacji, spojrzenie na sposób rozliczania i przedstawiania stanu finansowego, wreszcie hierarchia ważności zadań. Doceniono rolę marketingu i podjęto kroki mające na celu podporządkowanie zadań firmy potrzebom rynku.

Z obowiązującej niegdyś orientacji produkcyjnej, kiedy głównym obiektem zainteresowania był wyrób, przekształcono firmę w przedsięwzięcie o orientacji marketingowej. Jej znamioną cechą jest organizacja całego procesu zarządzania, badań, rozwoju, produkcji i sprzedaży wyrobów w sposób podporządkowany potrzebom klienta. Kluczowym zagadnieniem w takim przypadku jest dobra znajomość potrzeb rynku, konkurencji, a także umiejętność antycypacji lub pobudzania nowych potrzeb. Dla sprostania tendencjom światowym w firmie podjęto prace nad wdrożeniem systemu zarządzania przez jakość ISO-9000.

Jakiś czas temu w krajach wysokoprzemysłowych stwierdzono, że konsekwencją rozwoju przemysłu jest nie tylko postępujące skażenie i degradacja środowiska, ale również nieuzasadnione

racjonalnymi potrzebami konsumentów marnotrawne postawy konsumpcyjne, które przejawiają się np. przedwczesną wymianą sprawnych jeszcze dóbr trwałego użytku. W związku z tym zostało wylansowane pojęcie marketingu społecznego. Orientacja ta jest nastawiona na kształtowanie postaw klientów sprzyjających ochronie środowiska naturalnego, oszczędności surowców nieodtwarzalnych i racjonalizacji procesów produkcyjnych, co w konsekwencji powinno przynieść poprawę jakości i komfortu życia w zdrowym otoczeniu. Bez wątplenia społeczna orientacja marketingowa ma szansę przyjęcia się w pierwszej kolejności w krajach zamożnych, gdzie świadomość zagrożenia rozwojem przemysłu i poziom życia uzyskały przewagę nad potrzebą zaspokojenia podstawowych potrzeb biologicznych mieszkańców. Wydaje się jednocześnie, że poglądy społeczeństw zamożnych ukształtowane pod wpływem społecznej orientacji marketingowej będą kolejną, nieformalną, ale trudną do przebrnięcia barierą dla krajów biedniejszych, usiłujących wejść na rynki światowe.

## 7. Nowa organizacja produkcji i sprzedaży oraz poszukiwanie produktu rynkowego

Zaniechano produkcji towarów nie rokujących perspektyw szybkiej sprzedaży. Produkcję podporządkowano wyłącznie bieżącym zamówieniom, tak aby nie gromadzić zapasów wyrobów gotowych. Zlikwidowano magazyny surowców, materiałów i części zapasowych, opierając się wyłącznie na bieżących dostawach, zamawianych z takim wyliczeniem i w takich ilościach, aby trafiły bezpośrednio do produkcji. Zrezygnowano z pośrednictwa państwowego biura handlu zagranicznego i utworzono własne biuro handlowe, zajmujące się kompleksową obsługą klientów, promocją wyrobów i doradztwem technicznym oraz pośrednictwem w handlu urządzeniami i podzespołami optoelektronicznymi renomowanych firm zachodnich. Podjęto gorączkowe poszukiwania masowego produktu rynkowego, zapewniającego płynność sprzedaży. Wreszcie z większą niż dotąd śmiałością podjęto próbę samodzielnej promocji firmy na rynkach zagranicznych przez udział w targach, wystawach i zamieszczanie informacji reklamowych w specjalistycznych pismach fachowych o zasięgu światowym.

Jednym z trudniejszych problemów firmy innowacyjnej produkującej dość jednolity i ograniczony asortyment wyrobów jest zachowanie płynności finansowej w okresie zdobywania rynków, w sytuacji braku długoterminowych kontraktów. Jest to związane z charakterystycznym dla każdego produktu cyklem rozwoju i życia na rynku [2]. Problem ten pogłębia się wówczas, gdy produkowane wyroby stanowią istotną nowość w skali światowej i ich ulokowanie na rynku wymaga przekonania klientów o celowości ich nabywania, a nadto pracy dydaktycznej nad klientami w celu nauczania ich, jak skutecznie wykorzystać cechy tych nowych produktów.

Jak pokazuje doświadczenie własne, poparte opiniami dystrybutorów i wynikami badań, wprowadzenie nowego wyrobu na rynek (mowa o wyrobie istotnie nowym) trwa przeciętnie od dwóch do trzech lat. Dla firmy innowacyjnej w polskich warunkach oznacza to konieczność znalezienia źródła finansowania badań, rozwoju i promocji produktu poza systemem bankowym. W praktyce oznacza to konieczność znalezienia inwestora albo podjęcia ubocznej, dochodowej działalności handlowej lub usługowej, która pozwoli przetrwać trudny okres [3].

Przeprowadzona we własnym zakresie analiza marketingowa SWOT [4], poparta wnikliwą obserwacją rynku, podsunęła pomysł wykorzystania posiadanego w dyspozycji sprzętu próżniowego do produkcji uszlachetnionych szkieł okularowych z powłokami antyrefleksyjnymi i filtrowymi oraz optyki profesjonalnej do zastosowań medycznych. Pomysł okazał się trafny, chociaż wprowadzenie tych nowoczesnych wyrobów na rynek wymagało wielkiego wysiłku zarówno w zakresie marketingu, jak i produkcji. Obecnie produkcja szkieł okularowych, dzięki przeznaczeniu dla masowego odbiorcy i relatywnie małym wahaniom popytu przy stałej tendencji zwykłej w dłuższym okresie czasu, jest czynnikiem stabilizującym płynność finansową firmy. W dziedzinie profesjonalnej optyki cienkowarstwowej posiadamy obecnie największy i najnowocześniejszy potencjał produkcyjny i badawczy w Polsce. Oprócz wyrobów rynkowych produkujemy również skomplikowane filtry interferencyjne dla techniki świetlnej, profesjonalnych urządzeń analitycznych, badawczych i medycznych. Znaczną część tej produkcji eksportujemy do krajów zachodnich. Średni czas opracowania

nowego zamówienia nie przekracza 4 tygodni. Podobne opracowania finansowane ze środków budżetowych w znanych nam zespołach badawczych w kraju trwają minimum rok.

Produkcja podzespołów optoelektronicznych (detektory podczerwieni) jest jednak wciąż wizytówką firmy zarówno w kraju, jak i za granicą.

Przeobrażenie firmy w jednostkę gospodarczą zorientowaną marketingowo spowodowało konieczność zaktywizowania działalności mającej na celu rozpoznanie potrzeb, promocję wyrobów, rozwój doradztwa technicznego i przyspieszenia rozpowszechniania innowacji [1,2]. Wybór aktualnych kierunków rozwoju produkcji w nowych warunkach gospodarowania był zatem nie tylko wynikiem historycznych zaszczości i merytorycznego przygotowania kadry, ale przede wszystkim analizy rynku na podstawie badań własnych i kontaktów z dystrybutorami.

Wieloletnia praktyka pokazuje, że samodzielna sprzedaż polskich produktów z dziedziny zaawansowanych technologii anonimowemu klientowi na rynkach zachodnich jest bardzo trudna. Tamtejszy klient ma ksenofobiczny stosunek do wyrobów wysokiej technologii „komunistycznego” pochodzenia (tak ciągle są postrzegane nasze kraje do dziś) i z trudnością akceptuje je z własnej woli.

Istotnym elementem marketingowej orientacji firmy jest taka organizacja produkcji, aby możliwa była szybka realizacja nietypowych zamówień klientów, często wymagających opracowania nowego, niestandardowego wyrobu zaprojektowanego na życzenie klienta (custom design product).

## 8. Rola klienta w kształtowaniu produktu

Twórca, a następnie producent nowego wyrobu stoi zazwyczaj przed alternatywą wyboru formy wprowadzenia wyrobu na rynek – lansować własny standard czy dostosować się możliwie jak najlepiej do standardów już istniejących. Odpowiedź nie jest prosta i zależy od wielu czynników. Z jednej strony, w przypadku innowacji istotnie nowych, o przełomowym charakterze (np. przejście od oświetlenia gazowego do elektrycznego, od gramofonu do magnetofonu, a potem do płyty kompaktowej z zapisem cyfrowym i wreszcie do magnetofonu cyfrowego, czy od kamery filmowej do kamery wideo z zapisem magnetycz-



nym), wprowadzenie własnego standardu może być niezbędne. Z drugiej jednak strony znane są w historii rozwoju techniki rewelacyjne wynalazki lub rozwiązania techniczne, które nigdy nie odniosły sukcesu rynkowego, bowiem pojawiły się nieco za późno lub nie pasowały do obowiązujących standardów i ich wprowadzenie wymagałoby zbyt wielkich nakładów związanych z koniecznością wymiany istniejącego sprzętu. Przykładem może być system rejestracji obrazu na taśmie magnetycznej, istotnie lepszy od VHS, jednak wynaleziony już po wdrożeniu do produkcji magnetowidów w systemie VHS i z tego powodu zbytkowany przez producentów sprzętu wideo.

Zatem wydaje się, że tworzenie nowych standardów wchodzi w rachubę jedynie w przypadku wielkich producentów, dostatecznie zamożnych aby stworzyć niezbędne dla swego wyrobu otoczenie techniczne silnie kotwiczące nowy wyrób w rzeczywistości. Pozostali producenci są zatem zmuszeni mniej lub bardziej dostosowywać swoje produkty do standardów już istniejących. Zjawisko to jest dość powszechnie obserwowane. Jeśli pominąć przykłady pirackiego naśladownictwa wyrobów, można dać wiele przykładów dążności producentów do zgodności nowych produktów ze starymi lub obowiązującymi standardami.

Kształtując nowy produkt w niedużej firmie innowacyjnej należy, moim zdaniem, wyzbyć się naturalnej skłonności wynalazcy do podporządkowania sobie świata. Forma, w jakiej nowy produkt pojawi się na rynku, powinna być precyzyjnie przemyślana i dostosowana zarówno do istniejącego otoczenia technicznego, jak i do upodobań i przyzwyczajzeń klienta. Znakomita większość klientów, nawet w środowiskach naukowych, cechuje się pewnego rodzaju wygodnictwem, przejawiającym się niechęcią do zbyt radykalnych zmian. Zaoferowanie wyrobu, nawet rewelacyjnego, jednak wymagającego zbyt daleko idącej przebudowy istniejącego otoczenia, zwykle spotyka się z dużą rezerwą potencjalnego klienta. Odkrycie przyzwyczajzeń klientów i dostosowanie się do obowiązujących standardów jest zatem podstawowym zadaniem twórcy nowego wyrobu. W tym m.in., ale nie tylko, przejawia się wpływ klienta na kształtowanie produktu. Dominująca rola klienta w kształtowaniu produktu ujawnia się w szczególności w przypadku produktów „zaprojektowanych na życzenie klienta”, kiedy to producent pro-

jektuje i wykonuje urządzenie dokładnie dostosowane do potrzeb klienta. Tego typu wyroby wymagają bardzo szczegółowych uzgodnień dotyczących formy i parametrów, bowiem zwykle muszą współpracować z już istniejącym u klienta systemem. Produkty „zaprojektowane na życzenie klienta” w zakresie optoelektroniki i optyki cienkowsarstwowej są specjalnością firmy VIGO.

## 9. W poszukiwaniu kapitału inwestycyjnego

W żywotnym interesie państwa powinna leżeć polityka proinnowacyjna, stymulująca nie tylko rozwój badań podstawowych, bez których w dłuższym okresie grozi uwiąd wszelkiego postępu, ale również rozwój badań stosowanych i nowoczesnych gałęzi przemysłu oraz firm aktywnie wdrażających konkurencyjne w skali światowej rozwiązania technologiczne. Praktyka kilkudziesięciu minionych lat wykazała całkowitą bezradność władz w tej dziedzinie. Lansowana w ostatnim czasie metoda nauki pływania przez wrzucenie na głęboką wodę dla wielu firm okazała się tragiczna w skutkach. Obszerną analizę form wspierania innowacyjności przez państwo w Wielkiej Brytanii przeprowadził A.H. Jasiński [2]. W jego opracowaniu przytoczonych jest wiele interesujących form pomocy instytucjonalnej, w tym finansowej, na jaką mogą liczyć firmy innowacyjne. W warunkach polskich, głównie ze względów politycznych, wciąż jeszcze preferuje się wspomaganie instytucji państwowych, często bez szans na przetrwanie.

Utrzymanie wysokiej pozycji na rynku światowym w dziedzinie zaawansowanych technologii wymaga znacznych nakładów na badania i rozwój. Takie same nakłady, wyrażone w procentach od obrotu lub zysku, w przypadku wielkiego koncernu i małej firmy w wartościach bezwzględnych różnią się kolosalnie. Zatem i możliwości badawcze firm różnej wielkości są nieporównywalne. Wydawałoby się, że wobec notorycznego braku rodzimego kapitału jedynym w polskich warunkach źródłem środków pozwalających na szybkie zwiększenie skali przedsięwzięcia innowacyjnego jest kapitał obcego pochodzenia lub alians kapitałowy z firmą o podobnym profilu zainteresowań. Doświadczenia VIGO-System pokazują, że mniemanie takie jest złudne. Nie tylko inwestorzy polscy (banki), ale również zagraniczni są skłonni

inwestować raczej w przedsięwzięcia wysokorentowne o szybkim zwrocie nakładów i niskim poziomie ryzyka. Według naszego rozeznania kapitał zachodni nie wspomógł w naszym kraju żadnego przedsięwzięcia z grupy zaawansowanych technologii. W tej sytuacji wydaje się, że w początkowym okresie niezłym rozwiązaniem jest wzajemne porozumienie o wspólnym przedsięwzięciu lub dzierżawa pomieszczeń i urządzeń od macierzystej jednostki, która z tego typu współpracy mogłaby czerpać w przyszłości środki wspomagające własną działalność. Takie rozwiązanie zapewnia jednocześnie dla powstającej firmy podtrzymanie niezwykle inspirujących kontaktów ze środowiskiem naukowym, z którego wyrosła.

## 10. Podsumowanie

Nowatorski pomysł na produkt to dzisiaj zbyt mało, aby ulokować się na rynku i spokojnie patrzeć w przyszłość. W warunkach rynku otwartego, do którego swobodny dostęp mają wszyscy producenci światowi, konieczna jest oparta o badania marketingowe, przemyślana promocja, zrozumienie mechanizmów rządzących zachowaniem klientów, bezustanne śledzenie zmian technologicznych i intensywne prowadzenie prac badawczo-rozwojowych, aby nie pozostać w tyle. Jest rzeczą wątpliwą, aby w obliczu ogromnej konkurencji koncernów światowych, pilnie strzegących swych interesów i nie zainteresowanych rozwojem najnowocześniejszych technologii w innych krajach, powiodła się koncepcja przeobrażenia Polski wzorem Korei Południowej czy Tajwanu w przemysłowego tygrysa Europy Wschodniej. Należy raczej oczekiwać, że pozostaniemy krajem, w którym kapitał zagraniczny będzie poszukiwał okazji do ulokowania uciążliwych dla środowiska technologii w przemyśle ciężkim i chemicznym (hutnictwo, celulozownie, cementownie, przemysł wydobywczy) oraz rynków zbytu dla własnej, nowoczesnej produkcji. Między bajki należy także włożyć tezę, że jesteśmy krajem atrakcyjnym dla zagranicznych partnerów dzięki taniej sile roboczej. W dobie automatyzacji i komputeryzacji sterowania procesami przemysłowymi rola siły roboczej gwałtownie spada, a w nieodzownych przypadkach tańszą od polskiej siłę roboczą można znaleźć w Azji, krajach Wspólnoty Niepodległych Państw lub w Ameryce Łacińskiej. Główną kartą przetar-

gową naszego kraju jest, w moim przekonaniu, dobrze wykształcona kadra. Oznacza to, że swojej szansy powinniśmy szukać w przedsięwzięciach wymagających dużego nakładu myśli technicznej. Jest rzeczą oczywistą, że nie sposób budować potencjału przemysłowego w kraju tak dużym jak Polska w oparciu o dziesiątki tysięcy firm innowacyjnych, z których każda na własną rękę znajdzie sobie swoją „niszę” na świecie. Należy jednak stymulować rozwój i wspomagać takie firmy, ponieważ są istotnym nośnikiem postępu technicznego.

Poparciem dla tej tezy jest historia istnienia firmy VIGO-System, która przetrwała niezwykle trudne chwile w okresie przebudowy zasad gospodarowania w Polsce, dzięki dużym nakładom na badania, elastyczności działania i reorganizacji zasad zarządzania. Niebagatelną rolę w utrzymaniu się firmy na rynku światowym odegrała nowa filozofia organizacji handlu, produkcji i kontaktu z klientem. Próba przekształcenia orientacji firmy z produkcyjnej na marketingową w dużej mierze powiodła się i chociaż jesteśmy w połowie drogi, rezultaty są wyraźnie odczuwalne. Mimo niemal niezmiennego od trzech lat stanu załogi, wyrażona w dolarach wartość produkcji i sprzedaży wzrasta o ok. 50% rocznie. Sprzedażą wyrobów firmy interesują się najwięksi światowi dystrybutorzy. Rośnie zaufanie producentów nowoczesnych urządzeń, wykorzystujących detektory naszej produkcji. Nawet krajowy przemysł obronny zaczyna budzić się z głębokiego snu.

Analiza historii rozwoju i przemian dostosowawczych, jakie zaszły w firmie VIGO-System w okresie burzliwych przeobrażeń ustrojowych i ekonomicznych w Polsce, pokazuje dowodnie, że obrany kierunek zmian był właściwy. Mimo wielu przeciwności i braku wsparcia ze strony instytucji państwowych, pozostawiona sama sobie nieduża firma innowacyjna przetrwała jako jedyna w krajowym kręgu upadającego przemysłu podzespołów elektronicznych dzięki podporządkowaniu organizacji zarządzania i produkcji wymaganiom rynku światowego. Złożyło się na to wiele czynników, z których najważniejsze to: znalezienie niszy na rynku, wysokie kwalifikacje merytoryczne załogi, sprawne zarządzanie, sprawna łączność ze światem, dobra znajomość języków obcych przez większość załogi i marketingowe zorientowanie firmy. Przyznać trzeba, że miała rolę ode-

grał także szczęśliwy zbieg okoliczności, chociaż było to szczęście uczciwie zapracowane.

W dalszej perspektywie wydaje się jednak, że zgodnie z poglądami prezentowanymi przez A.H. Jasińskiego [2], dla pobudzenia twórczej aktywności kadry inżynierskiej i naukowej w zakresie opracowań i wdrożeń nowoczesnych rozwiązań technicznych konieczne jest stworzenie rozsądnej polityki proinnowacyjnej, świadomie sterowanej przez państwo. Przedstawione przez A.H. Jasińskiego przykłady instrumentów ekonomicznych stosowanych w Wielkiej Brytanii dla stymulacji rozwoju firm innowacyjnych są godne rozważenia jako jedna z form instytucjonalnej pomocy dla rodzących się w kraju inkubatorów postępu technicznego i nowoczesności. Prace badawcze prowadzone w małych jednostkach innowacyjnych powinny być chociażby w części wspomagane przez państwo, bowiem ich rezultaty promieniują na wiele gałęzi przemysłu, a nie sposób w niewielkiej firmie wygospodarować dostatecznie dużo środków na samodzielne prowadzenie zaawansowanych badań.

Trudno sobie wyobrazić odniesienie sukcesu na wolnym rynku bez podporządkowania się zasadom, które na nim obowiązują. Stwierdzenie to dotyczy zwłaszcza drobnych uczestników gry rynkowej, którzy mają szczególnie wąskie pole manewru wobec konieczności znalezienia sobie niszy przy niewielkich na ogół możliwościach kapitałowych. W Polsce, w okresie nieprawdopodobnego bałaganu prawnego i ścierania się poglądów co do formy funkcjonowania państwa, te małe podmioty gospodarcze pozostawiono samym sobie. Postawiło to w kłopotliwej sytuacji przede wszystkim tych, których działalność z jednej strony obarczona jest dużą dozą ryzyka, z drugiej zaś leży w zakresie żywotnych interesów państwa. Mam tu na myśli firmy innowacyjne, od których, jak pokazuje doświadczenie krajów zachodnich [2], w dużej mierze zależy postęp techniczny i dopływ nowych rozwiązań do przemysłu. Przemysł, tradycyjnie dostosowany do masowej produkcji wyrobów, z natury rzeczy wykazuje znaczną iner-

cję wobec wytwarzania wyrobów jednostkowych oraz wprowadzania nowości wymagających zmian w ustalonym procesie technologicznym. Tę rzadką w przemyśle elastyczność działania i brak zahamowań przed produkcją małoseryjną, często wymagającą bardzo specjalistycznych kwalifikacji załogi, mają nieduże firmy innowacyjne. Dla skutecznego działania tych firm w większości przypadków konieczne jest jednak wsparcie ze strony państwa lub przemysłu. Wypracowanie środków pozwalających na utrzymanie firmy i prowadzenie niezbędnych badań koniecznych do zachowania konkurencyjności na rynku wymaga przekroczenia pewnej masy krytycznej [5], poniżej której nie sposób mówić o samofinansowaniu. Już wykonanie badań marketingowych z prawdziwego zdarzenia na ogół leży poza zakresem możliwości małej firmy, a są one przecież imperatywem rozsądnego inwestowania. Większość inwestycji w małych firmach w Polsce podejmuje się zatem intuicyjnie. Państwo i przemysł nie wypracowały jeszcze mechanizmów, które pozwoliłyby zagospodarować ogromny potencjał intelektualny własnej kadry inżynierskiej i wspomóc funkcjonowanie małych przedsiębiorstw innowacyjnych. Oczekiwanie, że będą się rozwijały same, na własne ryzyko, bez kapitału, jest taką samą naiwnością, jak pogląd, że Wuj Sam przyjedzie z workiem dolarów i zrobimy razem świetny interes.

## Literatura

- [1] R. Angelmar, „Product innovation: A tool for competitive advantage”, *European J. Operational Res.* 47, 182 (1990).
- [2] Andrzej H. Jasiński, *Przedsiębiorstwo innowacyjne na rynku* (Książka i Wiedza, Warszawa 1992).
- [3] A.I. Murray, C. Siehl, *Joint Ventures and Other Alliances* (Financial Executives Research Foundation, 1989).
- [4] John Westwood, *Marketing plan, czyli jak zdobyć klienta* (UP International, 1989).
- [5] H.I. Igor Ansoff, *Zarządzanie strategiczne* (PWE, 1985).
- [6] Katalog VIGO-System (Warszawa, 1996).

# Mojżesz Doliny Krzemowej\*

Michael Riordan

Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, California, USA

Lillian Hoddeson

University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA

---

## The Moses of Silicon Valley

*Abstract:* How did the epicenter of the semiconductor industry come to be located in California, a continent away from New Jersey, where the transistor was invented and most of the fundamental semiconductor technology was developed?

---

### 1. Wstęp

Przed 40 laty południowa część basenu Zatoki San Francisco była głównie rolniczą doliną, pełną brzoskwińskich sadów. Dziś region ten jest tętniącą życiem, światową stolicą najnowocześniejszej techniki, na którą – z uwagi na jej siły twórcze i produktywność – patrzą zazdrośnie rządy na całym świecie. W jaki sposób zaszła ta zadziwiająca przemiana technologiczna, i dlaczego Dolina Krzemowa leży na południe od San Francisco, a nie np. w północnej części stanu New Jersey, okolicach Bostonu lub w pobliżu Dallas?

Im bardziej zbliżamy się do Uniwersytetu Stanforda, tym więcej słyszymy o podstawowej roli, jaką w rozwoju Doliny Krzemowej odegrał Frederick Terman. Jako profesor, dziekan wydziału inżynierii i prorektor stworzył on w dolinie Santa Clara klimat rzeczywiście bardzo sprzyjający rozkwitowi przemysłu elektronicznego, zachęcając swe owieczki, by pozostały w regionie i założyły własne firmy, zamiast wyjeżdżać na wschodnie wybrzeże i szukać pracy w ówczesnych gigantach tego przemysłu. Odegrał on także klu-

czową rolę w założeniu na terenach uniwersyteckich Stanfordzkiej Strefy Przemysłowej (Stanford Industrial Park), stwarzającej świetne warunki dla nawiązywania ścisłych więzi między jego wydziałem inżynierii a osiadłymi tam firmami [1].

Jednakże to nie Terman dostarczył najważniejszego składnika – technologii krzemowej, która spowodowała fenomenalny rozwój doliny w latach 60. oraz 70. Technologia ta w połowie lat 50. powędrowała na zachód z niedużą grupą pionierów przemysłu, kierowaną przez Williama Shockleya, który niedługo przedtem, w końcu lat 40., wynalazł tranzystor wraz z Johnem Bardeenem i Walterem Brattainem, pracując w Laboratoriach Bella. Jak wynika choćby z niniejszego artykułu, to właśnie ta grupa śmiazków wprowadziła krzem do Doliny Krzemowej.

### 2. German czy krzem

Pierwsze tranzystory – a ok. 10 lat później także pierwsze obwody scalone – nie były wytwarzane z krzemu, lecz germanu, pierwiastka spowinowaconego z krzemem, który w układzie

---

\*Artykuł, opublikowany w *Physics Today* 50, nr 12, 42 (1997) i oparty częściowo na książce Michaela Riordana i Lillian Hoddeson *Crystal Fire: the Birth of the Information Age* (W.W. Norton, New York 1997), został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission. Copyright ©1997 by American Institute of Physics. The article is drawn in part from the book by Michael Riordan and Lillian Hoddeson *Crystal Fire: the Birth of the Information Age*, published by W.W. Norton, New York (1997).] (przyp. Red.).

okresowym leży tuż pod nim. Istniały ważne powody takiej kolejności, m.in. dużo większa łatwość oczyszczania i ogólnie obróbki germanu oraz większa ruchliwość elektronów i dziur w tym materiale. Pierwsze tranzystory przeznaczone na sprzedaż produkowały właśnie z tego pierwiastka takie giganty elektroniki, jak General Electric, Raytheon i RCA, oraz mniejsze firmy, jak Transatron oraz Texas Instruments. Już w roku 1955 tranzystory germanowe stosowano powszechnie w aparatach słuchowych, przenośnych radiodiodach, przełącznikach telefonicznych oraz wojskowym sprzęcie telekomunikacyjnym.

Jednakże german ma wadę wrodzoną, która ograniczała dalsze zastosowania – jego przerwa energetyczna ma szerokość zaledwie 0,67 eV, w porównaniu z wyraźnie większą wartością 1,1 eV dla krzemu. Parametry tranzystorów germanowych pogarszają się gwałtownie ze wzrostem temperatury, ponieważ elektrony mogą zbyt łatwo opuszczać swe macierzyste atomy, w wyniku czego zrównoważone warstwy p i n szybko zaczynają tonąć w morzu swobodnych elektronów. Powyżej ok. 75°C tranzystory germanowe w ogóle przestają działać. Owe ograniczenia okazały się cechami niezwykle kłopotliwymi dla producentów sprzętu radiowego, a zwłaszcza użytkowników wojskowych, którym zależało na niemal niezawodnym działaniu w skrajnych warunkach.

Doceniając wagę problemu, bossowie przemysłu z początku lat 50. pracowali intensywnie nad opracowaniem technologii tranzystorów krzemowych. W firmie Texas Instruments wyprodukowano pierwsze seryjne tranzystory krzemowe już w roku 1954, o ponad rok wcześniej niż u konkurencji, a w Laboratoriach Bella opracowano technikę lepszego oczyszczania łatwiej topliwego krzemu i osadzania mikrometrowych warstw domieszek w płytkach tego materiału metodą dyfuzji gazowej [2]. Na początku 1955 r. naukowcom z Bell Labs w Murray Hill w stanie New Jersey udało się wyprodukować pierwsze tranzystory krzemowe, w których bardzo cienkie warstwy domieszek, umożliwiające działanie tych tranzystorów przy częstościach większych od 100 MHz, zostały wytworzone metodami dyfuzyjnymi. Nowe techniki były tak obiecujące, że Jack Morton, dyrektor działu rozwoju tranzystorów w Bell Labs, ogłosił w końcu marca 1955 r., że począwszy od tego dnia „u Bella przyszły prace nad tranzysto-

rami i diodami będą się opierały na krzemie jako materiale i dyfuzji jako technologii” [3].

### 3. Misja Shockleya

Chociaż Shockley odgrywał czołową rolę w pobudzaniu takiego postępu badań, to gdy one się toczyły, sam nie pracował już w Laboratoriach Bella, lecz korzystał z długoterminowego urlopu naukowego. Gdy na początku 1954 r. dobiegł końca jego pobyt w charakterze profesora-gościa w Caltechu (czyli Politechnice Kalifornijskiej – J.G.), pojechał do Waszyngtonu, by objąć stanowisko dyrektora naukowego Zespołu ds. Analizy Systemów Broni (Weapons Systems Evaluation Group), elitarnej grupy cywilnych naukowców, których zadaniem było doradzanie Szefom Połączonych Sztabów w sprawach dotyczących opracowywania najnowocześniejszych rodzajów broni.

Shockley utrzymywał jednak ścisłe kontakty z Bell Labs za pośrednictwem telefonu i poczty, dzięki czemu wiedział natychmiast o wszystkich najnowszych wydarzeniach z dziedziny technologii krzemowej. „AHW mówi, że Morrie Tann związał AlSb z Al” – czytamy w tajemniczym zapisku pod datą 23 marca 1955 r. w jego zielonym notesie; pisze tam o tranzystorze, dopiero co wyprodukowanym metodą dyfuzji atomów glinu i antymonu do płytki krzemowej [4], zaś „Morrie Tann” to Morris Tanenbaum, który stworzył pierwszy tranzystor krzemowy z wdyfundowaną bazą (rys. 1). Parę dni wcześniej Shockley pomógł naszkicować notę, wysłaną z jego podpisem do ścisłego kierownictwa Bella i nawołującą do przyznania środków na nowy program otrzymywania krzemu o wysokiej czystości. Zaczynała się ona od słów:

„Otrzymane ostatnio wyniki doświadczalne pokazują, że dziś znana jest już metoda, dzięki której będzie można przygotować krzem o czystości wystarczającej dla wszystkich obecnie przewidywanych zastosowań i potrzeb naukowych. Jest to nowa sytuacja; jeszcze przed około miesiącem nie było podstaw, by wierzyć, że jakakolwiek opracowywana metoda będzie mogła osiągnąć ten wysoki pożądaný cel” [5].

Shockley dusił się za biurkiem w Pentagonie; tęsknił za przemysłem, którego mechanizmy działania znał dużo lepiej. Jednakże powrót do Bell Labs traktował z dużą rezerwą – chciał rozpocząć

działalność na własny rachunek. „Niedocen. przez szefów, czy to ważne?” – mówi charakterystyczna notatka z 30 marca 1955 r. w jego notesie. Tuż nad nią inna uwaga, która świadczy o gorączce stanu jego ducha w tym czasie: „Chęć podboju świata, ojciec dumny” [5].

Już od kilku lat Shockley rozmyślał nad kwestią, w jaki sposób najlepiej byłoby zorganizować firmę zakorzenioną głęboko w nauce i technice. Miał mocne przekonanie, że ludzie najbardziej twórczy w Bell Labs – także on sam – nie byli wynagradzani adekwatnie do wartości, które wnosili. Była to jedna z przyczyn – argumentował – że Laboratoria traciły część swych najlepszych naukowców, jak John Bardeen, Charles Kittel i Gordon Teal, na rzecz uniwersytetów oraz innych firm. Korzystając ze swych doświadczeń operacyjnych z II wojny światowej, Shockley opracował kryteria wartości, oparte na indywidualnych liczbach patentów i publikacji. Koncepcje te stały się intelektualnym podłożem studium zatytułowanego „O rozkładzie statystycznym indywidualnych cech produktywności w laboratoriach naukowych”, które referował na kilku konferencjach i które w końcu opublikował w 1957 r. [6].



Rys. 1. Pionierzy techniki: (od lewej) Calvin Fuller, Carl Frosch i Link Derick. To oni opracowali w Laboratoriach Bella krzemową technologię domieszkiwania dyfuzyjnego i maskowania tlenkowego. W tle jeden z pierwszych pieców dyfuzyjnych, szeroko wykorzystywany w ich badaniach (zdjęcie z archiwów AT&T).

Na początku kwietnia 1955 r. Shockley postanowił, że nadszedł już czas wprowadzić swoje pomysły w życie. Tuż przed wyruszeniem w długą podróż do Europy zadzwonił do znajomych dyrektorów pracujących w firmach Raytheon oraz Texas Instruments z zapytaniem, czy byliby zainteresowani współpracą nad utworzeniem przedsiębiorstwa działającego na jego zasadach i zajmującego się wyłącznie technologią półprzewod-

ników. Propozycja wywołała zachwyt, ponieważ Shockleya powszechnie uważano za najważniejszą postać fizyki półprzewodników, lecz jego negocjacje z obiema firmami załamały się na początku czerwca. Po drugiej rundzie dyskusji z innymi firmami Shockley stracił cały miesiąc na rozmowach z towarzystwem kapitałowym Laurence’a Rockefellera, starając się namówić jego właściciela na zawarcie umowy. Również te próby nie przynosiły żadnego wyniku. Jednakże pod datą 29 lipca 1955 r. widnieje w jego zielonym notesie wiele mówiący zapisek: „Zadzwoń do Arnolda Beckmana”.

#### 4. Przeprowadzka do Kalifornii

Beckman i Shockley znali się od lat jako absolwenci Caltechu z tego samego rocznika. Beckman, który wykładał chemię na tej uczelni w latach 30., był zarówno dobrym naukowcem, jak i dobrze prosperującym biznesmenem. Wynalazłszy miernik pH, utworzył niewielkie przedsiębiorstwo, które miało produkować i sprzedawać mierniki tego typu. W połowie lat 50. firma Beckman Instruments zatrudniała ponad 2 tysiące ludzi w USA, Kanadzie i RFN; specjalizowała się ona w wytwarzaniu przyrządów analitycznych do kontroli procesów przemysłowych.

Shockley przyleciał do Los Angeles pod koniec sierpnia 1955 r. i zamieszkał w pokoju klubu „Balboa Bay” w sielskim miasteczku Newport Beach. Przez niemal tydzień obaj panowie prowadzili luźne, niespieszne dyskusje na luksusowym terenie klubowym lub w siedzibie firmy w pobliskim Fullerton. Po upływie owego tygodnia uzgodnili rzeczy podstawowe, a prawnik Beckmana napisał wstępną wersję listu intencyjnego. „Proponujemy natychmiastowe podjęcie energicznych działań, związanych z półprzewodnikami – czytamy w liście. – Rozważany projekt wstępny obejmuje rozwój środków zautomatyzowanej produkcji tranzystorów z wdyfundowaną bazą” [7].

Ciągle otwarta była jeszcze kwestia, gdzie ulokować nowy dział firmy Beckman Instruments. Beckman wołał lokalizację w południowej Kalifornii, natomiast Shockley preferował okolice zatoki San Francisco, gdzie się wychowywał i gdzie ciągle jeszcze mieszkała jego matka. Gdy Terman dowiedział się, że Shockleya interesuje ten region, napi-

sał do niego: „Pańskie plany rozpoczęcia niezależnej działalności badawczo-rozwojowej w dziedzinie tranzystorów (...) są bardzo ciekawe. Z wielką przyjemnością zapraszamy Pana do podjęcia jej na terenach Uniwersytetu Stanforda” [8].

Obaj wyznawali podobną filozofię naboru pracowników; Shockley nazywał ją wyszukiwaniem „rozpalonych głów”, a Terman „budowaniem wież doskonałości” [9]. Na początku października 1955 r. Shockley rozpoczął łowy na wybitnych naukowców i inżynierów, z którymi pracował niegdyś w Bell Labs, w tym Rossa, a Terman wspierał go w perswazjach. Jednakże po zaledwie miesiącu wszyscy odrzucili oferty, utrzymując, że wolą pozostać w New Jersey. Gdy po dziesiątkach lat zapytano Rossa, czemu żaden z nich nie podjął pracy w firmie Shockleya, odparł krótko: – Za dobrze go znaliśmy! [10].

Tak więc Shockley spędził następnych kilka miesięcy przemierzając samolotami kontynent północnoamerykański w poszukiwaniu najbardziej błyskotliwych kandydatów na współpracowników, jakich mógł znaleźć w innych firmach, a także wśród doktorantów, kończących swe rozprawy na najlepszych uniwersytetach – ludzi, którzy podobnie jak on sam mieli silną motywację, by publikować artykuły naukowe i opracowywać patenty. Jednym z tych, którzy podobali mu się najbardziej, był Gordon Moore, fizykochemik z Caltechu, prowadzący podówczas badania struktury płomieni w Laboratorium Fizyki Stosowanej im. Johnsa Hopkinsa pod Waszyngtonem. Innym był Robert Noyce, fizyk wykształcony w MIT, pracujący w firmie Philco nad rozwojem tranzystorów wysokoczęstotliwościowych. „To było tak, jakbyś podniósł słuchawkę i zaczął rozmawiać z Panem Bogiem – Noyce wspominał po latach swą pierwszą rozmowę z Shockleyem. – Był on zdecydowanie najważniejszą osobą w elektronice półprzewodników” [11].

Shockley poddał wszystkich swoich ewentualnych pracowników zabójczemu ostrzałowi pytań, których celem była ocena ich zdolności twórczych. Musieli potem jeszcze przetrzymać rundę testów psychologicznych, które m.in. miały określić ich iloraz inteligencji oraz umiejętność pracy w zespole. Wszystko to stanowiło część planu naszkicowanego w artykule „O rozkładzie statystycznym indywidualnych cech...” [6], który służył jako projekt jego przedsiębiorstwa:

– zatrudnić możliwie najlepszych naukowców oraz inżynierów i zaoferować im najwyższe zarobki wypłacane w przemyśle;

– jeśli będą spędzać tylko połowę swego czasu przy pracy nad konstrukcją urządzeń praktycznego użytku, a resztę na publikowaniu artykułów i patentowaniu wyników, będzie to wciąż jeszcze wysoce opłacalna inwestycja.

Przez całą pierwszą połowę 1956 r. nowe przedsiębiorstwo – Shockley Semiconductor Laboratory – powstawało w zaadaptowanym baraku wojskowym z blachy falistej pod numerem 391 przy South San Antonio Road w kalifornijskim Mountain View, na skraju dawnej bazy wojskowej, przekształcanej w centrum handlowe. Wyglądało bardziej na skład części samochodowych niż na potencjalne miejsce narodzin nowego, najnowocześniejszego przemysłu. Shockley wynajął tę zakurzoną halę za 325 dolarów miesięcznie, by służyła jako tymczasowa kwatera, dopóki nie zostanie ukończona budowa nowej siedziby na bardziej zadrzewionych terenach Stanfordzkiej Strefy Przemysłowej. Nim czerwiec dobiegł końca, najważniejsza część kadry technicznej, składająca się z ok. tuzina ludzi, w tym Moore’a i Noyce’a, była już na miejscu. Tylko kilku z nich przekroczyło trzydziestkę.

Resztę roku spędzili na budowaniu aparatury i opanowywaniu technik obróbki krzemu, koniecznych do produkcji tranzystorów: urządzeń do hodowli kryształów, pieców dyfuzyjnych, technik trawienia. Niektóre z tych procesów technologicznych były łatwe do opanowania dzięki informacjom, które wcześniej udostępniły Laboratoria Bella podczas cyklu trzech roboczych seminariów, zorganizowanych dla przedsiębiorców wykonujących zamówienia dla wojska i posiadaczy licencji patentowych. W styczniu 1957 r. Noyce, który wciąż jeszcze był pracownikiem firmy Philco, wziął udział w ostatnim z tych seminariów poświęconym technikom dyfuzyjnym.

Jednakże technologia krzemu sprawiała ciągle wiele problemów, przy których rozwiązywaniu nowe przedsiębiorstwo Shockleya korzystało obficie z jego bliskich więzi z dawnym pracodawcą. Pod koniec 1956 r. Beckman nabył licencję patentową na produkcję tranzystorów; wkrótce potem firma AT&T, właściciel Laboratoriów Bella, aby osiągnąć ugodę z Departamentem Sprawiedliwości, który wcześniej pozwał ją do sądu na podsta-

wie ustawy antytrustowej, musiała – obok innych ustępstw – uczynić owe prawa licencyjne własnością publiczną. Jednakże AT&T przezornie zatrzymała prawa do pewnych kluczowych patentów technologicznych, których ściśle strzegła i które udostępniała tylko posiadaczom licencji. A wraz z licencją uzyskiwało się łatwy dostęp do ogromnych zasobów technologii półprzewodnikowej Bell Labs. Shockley często udzielał swym dawnym kolegom rad przez telefon, a oni nierzadko latali nad Zatokę, by bezpośrednio konsultować się z nim i jego załogą. Dzięki temu powstająca technologia krzemu stopniowo torowała sobie drogę przez północnoamerykański kontynent.

Jaskrawy przykład owego procesu transferu technologii zawiera list (rys. 2), który dotarł na South San Antonio Road 391 w drugiej połowie grudnia 1956 r., wysłany przez inżyniera zajmującego się licencjami patentowymi w Western Electric Company, dziale produkcyjnym AT&T. Dołączony był doń raport techniczny o pozornie niewinnym tytule „Ochrona powierzchni i selektywne maskowanie podczas dyfuzji w krzemie”, napisany przez Carla Froscha i Linka Dericka z Bell Labs. Był to kluczowy artykuł na temat technologii – odkrytej przypadkowo przez obu autorów na początku 1955 r. – wytwarzania na powierzchni krzemu (podczas dyfuzji) szklistej, ochronnej warstwy tlenku. Raport opisywał techniki wytrawiania misternych wzorów w tej powłoce tlenkowej i wykorzystywania ich jako maski, chroniącej przed dalszą dyfuzją śladowych domieszek do krzemu. Gdy we wrześniu 1957 r. artykuł ukazał się w *Journal of the Electrochemical Society*, Shockley wraz ze swym zespołem myślał już nad najskuteczniejszymi sposobami zastosowania nowej technologii [12].

## 5. Wybuch rewolucji

Raport Froscha i Dericka dotarł do baraku zaraz po powrocie Shockleya z szeroko relacjonowanej podróży do Szwecji, gdzie wręczono mu Nagrodę Nobla z fizyki za rok 1956, którą otrzymał wspólnie z Bardeenem i Brattainem; było to wydarzenie, które z pewnością stanowiło apogeum działalności nowego przedsiębiorstwa (rys. 3). Powrócił z baśniowej atmosfery Sztokholmu do znacznie bardziej przyziemnego świata zarządzania biznesem i zabiegów o zdobycie zysków.

DEC 24 1956

**Western Electric Company**  
195 BROADWAY NEW YORK 7, N. Y.  
WOJWA 4-2100

December 14, 1956

Dr. W. Shockley  
SHOCKLEY SEMICONDUCTOR LABORATORY OF  
BRIDGMAN INSTRUMENTS, INC.  
391 So. San Antonio Road  
Mountain View, California

Dear Dr. Shockley:

Enclosed is a copy of a paper entitled, "Surface Protection and Selective Masking During Diffusion in Silicon", by Messrs. C. J. Frosch and L. Derick of the Bell Telephone Laboratories. Reprint 1063

I trust that this article will be of value to you in your semiconductor work.

Very truly yours,

*A. T. David*  
A. T. DAVID  
Patent License Engineer

Enc.

Please route to:

Julius Blank *JB*

Sam Brown *SB*

Sam Fok *SF*

Victor Grinich *VG*

William Hopp *WH*

John Hupp *JH*

Samuel Hershey

Sinton-Jones

Eugene Kloiber *EK*

Dean Rhaipic

Jay-Lest *JL*

Gordon Moore *GM*

*Linka Derick*

*Carl Frosch*

*Chih-Tung Sah*

a)

b)

### Surface Protection and Selective Masking during Diffusion in Silicon

C. J. Frosch and L. Derick

Bell Telephone Laboratories, Inc., Murray Hill, New Jersey

#### ABSTRACT

An apparatus is described for the vapor-solid diffusion of donors and acceptors into silicon at atmospheric pressure. It consists essentially of a fused silica tube extending through one or more controlled temperature zones. A gas such as nitrogen, carries the vapors from the heated impurity element or one of its compounds past the heated silicon.

At temperatures above about 1000°C, gases such as helium or nitrogen are shown to cause serious pitting or erosion of the silicon surfaces. A thin vitreous silicon dioxide envelope enclosing the silicon during the high temperature heating operation is shown to provide complete protection of the underlying surface against damage. Methods of obtaining surface passivation are described.

In addition to surface protection, a silicon dioxide surface layer also is shown to provide a selective mask against the diffusion into silicon of some donors and acceptors at elevated temperatures. Data are presented showing the masking effectiveness of the silicon dioxide layer against the diffusion of several donors and acceptors into silicon.

The application of the masking technique to produce precise surface patterns of both n- and p-type is described. An example of its feasibility in device considerations is illustrated by the construction of a transistor by double diffusion. This transistor is unique in that both the emitter and base contacts are made at the surface in adjacent areas.

Finally a new predeposition technique is described for controlling the impurity levels in diffused layers over wide ranges. Data are presented to illustrate this technique.

c)

Rys. 2. Transfer technologii. (a) List przewodni z Western Electric Company (filii produkcyjnej AT&T) do Shockleya, powiadamiający go o artykule Froscha i Dericka, poświęconym maskowaniu tlenkowemu. (b) Lista obiegowa, dołączona później do właściwego listu, świadczący o tym, że najważniejsi członkowie kadry technicznej przeczytali artykuł. (c) Tytuł i streszczenie artykułu opublikowanego we wrześniu 1957 r. w *Journal of the Electrochemical Society* (Archiwa Uniwersytetu Stanforda).

Z powodów, których możemy się tylko domyślać, Shockley stracił zainteresowanie dla początkowego celu, postawionego przed firmą – produkcji tranzystorów krzemowych metodą dyfuzji. Zaczął natomiast skupiać swą energię na układach,





Rys. 3. Kadra Shockley Semiconductor Laboratory wznosi toast za swego szefa podczas lunchu nazajutrz po ogłoszeniu wiadomości o Nagrodzie Nobla za 1956 r. Są to ludzie, którzy sprowadzili technologię krzemu z Laboratoriów Bella do Kalifornii. Gordon Moore siedzi pierwszy od lewej strony; Robert Noyce stoi czwarty od lewej, a Jay Last – pierwszy od prawej strony, tuż obok Williama Shockleya, siedzącego u szczytu stołu (zdjęcie udostępnione przez Intel Corporation).

które należały podówczas do awangardy półprzewodnikowych badań rozwojowych, jak tranzystor polowy oraz dioda czterowarstwowa, zwana często diodą Shockleya. Ten układ o dwóch przyłączach miał cztery różne warstwy (p-n-p-n) w cienkim (40–100  $\mu\text{m}$ ) skrawku krzemu. Przy pewnym przyłożonym napięciu elektrycznym, zwanym napięciem przebicia, przez diodę zaczynał nagle płynąć prąd, powodując zamknięcie obwodu. Był to zadziwiająco prosty, miniaturowy przełącznik półprzewodnikowy, który pełnił taką samą rolę, jak niewielki obwód złożony z dwóch tranzystorów, dwóch oporników i diody. Dla Shockleya było to spełnienie marzenia, które dyrektor naukowy Laboratoriów Bella, Mervin Kelly, zaszczylił mu 20 lat wcześniej.

Choć koncepcja diody Shockleya była błyskotliwa, niezwykle trudno było ją wytwarzać w sposób powtarzalny i niezawodny. Jej produkcja wymagała „dokładnej kontroli niemal każdej znanej właściwości materiału i powierzchni półprzewodnika”, jak zauważył pewien inżynier z Bell Labs [13]. Trzeba było z wielkim nakładem wysiłku wypolerować obustronnie daną płytkę krzemową, tak by obie powierzchnie były z dużą dokładnością wzajemnie równoległe, a następnie starannie wprowadzić domieszki do płytki z obu stron. Brak precyzji oznaczał, że dyfundujące domieszki wnikały na nieregularną, nieprzewidywalną głębokość, co prowadziło do dużych odchyleń napięcia przebicia oraz innych ważnych parametrów układu.

Noyce, Moore oraz inni członkowie kadry technicznej uważali, że produkcja takich diod była o wiele za trudna, aby ich młoda firma mogła się za nią brać na aktualnym etapie rozwoju. Przyjechali do Kalifornii, by wytwarzać tranzystory krzemowe, których technologia – jako układów trójwarstwowych – była znacznie łatwiejsza. – Firma powinna skoncentrować się początkowo na takim celu – dowodzili – i wprowadzić produkt na rynek. Dopiero gdy odniesie sukces, będą mogli zająć się trudniejszą sprawą opanowania technologii wytwarzania układów czterowarstwowych.

Sytuacja uległa znacznemu pogorszeniu, gdy niektórzy spośród członków jego zespołu zaczęli czuć się urażeni autorytarnym stylem zarządzania firmą przez Shockleya. Po kilku nieprzyjemnych incydentach zaczął on cichcem badać przeszłość paru spośród swoich ludzi, a ponadto złośliwie zbeształ jednego z fizyków, Jaya Lasta, co przypadkowo słyszało wielu jego kolegów. Niektórzy z kluczowych pracowników przejawiali skrajne niezadowolenie i byli gotowi do odejścia.

Przesilenie nastąpiło w połowie maja 1957 r., gdy na spotkanie z Shockleyem i jego zespołem przyjechał Beckman, by omówić problemy działu i ułożyć plany na przyszłość. W całej firmie Beckman Instruments, a zwłaszcza w Shockley Semiconductor Lab, wydatki na badania rozwojowe wymykały się spod kontroli. Należało coś zrobić, by zapanować nad sytuacją. Jednakże propozycje Beckmana stały się dla Shockleya kamieniem obrazy; wybiegł z sali, krzycząc: – Jak ci się nie podoba to, co tu robimy, mogę zabrać cały zespół i dostać pieniądze gdzie indziej! [14].

Ale oprócz Shockleya nikt nie wyszedł z sali. Jego wybuch zapoczątkował serię wydarzeń, która we wrześniu doprowadziła do odejścia ośmiu czołowych współpracowników. Początkowo Beckman próbował na drodze mediacji znaleźć sposób, by wszyscy mogli dalej pracować razem w przyjaznej atmosferze. zaproponował sprowadzenie z jednego z pozostałych działów swego przedsiębiorstwa energicznego dyrektora administracyjnego, który przejąłby praktyczne zarządzanie filią. Shockley miałby pozostać jej tytularnym prezesem, lecz kierowałby jedynie projektem produkcji diody czterowarstwowej.

Jednakże menedżer o silnej osobowości nie pojawił się, a w lipcu Beckman zmienił zdanie. Znalazł się dyrektor administracyjny, lecz Shockley

zachował kontrolę nad laboratorium. W tym momencie pracownicy-dysydenci zaczęli szukać innej pracy, zdając sobie sprawę, że ich posady wiszą na bardzo cienkim włosku. – Mieliliśmy wtedy poczucie, że całkowicie spaliliśmy za sobą mosty – twierdził Moore – i że nie ma sposobu, byśmy mogli zostać w firmie [14].

Gdy Shockley powrócił z bardzo potrzebnego już urlopu, spędzonego w Woods Hole w stanie Massachusetts, dowiedział się, że lada chwila wybuchnie rewolucja. Parę dni później Noyce, Moore, Last oraz kilku innych czołowych członków jego kadry technicznej podało się do dymisji. To wydarzenie, jedno z kluczowych w historii przemysłu półprzewodnikowego, jest odnotowane niezwykle lakonicznie w innym notiesie Shockleya: „Śr. 18 wrz. – Zespół odchodzi” [15].

## 6. Narodziny Doliny Krzemowej

Zbiorowe odejście zabrało twórczy rdzeń firmy i pozostawiło Shockleyowi jedynie niewielką grupkę pracującą nad diodą czterowarstwową. Już następnego dnia, 19 września 1957 r., ośmiu byłych współpracowników – których nazywał podobno „zdradziecką ósemką” – podpisało kontrakt z firmą Fairchild Camera and Instruments Co. z Nowego Jorku, planującą specjalizację w układach raketowych i satelitarnych, która zgodziła się wyłożyć 1,3 miliona dolarów w ciągu następných 18 miesięcy. W październiku nowe przedsiębiorstwo wynajęło dwupiętrowy budynek pod numerem 844 przy Charleston Road w Palo Alto, zaledwie o nieco ponad milę na północ od baraku z wojskowego demobilu.

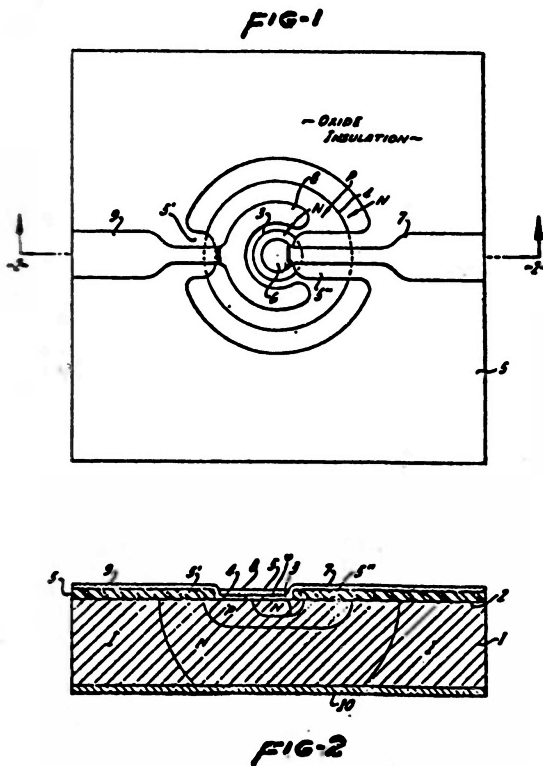
Jeszcze w tym samym miesiącu Związek Radziecki umieścił na orbicie pierwszego sztucznego satelitę z serii „Sputnik”. Granicząca z histerią amerykańska reakcja na to wydarzenie niemal z dnia na dzień stworzyła nowy rynek dla miniaturowych układów elektronicznych wysokiej częstotliwości, których produkcję firma Fairchild Semiconductor planowała uruchomić. W niecały rok później nowa firma wysyłała do klientów pierwsze tranzystory krzemowe z wdyfundowaną bazą. Pod koniec roku 1958 zaczynała już przynosić zyski.

Mniej więcej w tym samym czasie szwajcarski fizyk Jean Hoerni – jeden ze zdradzieckiej ósemki – wynalazł „planarny” proces technolo-

giczny, który miał zrewolucjonizować przemysł półprzewodników. Zamiast wytwarzać tranzystor o niebezpiecznie odsłoniętych złączach n-p, które z łatwością mogły ulegać zanieczyszczeniu, postanowił osadzać je pod ochronną warstwą dwutlenku krzemu, o której przeczytał w raporcie Froscha i Dericka, gdy pracował w Shockley Lab. Kilka miesięcy później Noyce wymyślił, jak włączyć tę metodę do całego procesu technologicznego produkcji obwodów scalonych (rys. 4). Cho-

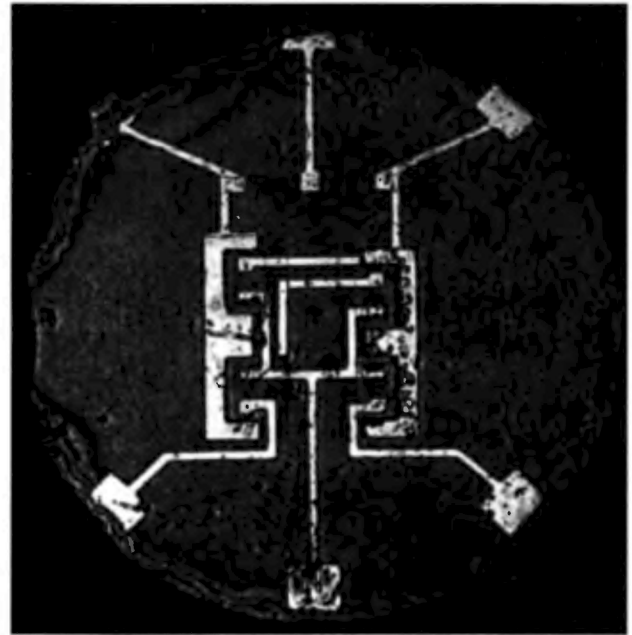
kie obwody scalone i mikroprocesory wytwarza się z krzemu metodą osadzania całych miriadów złącz p-n pod warstwą tlenku, w dużej mierze w taki sam sposób, jak w pionierskich układach Hoerniego i Noyce'a.

April 25, 1961 R. N. NOYCE 2,981,877  
 SEMICONDUCTOR DEVICE-AND-LEAD STRUCTURE  
 Filed July 30, 1959 3 Sheets-Sheet 1



INVENTOR  
 ROBERT N. NOYCE  
 BY *Leifman, Rabin*  
 ATTORNEYS

Rys. 4. Patent na obwód scalony. Reprodukacja pokazuje pierwszą stronę patentu Noyce'a z roku 1961 na obwód scalony. Noyce zastosował planarny proces technologiczny do wytwarzania złącz p-n pod warstwą powierzchniową dwutlenku krzemu (oznaczoną na rysunkach cyfrą 5).



Rys. 5. Narodziny nowej technologii. Zdjęcie pokazuje jeden z pierwszych obwodów scalonych, wydrukowany na płytce krzemowej w laboratorium firmy Fairchild Semiconductor. Zawiera on dwa tranzystory, połączone w obwodzie przerzutnika dwustabilnego.

Shockley walczył dalej wraz ze swą firmą aż do połowy lat 60., koncentrując się na diodzie czterowarstwowej, lecz nigdy nie osiągnął zysków (rys. 6). Beckman poddał się w 1960 r. i sprzedał cały dział firmie Clevite Transistor, która z kolei w 1965 r. sprzedała pozostałości koncernowi ITT. Gdy Shockley wreszcie ustąpił ze stanowiska dyrektora w roku 1963, Terman szybko go zwerbował i obsadził na profesorskiej katedrze im. Alexandra M. Poniatoffa na Wydziale Inżynierii i Nauk Stosowanych Uniwersytetu Stanforda. Pozostał na niej do końca życia; zmarł w 1989 r. na raka prostaty.

Mimo wszystkich ogromnych zasług dla przemysłu półprzewodnikowego Shockleyowi nigdy nie było dane osiągnąć sukcesu finansowego, do którego dążył. Ściągnął „masę krytyczną” pierwszorzędnych naukowców i inżynierów w okolicy Stanfordu i pozwolił im po raz pierwszy zakosztować smaku krzemu i metod dyfuzyjnych. Opuścili jego walczące o przeżycie laboratorium, by zapoczątk-

ciał to Jack Kilby z Texas Instruments wynalazł obwód scalony sześć miesięcy wcześniej, planarna metoda Fairchilda okazała się do tego stopnia lepsza, że wkrótce potem cały przemysł półprzewodników przyjął ją jako najlepszy sposób produkcji (rys. 5). Obecnie praktycznie wszyst-

kować oszałamiającą serię nowych firm półprzewodnikowych i przekształcić jałową, senną dolinę w największą na naszej planecie krynicy bogactwa, a w tym procesie transformacji stworzyć wielu milionerów i co najmniej jednego miliardera.



Rys. 6. Widok zaplecza firmy Shockley Semiconductor Laboratory ok. roku 1960.

Terman uprawiał bogate pola, obsiane przez Shockleya żyznym ziarnem, z którego rozkwitła Dolina Krzemowa – ośrodek najbardziej lukratywnego przemysłu w dziejach. Lecz wskutek zrzędzenia losu i swego własnego uporu Shockley nigdy nie dostał się do tej Ziemi Obiecanej. Właśnie dlatego ochrzciliśmy go mianem, zaproponowanym przez Fredericka Seitz, jego starego przyjaciela i towarzysza podróży: Mojżesz Doliny Krzemowej [16].

Źłumaczył Jerzy Gronkowski  
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW  
Warszawa

#### Literatura

[1] Odnośnie do dyskusji roli Termana w stworzeniu Doliny Krzemowej, por. S.W. Leslie, *The Cold War and American Electronics: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford* (Columbia Uni-

versity Press, New York 1993), rozdz. 2. Patrz także S.W. Leslie, R. Kargon, *Business Hist. Rev.* 70, 1 (1996).

- [2] I.M. Ross, *Physics Today* 50, nr 12, 34 (1997).
- [3] A.E. Anderson, R.M. Ryder, „Development History of the Transistor in the Bell Telephone Laboratories and Western Electric (1947–75)”, nie publikowany manuskrypt, Archiwa AT&T (bez daty), s. 51.
- [4] W. Shockley, „Memorandums” (dzienniki osobiste, 1955–56), *Prace Shockleya*, Archiwa Uniwersytetu Stanforda, lista katalogowa 95-153, poz. 2B.
- [5] W. Shockley, „An Urgent Recommendation for the Silicon Program – Case 38139-7”, wewnętrzna nota Laboratoriów Bella, 21 marca 1955 r., *Prace Shockleya*, Archiwa Uniwersytetu Stanforda, lista katalogowa 90-117, poz. 2.
- [6] W. Shockley, *Proc. IRE* 45 (3), 279 (1957).
- [7] A. Beckman, list do W. Shockleya, 3 września 1955, Archiwa Uniwersytetu Stanforda, lista katalogowa 95-153, poz. 2B.
- [8] F. Terman, list do W. Shockleya, 20 września 1955, *Prace Termana*, Archiwa Uniwersytetu Stanforda, poz. 48, plik 8.
- [9] H. Lowood, wstęp do *Prac Termana*, Archiwa Uniwersytetu Stanforda. Patrz także S.W. Leslie, odnośnik [1].
- [10] I. Ross, rozmowa telefoniczna z M. Riordanem, 23 września 1996 r.
- [11] T.R. Reid, *The Chip: How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution* (Simon and Schuster, New York 1984), s. 73.
- [12] C.J. Frosch, L. Derick, *J. Electrochem. Soc.* 104, 547 (1957).
- [13] W.J. Pietenpol, *Bell Laboratories Record*, czerwiec 1958 r., s. 202.
- [14] W. Shockley, cytowany przez G. Moore’a w wywiadzie udzielonym L. Hoddeson i M. Riordanowi, 11 stycznia 1996 r. (zapis odpowiednich fragmentów można otrzymać od L. Hoddeson i M. Riordana).
- [15] W. Shockley, „Golden West Theme Book” (dzienniki osobiste, 1956–57), *Prace Shockleya*, Archiwa Uniwersytetu Stanforda, lista katalogowa 95-153, poz. 2B, s. 58.
- [16] F. Seitz, wywiad udzielony L. Hoddeson i M. Riordanowi, 26 września 1992 r. (zapis odpowiednich fragmentów można otrzymać od L. Hoddeson i M. Riordana).

## XI Sympozjum im. Maksa Borna

Na przełomie lat 60. i 70. istniejąca już wcześniej współpraca naukowa między Sekcją Teoretyczną Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Lipsku a Instytutem Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego uzyskała pewną stabilność, wyrażającą się m.in. w organizowaniu dwa razy do roku wspólnych seminariów, odbywających się na przemian w Lipsku i Wrocławiu. Seminariów tych było łącznie 32, a ostatnie odbyło się w listopadzie 1988 r. Chcąc kontynuować te owocne kontakty w zmienionych warunkach politycznych, a jednocześnie włączyć do nich istniejącą także współpracę wrocławskich fizyków z innymi ośrodkami niemieckimi w zachodnich krajach (landach), postanowiono w 1991 r. odnowić ideę seminariów. Początkowo miały to być seminaria polsko-niemieckie, a na patrona wybrano Maksa Borna, niemieckiego, a od 1936 r. brytyjskiego fizyka, urodzonego i wykształconego we Wrocławiu, który także tutaj rozpoczął karierę naukową, ukoronowaną w 1954 r. Nagrodą Nobla z fizyki. Pierwsze seminarium nosiło jeszcze nazwę „Max Born German-Polish Symposium”, następne jednak Sympozja stały się międzynarodowymi, gdzie wykładcami i uczestnikami byli fizycy z całego świata [wspomnienie Zygmunta Galasiewicza o Seminariach Wrocław-Lipsk i Sympozjach Maksa Borna zamieścimy w jednym z następnych zeszytów *Postępów Fizyki* – Red.]. Tematyka sympozjów nie jest ograniczona do określonego działu fizyki, lecz odzwierciedla zainteresowania naukowe pracowników Instytutu Fizyki Teoretycznej UWr. Zasadą jest krótki czas trwania (3 lub 4 dni), udział wysokiej klasy uczonych zagranicznych i polskich oraz młodych fizyków nie tylko z Polski. Celem jest z jednej strony umożliwienie, zwłaszcza młodym pracownikom IFT, bezpośredniego zapoznania się z najnowszymi osiągnięciami w danej dziedzinie fizyki, z drugiej zaś strony, możliwość osobistego kontaktu z ludźmi, którzy te osiągnięcia tworzą. Wobec znacznego, niemal lawinowego wzrostu liczby szkół i konferencji organizowanych na świecie, pozyskanie wysokiej klasy wykładców nie jest sprawą prostą. Jednak zarówno Sympozja Maksa Borna, jak i organizowane przez IFT UWr Zimowe Szkoły Fizyki Teoretycznej w Karpaczu zyskały sobie już stałe i bardzo wysokie miejsce w nieoficjalnym rankingu międzynarodowych imprez naukowych.

W dniach 20–24 maja 1998 r. odbyło się w Łądku Źródłu kolejne sympozjum o numerze XI. Jest to już drugie Sympozjum poświęcone zagadnieniom dyfuzji, tym razem dotyczące tzw. zjawisk anomalnych. Jego dyrektorami byli: niżej podpisany oraz dr hab. Ryszard Kutner z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego, jeden z czołowych fizyków warszawskich, zajmujący się od lat dyfuzją w materii skondensowanej.

Współcześnie prowadzone badania nad dyfuzją anomalną dotyczą w pierwszym rzędzie procesów niegaus-

sowskich, czyli np. procesów Lévy'ego, bądź ogólnie takich, których propagatory spełniają niegaussowskie prawa skalowania. Za ich pomocą próbuje się wyjaśnić np. rolę rzadkich zdarzeń w procesach stochastycznych. Jak wiadać, obecnie prowadzone prace wykraczają poza kanoniczną teorię dyfuzji Ficka czy też teorię liniowej odpowiedzi, a nawet poza tradycyjnie rozumianą fizykę statystyczną. Dotyczy to w dużej mierze zjawisk zachodzących w ośrodkach niejednorodnych (nieuporządkowanych), jak np. różnego rodzaju zjawiska perkolacyjne (typowym przykładem może być przesączenie się ropy przez porowate skały); odnosi się to także do ewolucji układów dynamicznych wykazujących zachowanie chaotyczne lub do układów znajdujących się z dala od stanu równowagi (jak np. zjawisko starzenia się szkła zachodzące poniżej punktu przejścia do stanu szklistego). Ponieważ procesy dyfuzyjne obecne są w bardzo wielu dziedzinach fizyki i życia codziennego, zrozumienie mechanizmów dyfuzji, zwłaszcza nieliniowej, ma duże znaczenie praktyczne i poznawcze.

Coraz większym zainteresowaniem cieszą się obecnie na świecie badania interdyscyplinarne. Po długim okresie wąskiej specjalizacji i kategoriycznych podziałów na biologię, chemię, fizykę itp., nadszedł obecnie okres łączenia się tych dyscyplin naukowych. Fizyka, jako nauka o podstawach struktury materii i jej organizacji, gra tu bardzo ważną rolę. Także i procesy dyfuzyjne wykorzystywane są do opisu zjawisk pozornie nie związanych z fizyką, takich jak ewolucja biologiczna, dynamika łańcuchów DNA czy fluktuacje notowań giełdowych lub kursów walut. Między innymi problemy tego typu stanowiły tematykę wykładów na XI Sympozjum.

Dla ilustracji podajemy kilka wygłoszonych wykładów: J.-P. Bouchaud z Paryża, „Dynamika intermitencji i proces starzenia się szkła”; F. Brochard z Paryża, „Łańcuchy DNA w obecności silnych przepływow”; M. Droz z Genewy, „Fronty oraz tworzenie się struktur w dyfuzji w obecności reakcji chemicznej”; P.G. de Gennes z Paryża, „Przepływy powierzchniowe materii granulowanej”; K. Kehr z Jülich, „Nieliniowa ruchliwość hoppingowa cząstek w asymetrycznym potencjale w obecności silnego zewnętrznego pola”; J. Kertesz z Budapesztu, „Dyfuzja w materii granulowanej”; J. Klafter z Tel Awiwu, „Dyfuzja niebrownowska w układach złożonych”; R. Kutner z Warszawy, „Hierarchiczne sprzężenie czasoprzestrzenne w błędzeniach fraktalnych”; H.E. Stanley z Bostonu, „Czy fizyka statystyczna może dać wkład do ekonomii?”; H. Teitelbaum z Bar-Ilan, „Diagnozowanie z wykorzystaniem dyfuzji fotonów – od oddychania mózgu do tłuszczu w atlantyckich łososiach”; Ł.A. Turski z Warszawy, „Jak topologiczny nieporządek wpływa na prostą dynamikę”.

Wykładcami na XI Sympozjum było 32 fizyków – 10 z Niemiec, 6 z Francji, 3 z Izraela, po 2 z Polski, Szwajcarii, USA, Holandii oraz po 1 z Danii, Grecji, Wę-

gier, Ukrainy i Anglii. Pozostali uczestnicy również pochodzili z wielu krajów, głównie europejskich, choć większość z nich to Polacy.

Po zakończeniu Sympozjum, jeden z wykładowców, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1991 r., prof. Pierre Gilles de Gennes z Paryża, pozostał przez dwa dni we Wrocławiu jako gość Uniwersytetu Wrocławskiego i wygłosił wykład dla szerszej publiczności na temat nowych stanów materii. Następnie gościł przez kilka dni na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie przedstawił popularny wykład, dotyczący fizykochemicznych własności sztucznej muskulatury.

Wykłady wygłoszone podczas Sympozjów im. Maxa Borny wydawane są zazwyczaj przez renomowane firmy wydawnicze. Tym razem będzie to prestiżowa seria *Lecture Notes in Physics* w wydawnictwie Springer.

Sponsorami XI Sympozjum były: Uniwersytet Wrocławski, Uniwersytet Warszawski, Komitet Badań Naukowych, Komitet Fizyki PAN, Fundacja W. i E. Heraeusów z Niemiec oraz Fundacja Batorego.

Szczegółowe informacje o Sympozjum można znaleźć w Internecie na stronie <http://www.ift.uni.wroc.pl/~mborn11>.

Andrzej Pękalski

Instytut Fizyki Teoretycznej UWr  
Wrocław

## X Międzynarodowa Szkoła Wzrostu Kryształów

Było dotychczas tradycją, że wspólnie z ogromną międzynarodową konferencją wzrostu kryształów (ICCG), odbywającą się co trzy lata, w tym samym miejscu organizowana była szkoła wzrostu kryształów dla młodszego pokolenia uczonych. Tym razem tradycja została złamana. Międzynarodowa Konferencja Wzrostu Kryształów odbyła się w Jerozolimie (Izrael) w dniach 26 – 31 lipca 1998 r., natomiast Szkoła Wzrostu Kryształów odbyła się w czerwcu we Włoszech, we wspaniałej nadmorskiej miejscowości Rimini. Głównymi organizatorami byli dr Roberto Fornari (Instytut CNR-MASPEC w Parmie) oraz prof. Carlo Paorici (Wydział Fizyki Uniwersytetu w Parmie), a wszystkiemu patronowała Międzynarodowa Organizacja Wzrostu Kryształów. Szesnastu wykładowców spędziło wspólnie z pięćdziesięcioma słuchaczami niemal tydzień (1 – 6 czerwca 1998 r.), ucząc się, rozmawiając i bawiąc.

Obecni byli światowej sławy uczeni. Prof. F. Rosenberger z Uniwersytetu stanu Alabama w Huntsville (USA) poprowadził niezwykle interesujące wykłady na temat krystalizacji białek. Były tam zawarte podstawy, ale były też najnowsze osiągnięcia – prosto z zaciśnięcia laboratoryjnego. W trakcie tych wykładów dochodziło często do żarliwych dyskusji między wykładowcami, ale nowości zawsze są kontrowersyjne. Prof. D.T.J. Hurle z Uniwersytetu w Bristolu (W. Brytania) przedstawił zagadnienia

dotyczące stabilności morfologicznej, a prof. A.A. Chernov z Universities Space Research Association and NASA Marshall Space Flight Center w Huntsville (USA) opowiedział o wzroście kryształów z atomistycznego punktu widzenia. Tematyka Szkoły była szeroka. Bardzo jasno przedstawiono podstawy termodynamiki i zasady projektowania procesów wzrostu kryształów (P. Rudolph, Niemcy), następnie zagadnienia dotyczące wzrostu kryształów z roztopu (G. Müller, Niemcy), wzrostu kryształów z roztworu (H.J. Sheel, Szwajcaria), z fazy gazowej (M. Piechotka, Szwajcaria) oraz gwałtownej „solidyfikacji” (S.U. Campisano, Włochy). Pokazano, jaką rolę może pełnić grawitacja w procesie wzrostu kryształów (K.W. Benz, Niemcy), jak prowadzić komputerowe symulacje tego procesu (J.J. Derby, USA). Kilka wykładów poświęconych było zagadnieniom wzrostu cienkich warstw: metodą epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) (S. Franchi, Włochy; A. Pimpinelli, Francja), epitaksji z fazy gazowej (VPE) i epitaksji przez rozkład związków metaloorganicznych (MOVPE) (N. Lovergine, Włochy) oraz modelowaniu wzrostu kryształów w reaktorach do epitaksji (S. Carrá, Włochy). Jeden wykład poświęcony był również charakteryzacji defektów w kryształach (H. Klapper, Niemcy), a także wygłoszono jeden niezwykle interesujący wykład na temat znaczenia wzrostu kryształów w naukach o ziemi (A. Baronnet, Francja).

Już drugiego dnia Szkoły w celu bliższego zapoznania wykładowców z ich słuchaczami urządzono tzw. „ramp session”, w czasie której uczestnicy Szkoły mieli możliwość przedstawienia wyników swoich badań, każdy w ciągu rygorystycznie przestrzeganych 3 minut. Sesje były dwie, oddzielone 15-minutową przerwą, w czasie której dla polepszenia nastroju można było wypić lampkę wina z prof. Rosenbergerem lub kieliszek szampana z innym wybranym wykładowcą lub słuchaczem. Sesja pierwsza obejmowała zagadnienia związane z półprzewodnikami, druga – z kryształami tlenkowymi i ich charakteryzacją. O dziwo, do rozpoczęcia obu sesji zostały wyznaczone polskie referaty, co wydało mi się dużym wyróżnieniem na tak międzynarodowym polu. A uczestnicy byli naprawdę ze wszystkich kontynentów (wyłączając jedynie Antarktydę).

Trzeciego dnia Szkoły wszyscy mieli możliwość uczestniczenia w wycieczce do nadzwyczajnego miejsca, jakim jest Rawenna. Mozaiki Rawenny, słynne na całym świecie, naprawdę zapierają dech w piersiach. Miłośnicy krytalografii mogą być zachwyceni symetrią ukrytą w mozaikach na podłogach, aczkolwiek to ścienne mozaiki są bardziej znane i cenione. Z ciekawostek, które opowiedziała przewodniczka, dowiedzieliśmy się, że w pewnym okresie głównym restauratorem mozaik w Rawennie był niejaki pan Kibel (tu polskie grono za każdym razem wybuchało śmiechem), który ulepszał historię i wkładał w ręce ludzi świętych, przedstawionych na mozaikach, przedmioty, których tam wcześniej nie było. Te zmiany zawsze były raczej mało logiczne.

Po wycieczce został zorganizowany wystawny obiad w małej miejscowości pomiędzy Rawenną a Rimini, ale

najpierw wszyscy zostali wprowadzeni do bardzo obszernej piwnicy, pełnej przeogromnych beczek, gdzie odbyła się degustacja miejscowego młodego wina przy wtórce „chóru” niemieckich turystów, którzy w tej piwnicy spędzili już ponad godzinę.

Kilka ciekawostek ze Szkoły: prof. Rosenberger chodził na bosaka, prosto z plaży do hotelu; prof. Müller fantastycznie śpiewał arie operowe; prof. Baronnet wygłosił jeden z najbardziej fascynujących wykładów; hasłem Szkoły okazało się zdanie „You have to pay”, do którego nawiązywali po pierwszym razie już wszyscy wykładowcy, za każdym razem wzbudzając ogólną wesołość. Prof. Rosenberger poprowadził ostatni w swoim życiu wykład (tak przynajmniej zapowiada), gdyż przechodzi na emeryturę i przestanie zajmować się zagadnieniem wzrostu kryształów; wiadomość ta przyjęta została z ogólnym żalem. Wszyscy uczestnicy mieszkali w bardzo eleganckim hotelu „Continental”, ale włoskie obiady były dla niektórych nie do przelknięcia ze względu na różnego rodzaju żyłtka, znajdujące się na talerzu, które – aczkolwiek ugotowane

– wyglądały tak, jakby w każdej chwili mogły ugryźć. Wykładów było dużo i wszystkie naprawdę interesujące, dlatego uczestnicy Szkoły, nie chcąc opuszczać wykładów, musieli dokonywać często bolesnego wyboru: plaża czy obiad.

W zgodnej opinii uczestników Szkoła była bardzo dobrze zorganizowana, wykłady zawierały ABC aspektów związanych ze wzrostem kryształów oraz elementy nowości – często nigdzie jeszcze nie publikowanych badań. Dużym sukcesem organizatorów było wręczenie uczestnikom, jeszcze na początku Szkoły, obszernej książki, zawierającej treść wszystkich wykładów i napisanej w bardzo przystępny sposób: *Theoretical and Technological Aspects of Crystal Growth*, Materials Science Forum, t. 276-277 (1998).

Była to ostatnia szkoła z tej serii w tym tysiącleciu.

Dorota Pawlak

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych  
oraz Wydział Chemii UW  
Warszawa

---

---

## RECENZJE

---

---

### Makroświat, mikroświat i ludzki umysł

Roger Penrose, z udziałem Abnera Shimony'ego, Nancy Cartwright i Stephena Hawkinga: *Makroświat, mikroświat i ludzki umysł*, z jęz. angielskiego przełożył Piotr Amsterdamski, Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, s. 181, cena 15 zł.

Każda książka, wynik przemyśleń pisarza bądź naukowca, ma swój czas, a przynajmniej szansę trafienia w ten szczególnie okres, gdy ktoś jeszcze poza autorem może być poruszony jej treścią. Z pewnością *Nowy umysł cesarza*, autorstwa Rogera Penrose'a, pomijając koturn merkantylizmu (przykładem takiego koturnowego sukcesu, mało związanego z rzeczywistą wartością dzieła, jest *Krótką historia czasu* S. Hawkinga), był i nadal jest pozycją znaczącą. Pomimo faktu, że rozdział o tajemnicy kwantowej magii jest bliższy Gamowowi (*Pan Tompkins w Krainie Czarów*) niż rozważaniom z nie udostępnionej dotąd polskiemu czytelnikowi (ale też znacznie trudniejszej) książki M.P. Silvermana *More Than One Mystery*. Z tej perspektywy niedawno opublikowany (1997) i błyskawicznie przetłumaczony *Makroświat, mikroświat i ludzki umysł* Rogera Penrose'a wydaje mi się propozycją chybioną.

Reklamowa informacja na okładce mówi o elementarnym wprowadzeniu w świat idei Rogera Penrose'a, wybitnego fizyka matematycznego i matematyka, o „podsumowaniu jego prowokacyjnej wizji fizyki teoretycznej XXI w. łączącej w sobie naukę o Wszechświecie, cząstkach elementarnych, pracy mózgu i ludzkim umyśle”. Tymczasem adresatem książki zapewne miał być stały

czytelnik-entuzjasta dzieł Penrose'a, bo wcześniejszy kontakt z *Nowym umysłem cesarza* oraz *Shadows of the Mind* powinien poprzedzać ewentualny kontakt z *Makroświatem...*, którego wartość poznawcza jest nieporównywalnie mniejsza.

Co gorsza, język dyskursu (przykładowo – aktualizacja potencjalności w teorii kwantów, zbiór zmysłowych modalności, charakter kontyngentny, emergencja, forma mentalności), w tym oczywiste anglicyzmy, których nie udało się uniknąć tłumaczowi P. Amsterdamskiemu, znacząco zawęża krąg adresatów książki.

Można oczywiście przyjąć, że gwarantem sukcesu komercyjnego na rynku anglosaskiej książki popularnonaukowej jest połączenie nazwisk Penrose'a i Hawkinga, okraszone komentarzami filozofów nauki – A. Shimony'ego i Nancy Cartwright. Ale czy trzeba ten mechanizm bezkrytycznie przenosić na grunt polski? Nie uzasadniają tego same polskie tropy (odwołania do B. Mielnika w rozdz. 7).

Problem nieobliczalności i niealgorytmiczności w funkcjonowaniu ludzkiej świadomości frapował Penrose'a już wcześniej i kluczowe rozdziały *Nowego umysłu cesarza* oraz *Shadows of the Mind* są temu poświęcone. Inne spojrzenie na te problemy oferuje choćby *Człowiek Turinga* Boltera czy *Zdumiewająca hipoteza* Cricka. Tyle że tamci autorzy nie starają się włączyć modeli kosmologicznych i teorii kwantów jako koniecznych elementów dla zrozumienia zjawisk umysłowych (patrz „psychologia kwantowa” A. Shimony'ego), ani nie podzielają poglądu, że kwantowa teoria grawitacji to element fizyki umysłu.

Rozdział 3 książki zatytułowany „Fizyka i umysł” jest zdecydowanie najciekawszy poznawczo, może dlatego, że związki świata fizycznego z umysłowym są w rzeczywistości realizowane na poziomie elementarnej teorii liczb oraz przez typowe sytuacje szachowe jako zadania dla świadomego mózgu w przeciwieństwie do komputera.

Pozostaje pytanie, czy trzeba dowodów na niealgoritmiczność procesów świadomych, by dojść do wniosku, że „prawdziwa teoria grawitacji okaże się teorią nieobliczalną”, czy intencja Autora była dokładnie odwrotna.

Pierwsze dwa rozdziały są poświęcone światu fizycznemu i matematycznym regułom, które go opisują, niestety zawężonym do misteryjnej strony fizyki (kosmologia i kwanty). Rozdział trzeci nieznacznie wyszedł poza tę właśnie ezoteryczną sferę wyobrażeń. Dało to rażące, w porównaniu z poprzednimi książkami, zubożenie perspektywy i całkiem słuszne pytanie Nancy Cartwright „dlaczego fizyka?”.

Redukowanie chemii i biologii, nie mówiąc o problemie świadomości czy duszy, do „czystej” fizyki jest z pewnością uproszczeniem zbyt daleko idącym. Zwłaszcza że w rozważaniach Penrose’a Wielkim Nieobecnym był praktycznie cały współcześnie intensywnie rozwijany dział fizyki i nie tylko fizyki – badania złożoności w zjawiskach nierównowagowych.

Z tego punktu widzenia „zastrzeżenia bezwstydnego redukcjonisty” S. Hawkinga są tyleż efekciarskie, co „bezwstydnie” niepoprawne. Długi *passus* o mózgu dżdżownicy, jej inteligencji i nieskomplikowanej drodze ewolucyjnej do mózgu ludzkiego skłania do przypomnienia zoologii pierścienic (okołoprętkowy zwój nerwowy w każdym segmencie jako punkt wyjścia do darwinowskiej ewolucji jest chyba obrazą Darwina).

Wynik powszechności redukcjonistycznych postaw badawczych w rozwoju nauki wydaje się narzucać poszukiwanie opisu materii wyłącznie w języku kolektywnych oddziaływań atomów, molekuł czy jeszcze bardziej pierwotnych elementów rzeczywistości – może to być nawet „zupa kwarkowo-gluonowa” jako substytut *praoceanu Oparina*. Współcześnie popularyzowane „teorie wszystkiego”, które mają się realizować poprzez zejście do kolejnych poziomów „podstawowych” (subatomowych teorii strun, superstrun, topologicznych modeli czasoprzestrzeni i tym podobnych) opierają się na złudnej mitologii uniwersalności – nadziei istnienia kilku fundamentalnych praw Przyrody, które mają stanowić przyczynę całej złożoności otaczającego nas świata czy ostatecznie Wszechświata.

To wszystko pozostaje w głębokiej sprzeczności z prowadzonymi od ponad 100 lat badaniami dynamicznych źródeł nieodwracalności – wspólnym kluczowym problemem współczesnej chemii, fizyki, biologii czy filozofii (magiczna „strzałka czasu”).

Zderzenie postmodernistycznego (by użyć modnego obecnie pojęcia) paradygmatu naukowej iluzji z wypracowanym i stale poszerzającym swój zasięg zastosowań paradygmatem badań złożoności nie pozostawia złudzeń co do praktycznej bezwartościowości modeli otaczającego nas świata, które nie podejmują analizy tego, jak złożoność i samoorganizacja struktur mogą (i czy mogą?) przejawiać się w różnych skalach: mikroskopowej, makroskopowej i kosmicznej.

Zrozumienie roli powstawania i ewentualnego wzrostu entropii w zjawiskach nierównowagowych urasta do rangi naukowego posłannictwa. Druga zasada termodynamiki i wynikające z niej (wskutek przyjęcia XIX-wiecznej termodynamiki równowagowej za ostateczną teorię) przekonanie o czekającej Wszechświat śmierci cieplnej jest wsparte wiarą, że fluktuacje implikują wyłącznie nieodwracalny nieporządek. Problem funkcjonowania drugiej zasady termodynamiki w sytuacji nierównowagowej jest zasadniczy dla zrozumienia, jak układy złożone (w tym organizmy żywe) mogą spontanicznie powstawać ze stanów o małym stopniu uporządkowania, a następnie podtrzymywać swoje istnienie wbrew ogólnej tendencji wzrostu entropii.

Ten obszar tematyczny, wykraczający poza tradycyjnie zarezerwowany dla fizyki obszar stosowalności, był zaledwie zasygnalizowany w *Nowym umyśle cesarza*, a jest całkowicie nieobecny w *Makroświecie...* Najpiękniejsze ilustracje (takich rysunków jest w książce wiele) bezużyteczności rozważania superpozycji kwantowych „stanów” kota Schrödingera nie zastąpią uświadomienia potrzeby zmiany paradygmatu poznawczego.

Zarówno *Nowy umysł cesarza*, jak i *Makroświat...* przełożył na język polski P. Amsterdamski. W przypadku drugiej książki praca translatorska nosi cechy pewnego pośpiechu, ponieważ bez sięgnięcia po słownik angielsko-polski można mieć kłopoty ze zrozumieniem tłumaczenia. Brak redakcyjnych (bądź pochodzących od Tłumacza) objaśnień utrudnia bezkolizyjne przebrnięcie przez przejęte niemal dosłownie z angielskiego tekstu pojęcia w rodzaju: *emergencja*, *emergencja* (*emergence*), *modalność* (*modality*), *kontyngentność* (*contingence* to przecież przypadkowość), nie mówiąc o wcześniej wspomnianej „aktualizacji potencjalności”. Zgrzytają „reguły superselekcji” (nadwyboru), a oczywistym błędem jest na s. 134 (rysunek i tekst) omówienie „filmu wodnego”, gdzie naprawdę chodziło o otoczkę (błonekę) wodną w sensie „thin film”. Zdarzają się też takie *passusy*, jak „delikatne wprowadzenie do teorii” (s. 10) lub „jednymi zajmuje się taka nauka, innymi – owaka” (s. 162), które mogą być odbierane równie zgrzytliwie.

Piotr Garbaczewski  
Instytut Fizyki WSP  
Zielona Góra



## PTF

### Zmiana w Zarządzie Głównym

Wobec dłuższego wyjazdu za granicę Wojciech Gawlik zrezygnował z funkcji członka Zarządu Głównego PTF. Na jego miejsce ZG dokooptował Jacka Turnaua (Kra-ków).

### PTF wobec projektów reformy systemu edukacji

Z chwilą pojawienia się propozycji kompleksowej reformy systemu edukacji Polskie Towarzystwo Fizyczne zajęło aktywne stanowisko w tej tak ważnej dla naszego kraju sprawie.

Już w trakcie trwającego we wrześniu 1997 r. XXXIV Zjazdu Fizyków Polskich sformułowano „List otwarty do Ministerstwa Edukacji Narodowej w sprawie projektu reformy programów nauczania”, w którym, doceniając w pełni konieczność gruntownej reformy nauczania, wyrażono niepokoje oraz zgłoszono konkretne propozycje związane z analizą dokumentu „Podstawy programowe obowiązkowych przedmiotów ogólnokształcących”. List ten został wręczony już aktualnemu Ministrowi, prof. M. Handkemu, i omówiony na specjalnym spotkaniu Ministra z Prezesem i Sekretarzem Generalnym PTF.

Po ukazaniu się w I kw. 1998 r. nowego opracowania MEN „Reforma systemu edukacji – koncepcja wstępna”, Zarząd Główny PTF, mimo krótkiego czasu, po przesłaniu tego opracowania do Oddziałów terenowych, Komisji ds. Nauczania Fizyki i Sekcji Nauczycielskiej PTF, zebrał opinie i opracował syntetyczne uwagi naszego środowiska dotyczące założeń reformy systemu edukacji. Zostały one przesłane do MEN w dniu 15 kwietnia 1998 r. pismem, w którym jednocześnie zgłoszono gotowość Polskiego Towarzystwa Fizycznego do ścisłej merytorycznej współpracy z MEN w opracowaniu programów nauczania fizyki w ramach nowego ustroju polskiej szkoły.

W czerwcu 1998 r. w ramach współpracy PTF z PTChem., z inicjatywy prezesów obu Towarzystw, widzących potrzebę szerszych, wspólnych działań dotyczących zmiany systemu edukacji, została powołana wspólna Komisja ds. Reformy Edukacji. Współprzewodniczącymi zostali: ze strony Polskiego Towarzystwa Chemicznego – prof. Tadeusz Krygowski, a ze strony Polskiego Towarzystwa Fizycznego – dr Jan Dunin-Borkowski. Komisja postawiła sobie za cel przygotowanie programów nauczania przedmiotów zintegrowanych oraz korelacji programów chemii i fizyki w gimnazjach i liceach. O tej sprawie prezesi obu Towarzystw poinformowali min. Handkego (3.07.1998 r.) zgłaszając jednocześnie ofertę wykorzystania przez MEN wyników prac tej Komisji. Pracowała ona intensywnie w okresie lipiec – wrzesień nad analizą nowej, uszczegółowionej wersji „Reformy systemu

edukacji”, która w postaci „Projektu” (tzw. pomarańczowa książeczka) ukazała się w czerwcu 1998 r.

W październiku 1998 r. prezesi Towarzystw PTF i PTChem., prof. I. Strzałkowski i prof. J. Konarski przeszali min. Handkemu obszerny dokument opracowany przez wspólną Komisję, zawierający „Ocenę reformy systemu edukacji wg projektu” wraz z załącznikami zawierającymi „Uwagi nt. doskonalenia nauczycieli w związku z reformą systemu edukacji” oraz „Opinię nt. proponowanych podstaw programowych przedmiotów: »Przyroda«, »Chemia« oraz »Fizyka i astronomia«”. W dokumencie tym stwierdzono m.in., że o ile podstawy programowe przedmiotu „Chemia” nie budzą zastrzeżeń, to podstawy przedmiotu „Fizyka i astronomia” nie mogą być przyjęte i powinny być opracowane na nowo. Współprzewodniczący Komisji przedstawili podstawowe tezy opinii wice-ministrom I. Dzierżgowskiej i W. Książkowi, otrzymując zapewnienie, że Towarzystwa nasze będą zaproszone do dalszych prac.

Omawiając aktywność PTF w zakresie przygotowania reformy edukacyjnej, należy też wymienić działalność Sekcji Nauczycielskiej PTF. Przewodnicząca tej Sekcji, dr Zofia Gołąb-Meyer, nie ustając w wysiłkach nad spowodowaniem opracowania prawidłowych zmian systemu edukacji, zabierała głos i wyrażała opinie w publikacjach (m.in. „Głos w dyskusji nt. wstępnej koncepcji reformy systemu edukacji” – współautor W. Gawlik, *Foton*, nr 57 (1998), „Reforma edukacji i gra pozorów”, *Foton*, nr 59 (1998)), czy też w liście z dnia 28.07.1998 r. do wice-ministra W. Książka, zawierającym uwagi Sekcji Nauczycielskiej PTF na temat reformy edukacyjnej.

Żywimy nadzieję, że opinie i głosy reprezentujące Polskie Towarzystwo Fizyczne zostaną dostrzeżone i wykorzystane przez gremia i osoby decydujące o nowym kształcie polskiej, zreformowanej szkoły, że zostanie rozumiana nasza troska o właściwe umiejscowienie fizyki w nowoczesnym systemie edukacji polskiego społeczeństwa.

*Ireneusz Strzałkowski*

### Oddział Białostocki

W dniu 25 marca 1998 r. odbyło się walne zebranie sprawozdawczo-wyborcze Oddziału. Ustępujący Zarząd przedstawił sprawozdanie z dwuletniej działalności. Wybrano nowy Zarząd na następną kadencję w składzie: przewodniczący – Andrzej Maziewski, z-ca przewodniczącego – Zdzisław Lasocki, sekretarze – Ryszard Gieniusz i Mirosława Żuber, skarbnik – Maria Tekielak.

Oddział Białostocki liczy 31 członków.

Organizuje on co miesiąc otwarte, popularnonaukowe wykłady. Do ich wygłoszenia zapraszani są wybitni uczeni z całej Polski, specjalizujący się w danej dziedzinie. Współpracujemy z innymi towarzystwami naukowymi.

Grudniowy (1997 r.) wykład, zorganizowany we współpracy z Oddziałem Białostockim Polskiego Towarzystwa Chemicznego, został wygłoszony przez prof. Andrzeja Czerwińskiego, który mówił o blaskach i cieniach promieniotwórczości. W wykładach, odbywających się w siedzibie Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku, uczestniczy zwykle ponad stu słuchaczy, głównie uczniów szkół średnich i studentów.

Dużym zainteresowaniem wśród młodzieży cieszyły się wykłady z fizyki ilustrowane pokazami, przygotowane z częstotliwością: jeden nowy wykład na semestr. W celu wykorzystania dużego nakładu pracy, koniecznego do przygotowania takiego wykładu, jest on kilkakrotnie powtarzany w ciągu kolejnych dni. Dzięki sprawnej współpracy z nauczycielami każdy nowy wykład, ilustrowany pokazami, był dostępny dla ok. 1000 uczniów z Białegostoku i okolic (słuchacze przyjeżdżali np. autobusami z Suwałk). Z trzech serii wykładów zorganizowanych dotychczas skorzastało więc łącznie ok. trzech tysięcy osób. Pierwszą serię prowadzili nauczyciele akademicki, natomiast następne studenci fizyki, częściowo w ramach swoich zajęć w Pracowni Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku. Młoda widownia i młodzi prelegenci łatwo nawiązywali kontakt, a kolejne doświadczenia nagradzane były brawami.

W ciągu ostatnich miesięcy dużo uwagi poświęcono tworzeniu, we współpracy z Uniwersytetem w Białymstoku, „Regionalnego laboratorium mikrokomputerowego do nauczania przedmiotów przyrodniczych”. Laboratorium to ma służyć nauczaniu fizyki i innych przedmiotów przyrodniczych z wykorzystaniem komputera jako „superprzyrządu pomiarowego”. Pracownicy i studenci wykonali dotychczas 10 zestawów do przeprowadzania komputerowo wspomaganých doświadczeń ilustrujących wiele zjawisk z różnych dziedzin fizyki. W zestawach wykorzystano różnego typu sondy sprzężone z komputerem. Laboratorium służy i będzie służyć do kształcenia studentów na różnych latach studiów oraz nauczycieli i uczniów szkół średnich. Interfejsy pomiarowe i specjalistyczne oprogramowanie dla potrzeb Laboratorium tworzone są we współpracy z uniwersytetami polskimi (głównie z Poznania) i zagranicznymi (z Amsterdamu, Grodua i Kilonii). Istniejące obecnie jednostanowiskowe Laboratorium jest wykorzystywane przede wszystkim podczas wykładów (również na wspomnianych wyżej wykładach pokazowych dla młodzieży), a docelowo ma ono być wielostanowiskowe dla kilkunastoosobowych grup.

Za najważniejsze zadanie obecnej kadencji Zarządu uznano podjęcie się organizacji XXXV Zjazdu Fizyków Polskich, przy kontynuowaniu dotychczasowej działalności.

*Andrzej Maziewski*

### Oddział Poznański

W dniu 8 czerwca 1998 r. odbyło się walne zebranie sprawozdawczo-wyborcze Oddziału. Na nową kadencję wybrano na przewodniczącego Oddziału ponownie Jerzego Dembczyńskiego (IF PP). Pozostały skład nowo-

wybranego Zarządu to: z-ca przewodniczącego – Andrzej Dobek (IF UAM), sekretarz – Ryszard Czajka (IF PP), skarbnik – Danuta Bauman (IF PP), członkowie – Anna Czarnecka (IF UAM), Jerzy Galica (IFM PAN), Wojciech Nawroć (IF UAM), Jan Stankowski (IFM PAN), Edmund Śniadek (XVII LO, Poznań), Roman Świetlik (IFM PAN) i Andrzej Więckowski (WSP, Zielona Góra).

W roku akad. 1998/99 Oddział organizuje już czwartą edycję cyklu wykładów popularnych zatytułowanych „Zaproszenie do fizyki”. W tym roku główną organizatorką jest dr Maria Augustyniak (IFM PAN). Podobnie jak w latach poprzednich cykl przeznaczony jest dla młodzieży szkół średnich. Nowością jest możliwość wykonywania przez uczniów pewnych ćwiczeń w laboratoriach Politechniki i IFM.

*Ryszard Czajka*

### Notumacje profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymali w dniu 9 października 1998 r.: Danuta Anna Bauman (PP) i Stefan Edmund Taczanowski (AGH).

<http://www.prezydent.pl/nowosci>

### Nagrody FNP

Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej już po raz siódmy przyznała w 1998 r. nagrody wybitnym polskim uczonym za osiągnięcia i odkrycia naukowe będące istotnym wkładem w życie duchowe i postęp cywilizacyjny naszego kraju oraz zapewniające Polsce miejsce w nauce światowej.

Nagrodę FNP w dziedzinie nauk ścisłych otrzymał Lechosław Latos-Grażyński (ur. 1951 r.) za badania nad porfirynami i metaloporfirynami o szczególnej strukturze molekularnej i elektronowej. Laureat jest profesorem Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Jego badania, prowadzone przede wszystkim metodą jądrowego rezonansu magnetycznego, doprowadziły do odkrycia wyjątkowego izomeru porfiryny, tzw. porfiryny odwróconej. Pozwoliło to na otrzymanie organometalicznych, paramagnetycznych kompleksów niklu, co stanowi istotny wkład do poznania podstaw chemii tych związków.

Nagrodę FNP w dziedzinie nauk technicznych otrzymał Leszek Stoch (ur. 1931 r.) za wyjaśnienie zjawiska wielostadialnej krystalizacji materiałów szklistych i opracowanie na tej podstawie niekonwencjonalnych szkielec do zastosowań proekologicznych. Laureat jest profesorem AGH i członkiem korespondentem PAU. Opracowane przez niego szkła mogą być stosowane w medycynie jako materiały bioaktywne (np. do wypełniania ubytków kostnych), w hodowli roślin jako rodzaj nawozu mineralnego, a także jako wskaźniki skażenia atmosfery. Laureat ma również wybitne osiągnięcia w dziedzinie termochemii i analizy termicznej materiałów.

W 1998 r. wysokość Nagrody wynosiła 40 tys. zł.

*B. W.*

## Nagroda Nobla z fizyki

Nagrodę Nobla z fizyki w 1998 r. otrzymali: R.B. Laughlin, H.L. Störmer oraz D.C. Tsui. Królewska Szwedzka Akademia Nauk przyznała Nagrodę za „wykrycie nowej postaci cieczy kwantowej ze wzbudzeniami o ładunku ułamkowym”. Ciecz tę tworzą nośniki prądu elektrycznego, gdy ich ruch staje się ograniczony do przestrzeni dwuwymiarowej, a przy tym znajdują się w kwantującym polu magnetycznym. Zgodnie z teorią Landaua, zastosowaną do przypadku dwuwymiarowego, funkcje falowe elektronów w polu magnetycznym pozostają rozciągłe, ale jednocząstkowe widmo energetyczne staje się dyskretne i silnie zwyrodniałe. Ponieważ krotność degeneracji poziomów Landaua rośnie ze wzrostem pola magnetycznego, w odpowiednio niskiej temperaturze i silnym polu magnetycznym można doprowadzić do niezwyklej sytuacji: wszystkie nośniki obsadzają jeden dyskretny stan energetyczny – najniższy poziom Landaua. Z teorii Landaua łatwo się można przekonać, że stopień zapełnienia tego poziomu  $\nu$  jest równy stosunkowi całkowitej liczby nośników do strumienia magnetycznego przechodzącego przez próbkę w jednostkach jego kwantu  $\phi_0 = h/e$ . Oznacza to, że  $\nu$  jest równe odwrotności liczby kwantów strumienia, która średnio przypada na jeden nośnik. Doświadczenia wykonane w początku lat osiemdziesiątych przez Tsui'ego i Störmera oraz ich interpretacja przez Laughlina wykazały, że w wyniku odpychania kulombowskiego między nośnikami oraz działania sił statystycznych powstaje wówczas nowy rodzaj cieczy kwantowej. Własności tej cieczy zależą silnie od  $\nu$ , a przy  $\nu = 1/m$ , gdzie  $m$  jest nieparzystą liczbą całkowitą, wzbudzenia cieczy Laughlina stanowią elektrony lub dziury „ubrane” w  $m$  kwantów strumienia magnetycznego  $\phi_0$ . Okazuje się, że takie kwazicząstki mają ułamkowy ładunek  $e/m$  oraz podlegają statystyce pośredniej między obowiązującą dla fermionów i bozonów. Obecność niezerowej energii wzbudzeń tych kwazicząstek prowadzi do zanikania zarówno przewodnictwa elektrycznego, jak i zależności współczynnika Halla od pola magnetycznego przy ułamkowym obsadzeniu poziomów Landaua,  $\nu = n/m$ , gdzie  $n$  jest liczbą całkowitą.

Nie ma wątpliwości, że ułamkowy kwantowy efekt Halla stanowi piękne potwierdzenie przekonań fizyków układów złożonych o możliwości powstawania niezwyklej struktur materii z prostych oddziaływań (hamiltonianów) oraz o odrębności własności fizycznych przestrzeni o różnych wymiarach. Jego odkrycie było możliwe dzięki postępowi w technologii materiałowej (w tym technologii wysokiej próżni i epitaksji z wiązek molekularnych), technice silnych pól magnetycznych i niskich temperatur. Ze względu na niezwykle wymagania materiałowe oraz ekstremalne warunki doświadczalne niezbędne do obserwacji ułamkowej kwantyzacji, krąg badaczy tego zjawiska pozostaje ciągle bardzo wąski.

Robert B. Laughlin jest Amerykaninem urodzonym w 1950 r. w Kalifornii. Doktoryzował się na MIT w 1979 r. Od 1989 r. jest profesorem Uniwersytetu Stanforda w Kalifornii. Horst L. Störmer jest Niemcem, urodzonym

w 1949 r. we Frankfurcie nad Menem. Doktoryzował się w 1977 r. na Uniwersytecie Stuttgarckim. W latach 1992–98 kierował Laboratorium Badań Fizycznych Laboratoriów Bella w New Jersey. Od 1998 r. jest profesorem Uniwersytetu Columbia w Nowym Jorku. Daniel C. Tsui jest obywatelem amerykańskim, z pochodzenia Chińczykiem urodzonym w 1939 r. w Henan. Doktoryzował się na Uniwersytecie Chicagowskim w 1967 r. Od 1982 r. jest profesorem Uniwersytetu w Princeton.

Cała trójka nagrodzonych jest dobrze znana środowisku fizyków zajmujących się półprzewodnikami. Wielokrotnie zapraszani byli do wygłaszania referatów podczas cyklicznych Międzynarodowych Konferencji Fizyki Półprzewodników. Na przykład, D.C. Tsui przedstawił jeden z siedmiu odczytów plenarnych na zjeździe w Warszawie już w 1972 r. W czasie odkrycia ułamkowego kwantowego efektu Halla laureaci pracowali w Laboratoriach Bella. Ich wyniki to kolejne osiągnięcie tego ośrodka naukowego, które zostało wyróżnione już kilkakrotnie Nagrodą Nobla: za zbudowanie tranzystora (J. Bardeen, W.H. Brattain, W.B. Shockley), zaproponowanie teorii układów nieuporzędkowanych (P.W. Anderson) oraz wykrycie promieniowania relikтового (A.A. Penzias, R.W. Wilson).

Początki badania zjawisk kwantowych w dwuwymiarowym gazie elektronowym sięgają drugiej połowy lat sześćdziesiątych – pionierskich prac A.B. Fowlera, F.F. Fanga, W.E. Howarda i P.J. Stilesa z IBM-u, którzy zaobserwowali oscylacje oporu elektrycznego krzemowych tranzystorów polowych typu MOSFET w funkcji pola magnetycznego oraz nieco późniejszych prac D.C. Tsui'ego, który w Laboratoriach Bella badał magnetooscyllacje prądu tunelowego do warstw inwersyjnych na powierzchni n-InAs. Występowanie zjawiska Szubnikowa-de Haasa dla elektronów zlokalizowanych w jednowymiarowej studni potencjału przy międzypowierzchni dowodziło, że w osiągalnych polach magnetycznych odległość energetyczna poziomów Landaua jest większa od ich poszerzenia rozproszeniowego.

Szczególnie zaskakujące, nie poprzedzone przewidywaniami teoretycznymi, było odkrycie kwantowego zjawiska Halla, dokonane przez Klause von Klitzinga w 1980 r. we francusko-niemieckim Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych w Grenoble. Odkrycie to zostało wyróżnione Nagrodą Nobla już po pięciu latach od jego dokonania. Doświadczenia von Klitzinga wykazały, że gdy poziom Fermiego znajduje się w obszarze między maksymalnymi gęstościami stanów, które odpowiadają poziomom Landaua, opór hallowski przyjmuje skwantowane wartości  $h/ne^2$ , gdzie  $n$  jest liczbą obsadzonych poziomów Landaua. Jak wiadomo, kwantowy efekt Halla jest badany obecnie w wielu laboratoriach, a jego znaczenie wykracza poza fizykę, obejmując także metrologię. W Polsce od połowy lat osiemdziesiątych prowadzone są prace doświadczalne na temat wpływu jonów magnetycznych i oddziaływań wymiennych na to zjawisko.

Punktem wyjścia obecnego opisu kwantowego efektu Halla jest założenie występowania stanów rozciągłych w maksimach gęstości stanów oraz stanów zlokalizowa-

nych pomiędzy nimi. Lokalizacja ma charakter andersonowski – następuje w wyniku rozpraszania elektronów przez domieszki i defekty. W granicy zerowej temperatury stany zlokalizowane nie dają przyczynku do przewodnictwa elektrycznego. Okazuje się jednak, że gdy poziom Fermiego znajduje się w ich obszarze, prąd nie znika. Zgodnie z sugestią B.I. Halperina odpowiedzialne za to są jednowymiarowe stany krawędziowe. Ich istnienie wynika ze skończonej szerokości próbki, a więc obecności pola elektrycznego, które zakrzywia poziomy Landaua

tak, że stany rozciągnięte przecinają poziom Fermiego przy obu krawędziach próbki. Mimo rozpraszania przez defekty i domieszki, współczynnik transmisji dla nośników przykrawędziowych wynosi jeden, gdyż efektywnie dryfują one w kierunku, który wyznacza iloczyn wektorowy pola magnetycznego i przykrawędziowego pola elektrycznego. Zgodnie ze wzorem Landauera-Büttikera prowadzi to do kwantyzacji oporu hallowskiego, jeśli tylko próbka jest dostatecznie szeroka, tak że nieistotne jest rozpraszanie i tunelowanie międzykrawędziowe.



Po lewej – Horst L. Störmer i Daniel C. Tsui, po prawej – Robert B. Laughlin.

Jak widać, charakter korelacji ruchu elektronów nie jest istotny przy opisie kwantowego zjawiska Halla. Jednak jeszcze przed odkryciem tego zjawiska H. Fukuyama, P.M. Platzman i P.W. Anderson wskazywali na wagę oddziaływań między elektronami, gdy obsadzają one najniższy poziom Landaua w układach dwuwymiarowych. Rozważania teoretyczne sugerowały, że w wyniku odpychania kulombowskiego stan podstawowy będzie miał postać nieprzewodzącej fali gęstości ładunku, tj. kryształu Wignera. Było również jasne, że obserwacja efektów korelacyjnych wymaga wysokiej jakości próbek, tak aby w wyniku rozpraszania nośników nie zachodziło poszerzenie poziomu Landaua oraz lokalizacja Andersona.

Postęp w technologii epitaksji z wiązek molekularnych dokonany w Laboratoriach Bella dzięki pracom A.Y. Chao i in. oraz idea domieszkowania modulacyjnego zaproponowana i zrealizowana przez H.L. Störmera, R. Dingla, A.C. Gossarda i W. Wiegmana pozwoliły na otrzymanie z początkiem lat osiemdziesiątych heterostruktur GaAs/AlGaAs:Si o niskotemperaturowej ruchliwości elektronów ok.  $5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  przy koncentracji rzędu  $4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ . Wysoka ruchliwość wynika z przestrzennego rozdzielenia warstwy  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  zawierającej zjonizowane donory krzemowe od międzypowierzchni GaAs/AlGaAs, przy której znajdują się nośniki prądu elektrycznego. Dodanie metalowej bramki prowadzi do elementów typu HEMT (High Electron Mobility

Transistors), które charakteryzuje wysoka częstość odcięcia i z tego względu są one teraz powszechnie używane we wzmacniaczach sygnałów odbieranych przez anteny satelitarne. Dla takich próbek T.C. Tsui i H.L. Störmer w 1982 r. przeprowadzili w Narodowym Laboratorium Magnetycznym MIT subkelwinowe pomiary przewodnictwa elektrycznego i współczynnika Halla w polach magnetycznych do 21 T. Dane doświadczalne przedstawione w pracy *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1559 (1982) ukazują niemonotoniczność zależności oporu i współczynnika Halla od pola magnetycznego przy wypełnieniu najniższego poziomu Landaua  $\nu = 2/3$  oraz wyraźne minimum oporu  $R$  i schodki oporu hallowskiego,  $R_H = h/\nu e^2$ , dla  $\nu = 1/3$ . Rezultaty te wskazywały na istnienie przerwy energetycznej przy ułamkowych wartościach  $\nu$ . Wyniki późniejszych pomiarów dla próbek o większych ruchliwościach elektronów ujawniły obecność minimów  $R$  i schodki  $R_H$  dla wielu ułamkowych wartości  $\nu$  o nieparzystych mianownikach. Poza heterostrukturami GaAs/AlGaAs typu n i typu p ułamkowy kwantowy efekt Halla został dotychczas zaobserwowany w heterostrukturach Si/Ge oraz w tranzystorach krzemowych MOSFET o nietypowo wysokiej ruchliwości elektronów.

Teorię ułamkowego efektu Halla zaproponował R.B. Laughlin w pracy *Phys. Rev. Lett.* **50**, 1395 (1983). W artykule tym Laughlin przyjął, że funkcja falowa skorelowanej cieczy nośników ma postać Jastrowa, tj. za-

wiera człony o postaci  $(z_i - z_j)^m$ , gdzie liczby zespolone  $z_i = x_i - iy_i$  opisują położenie  $i$ -tego elektronu w dwuwymiarowej przestrzeni. Postać ta odpowiada cieczy, uwzględnia odpychanie się elektronów oraz spełnia warunek antysymetryczności dla nieparzystego  $m$ . Dla tej funkcji falowej Laughlina obliczył wartość oczekiwaną energii, wykorzystując przy tym niezwykle elegancko metody opracowane do opisu funkcji korelacji klasycznej plazmy z logarytmicznym potencjałem oddziaływania. Dla  $m = 1/\nu$  oraz  $m < 10$  energia ta okazała się niższa niż obliczona dla kryształu Wignera o tej samej gęstości. Laughlin wyznaczył postać funkcji falowych stanów wzbudzonych na drodze transformacji cechowania oraz obliczył energie wzbudzeń kwazielektronów i kwazidziur korzystając z analogii do zagadnienia plazmy dwuskładnikowej. Przedstawił również argumenty, że odpowiadający im ładunek wynosi  $e/m$ .

Niektórzy fizycy – m.in. D.J. Thouless – uważali, że wariacyjna funkcja Laughlina stanowi bardzo grube przybliżenie prawdziwej funkcji falowej. Pogląd ten odsunął pełną akceptację teorii Laughlina do czasu pojawienia się wyników F.D.M. Haldanego, który na drodze numerycznej diagonalizacji kilkuciałowego hamiltonianu na powierzchni kuli dowiódł, że wariacyjne wartości energii Laughlina są bardzo dokładne. Ponadto teorię Laughlina uzupełniono poprawkami, które wynikają z niezerowej szerokości międzypowierzchniowej studni potencjału oraz z obecności przymieszek wyższych poziomów Landaua, spowodowanej oddziaływaniem kulombowskim.

Przeprowadzone doświadczenia wykazują, że wyznaczana z termicznej energii aktywacji przewodnictwa przerwa energetyczna  $\Delta$  dla wzbudzeń par kwazielektron-kwazidziura maleje silnie wraz z poszerzeniem rozproszeniowym gęstości stanów. Tłumaczy to nieobecność efektu w materiałach o niskiej ruchliwości elektronów. Z kolei w najlepszych obecnie próbkach i dostatecznie silnych polach magnetycznych zmierzone wartości  $\Delta$  osiągają już wartości, które są zaledwie o 20% niższe od przewidywań teoretycznych. Stanowi to ważne doświadczalne potwierdzenie propozycji Laughlina. Równocześnie na istnienie wzbudzeń o ułamkowym ładunku  $e/3$  wskazują bezpośrednio przeprowadzone w ciągu ostatnich kilku lat badania tunelowania rezonansowego oraz szumu śrutowego wokół obsadzeń  $\nu = 1/3$  oraz  $\nu = 2/3$  (które są równoważne na mocy symetrii elektron-dziura). Inny ciekawy kierunek obecnych badań dotyczy własności cieczy Laughlina w przypadkach, gdy poziomy Landaua są zdegenerowane spinowo lub nośniki znajdują się w dwóch warstwach dwuwymiarowych sprzężonych tunelowaniem.

Bardzo płodny i niesprzeczny z teorią Laughlina sposób patrzenia na ułamkowy efekt Halla zaproponował w 1989 r. J.K. Jain. Przypisuje on podstawową rolę kwazicząstką złożonym z elektronu i dwóch kwantów  $\phi_0$ . Podlegają one statystyce Fermiego-Diraca i noszą nazwę złożonych fermionów. Przy  $\nu = 1/2$  całkowity strumień magnetyczny przechodzący przez próbkę jest „zużyty” na ich budowę, a więc znajdują się one efektywnie w zerowym polu magnetycznym. Zdaniem Jaina, zależność

oporu i współczynnika Halla od pola magnetycznego dla  $\nu > 1/2$  i  $\nu < 1/2$  odzwierciedla oscylacje Szubnikowa-de Haasa i całkowity efekt Halla tych słabo oddziałujących kwazicząstek dla dwóch kierunków efektywnego pola magnetycznego. Przy tej interpretacji minima dla  $\nu = 1/3, 2/5, 3/7, 4/9, \dots$  oraz  $1 - \nu$  odpowiadają obsadzeniom  $\nu = 1, 2, 3, 4, \dots$  kolejnych kwazicząstkowych poziomów Landaua. Doświadczenia przeprowadzone wokół  $\nu = 1/2$  potwierdziły istnienie powierzchni Fermiego oraz pozwoliły na oszacowanie wielkości masy efektywnej złożonych fermionów – jest ona około dziesięciokrotnie większa od masy nie oddziałujących elektronów w paśmie przewodnictwa GaAs.

W języku polskim dostępne są opracowania, w których przedstawiono różne aspekty ułamkowego efektu Halla oraz podano odsyłacze do prac oryginalnych. Należą do nich artykuły K. Wysokińskiego i T. Dietla, „Całkowity i ułamkowy kwantowy efekt Halla”, *Postępy Fizyki* 36, 515 (1985) oraz F. Wilczka, „Każdony dla każdego”, *Postępy Fizyki* 44, 565 (1993), a także monografia L. Jacaka, P. Sitki i K. Wieczorka, *Anyony i złożone fermiony* (Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995).

Tomasz Dietl

### Nagroda Nobla z chemii

Nagroda Nobla z chemii za 1998 r. została przyznana dwóm chemikom pracującym od wielu lat w USA: Walterowi Kohnowi z California University w Santa Barbara oraz Johnowi A. Pople'owi z Northwestern University w Evanston (Illinois) za ich wkład w rozwój metod chemii kwantowej. Według werdyktu Królewskiej Szwedzkiej Akademii Nauk, „Walter Kohn rozwinął metodę funkcjonalów gęstości”, natomiast John A. Pople nagrodzony został „za rozwinięcie metod obliczeniowych, dzięki którym możliwe stały się teoretyczne badania cząsteczek, ich właściwości i wzajemnego zachowania się w reakcjach chemicznych”.

Chemia kwantowa jest dziś obecna we wszystkich dziedzinach chemii i fizyki molekularnej. Podstawowym jej zadaniem jest formułowanie i objaśnianie ogólnych praw dotyczących cząsteczek, wyjaśnianie ich właściwości oraz badanie ich reaktywności. Umożliwia ona głębsze zrozumienie procesów molekularnych, dostarczając często informacji, których nie można otrzymać na drodze doświadczalnej. Nazwa pojawiła się w latach dwudziestych XX w., kiedy Heitler i London po raz pierwszy z powodzeniem zastosowali prawa mechaniki kwantowej do objaśnienia trwałości najprostszej cząsteczki  $H_2$ . Wówczas to P.A.M. Dirac wypowiedział swoje słynne zdanie na temat mechaniki kwantowej: „W teorii tej zostały sformułowane podstawowe prawa, obejmujące znaczną część fizyki i całą chemię, a jedyna trudność polega na tym, że prowadzą one do równań, które są za trudne, aby można było je poprawnie rozwiązać”.

Ponad 70-letnia historia rozwoju tej dyscypliny to przede wszystkim historia zmagania z równaniem

Schrödingera dla cząsteczek. Wspomniane trudności matematyczne przez długi czas hamowały rozwój chemii kwantowej. W opracowywanych w latach pięćdziesiątych metodach wprowadzono drastyczne przybliżenia, które ograniczały ich stosowanie do jakościowych wyjaśnień właściwości cząsteczek. Niezwykle szybki rozwój metod chemii kwantowej datuje się dopiero od końca lat 50. i początku 60.

W 1951 r. C.C.J. Roothaan i G.G. Hall opublikowali niezależnie pracę, w której wyprowadzili równania znane obecnie pod nazwą równań Roothaana. Równania te są podstawą tego pnia chemii kwantowej, który w późniejszych latach rozwijał J.A. Pople. Metoda Roothaana pozwoliła na uproszczenie równania Schrödingera. Jej opublikowanie zbiegło się w czasie z upowszechnieniem się elektronicznych maszyn cyfrowych. Powstały wówczas pierwsze algorytmy i programy pozwalające na numeryczną realizację rozwiniętej teorii. Bardzo ważnym krokiem w rozwoju chemii kwantowej było wykonanie obliczeń w 1964 r. przez polskich chemików: ś.p. prof. W. Kołosa i prof. L. Wolniewicza dla cząsteczki  $H_2$ . Dowiodły one nie tylko, że formułowana teoria kwantowa dla cząsteczek jest słuszna, ale co więcej pokazały, że obliczona energia wiązania otrzymana była z większą dokładnością niż zmierzona wówczas doświadczalnie.

Aby jednak teorie te można było stosować do większych cząsteczek chemicznych, potrzebny był ogromny nakład pracy wielu badaczy. Wiodącym wśród nich był i jest nadal J.A. Pople, który tak skutecznie przyczynił się do rozwoju metod obliczeniowych wywodzących się z głównego pnia odpowiednio uproszczonego równania Schrödingera, iż stały się one obecnie prawie równorzędne do doświadczalnych metod, narzędziem badawczym chemika. On i jego grupa w latach 70. opracowali program komputerowy do wykonywania obliczeń, którego kolejne wersje opuszczają firmę GAUSSIAN INC. co parę lat i służą wielu chemikom na całym świecie.

Z innego pomysłu wyrosła praca Waltera Kohna opublikowana w 1964 r. Aby znaleźć energię układu opisanego prawami mechaniki kwantowej, nie trzeba opisywać ruchu wszystkich cząstek, składających się na ten układ i ich wzajemnych oddziaływań, ale wystarczy znać rozkład przestrzenny gęstości elektronowej w układzie. Należy tylko znać odpowiedź na pytanie, jak energia układu zależy od gęstości. Kohn podał rozwiązanie dla swobodnego elektronu. Po wielu latach metoda została wprowadzona do chemii kwantowej pod nazwą „metody funkcjonałów gęstości”. Ostatnimi laty metoda ta jest bardzo często stosowana, jest bowiem znacznie tańsza od konwencjonalnej metody, opartej na algorytmie Roothaana. Wprowadzono wiele funkcjonałów gęstości i niektóre z nich dają znacznie lepsze wyniki, niż oryginalny funkcjonał Kohna. Ale przyznać trzeba, że wiele kwestii w ramach tej teorii jest jeszcze niedopracowanych. I tak, brak jest sformułowania teorii dla stanów elektronowych wzbudzonych, brak jest także ciągle funkcjonałów opisujących poprawnie efekty oddziaływań międzymolekularnych.

Metody obliczeniowe chemii kwantowej, rozwinięte przez tegorocznych laureatów Nagrody Nobla z chemii, są obecnie stosowane z powodzeniem, obok typowych metod doświadczalnych, do badania wielu problemów związanych z właściwościami i reaktywnością cząsteczek. Stосуje się je również w badaniach procesów o znaczeniu technologicznym, np. w badaniu mechanizmów działania katalizatorów oraz w badaniach układów biologicznych i farmakologicznych. Podejmowane są także próby wykorzystania tych metod do konstruowania cząsteczek o zadanych z góry właściwościach. Należy jednak pamiętać, że wyniki tych badań otrzymywane są w ramach przyjętego modelu – czy to teorii stosowanych przez J.A. Pople'a, czy teorii funkcjonałów gęstości. Dlatego nie powinno się zapominać o doświadczeniu, jako o głównym kryterium weryfikującym wyniki uzyskane za pomocą metod obliczeniowych chemii kwantowej.

Joanna Sadlej

### 50 lat optyki stosowanej

Kwartalnik *Optyka* wydał w 1998 r. specjalny zeszyt (nr 1-2) z okazji 50-lecia Instytutu Optyki Stosowanej, a właściwie warszawskich prac w dziedzinie optyki stosowanej. Zaczęło się od powstania w 1948 r. Zakładu Optyki w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej. Dalsza historia (w wielkim skrócie) to utworzenie w 1954 r. Centralnego Laboratorium Optyki (CLO), następnie – wobec rozszerzenia działalności na aparaturę pomiarową i automatykę – zmiana nazwy w 1957 r. na Centralne Laboratorium Aparatów Pomiarowych i Optyki (CLAPO), dalej zaś w 1965 r. wydzielenie z CLAPO pionu optyki i nazwanie go znowu CLO, i wreszcie w 1991 r. przekształcenie CLO w Instytut Optyki Stosowanej.

Obecnie w Instytucie Optyki Stosowanej działają zakłady: Optyki Fizycznej, Optyki Geometrycznej, Elektroniki, Konstrukcji Przyrządów Optycznych, Technologii Elementów Optycznych oraz Samodzielna Pracownia Badania Jakości.

W tym samym zeszycie *Optyki* zamieszczono m.in. osobiste wspomnienia prof. Maksymiliana Pluty (Nagroda FNP 1995), który pracuje w Instytucie od 45 lat i od wielu lat jest kierownikiem Zakładu Optyki Fizycznej.

*Optyka*, nr 1-2 (1998)

B. W.

### Nowe źródło spójnego promieniowania

Na Uniwersytecie stanu Michigan zespół kierowany przez Margaret Murnane opracował źródło spójnego, miękkiego (17–32 nm) promieniowania elektromagnetycznego. Uzyskano to przepuszczając światło lasera o długości fali 800 nm przez rurkę światłowodową wypełnioną gazem.

W promieniowaniu optycznym podwojenie częstości uzyskuje się zwykle przepuszczając światło przez kryształ nieliniowy. Ten sposób jest nieodpowiedni dla promieniowania o mniejszej długości fali, które jest pochłaniane w kryształach, natomiast w gazie wypada z fazy z rozcho-

dzącym się razem z nim promieniowaniem lasera. Tę przeszkodę udało się fizykom z Ann Arbor ominąć, gdyż rurka światłowodowa wprowadza ograniczenie geometryczne na prędkość fazową. Urządzenie to wytwarza wiązkę spójnego promieniowania o mocy 2–3 rzędów wielkości większej niż dotychczas konstruowane źródła.

*Phys. Today* 51, nr 8, cz. 1 (1998)

B. W.

### Projekt Rubbia nowego napędu rakiet

W końcu sierpnia 1998 r. na seminarium w CERN-ie Carlo Rubbia (Nobel 1984) wystąpił z projektem wykorzystania do napędu pojazdów kosmicznych reakcji ameryku-242 z neutronami termicznymi. Użycie tego paliwa zamiast chemicznego dałoby możliwość przeprowadzenia załogowego lotu na Marsa i z powrotem w ciągu 345 dni zamiast 971 dni, jakie byłyby potrzebne przy konwencjonalnym paliwie chemicznym.

Wprawdzie myśl użycia energii jądrowej do ogrzewania gazów odrzutowych rakiety nie jest nowa, jednak jej realizacja nie wydawała się dotychczas realna. Pomysł Rubbia polega na wykorzystaniu energii kinetycznej fragmentów rozszczepienia powstających z reakcji  $^{242}\text{Am}$  z neutronami termicznymi – jeden gram  $^{242}\text{Am}$  dostarczyłby wówczas tyle energii, ile można uzyskać z jednej tony najlepszego paliwa chemicznego. Rubbia oblicza, że będzie można tą metodą uzyskać ogrzanie gazów odrzutowych do temperatury 0,5 mln kelwinów.

Pomysłodawca przyznaje jednak, że otrzymanie potrzebnej ilości wielu kilogramów  $^{242}\text{Am}$  w czystym stanie izomerycznym nie jest „całkiem trywialnym procesem”. Proponuje uzyskiwanie  $^{242}\text{Am}$  przez napromieniowywanie  $^{241}\text{Am}$ , który jest ubocznym produktem procesów zachodzących w reaktorach jądrowych.

*Phys. World* 11, nr 10 (1998)

B. W.

### Petawatt

W Lawrence Livermore National Laboratory skonstruowano laser olbrzymiej mocy o nazwie „Petawatt”. Laser ten wytwarza impulsy o mocy 1,3 PW i czasie trwania  $0,5 \times 10^{-12}$  s.

Jednym z pierwszych doświadczeń wykonanych za pomocą tego urządzenia było skierowanie wiązki na tarczę ze złota, co spowodowało emisję elektronów o energii 100 MeV. Po gwałtownym wyhamowaniu elektronów wytworzone wysokoenergetyczne fotony wywoływały rozszczepienie jąder  $^{238}\text{U}$ . Chociaż zjawisko fotorozszczepienia było już znane dawniej, to jednak Petawatt pozwoli na nowe, bardziej szczegółowe badania procesów jądrowych. Nie będzie to oczywiście jedyne zastosowanie tego lasera.

*AIP Phys. News Update*, nr 401 (1998)

B. W.

### Faraday kontra komórki

Jedno z niedużych angielskich przedsiębiorstw kolejowych, Chiltern Railways, obsługujące linię Londyn –

Birmingham, chcąc dogodzić swoim klientom, skarżącym się na współpasażerów ciągle głośno gadających do telefonów komórkowych, postanowiło wprowadzić wagony z szybami pokrytymi warstwą metalu. W ten sposób stanowiąłyby one klatki Faradaya, skutecznie przeszkadzające w korzystaniu z telefonów komórkowych.

Szkló pokryte warstwą kilkuset nanometrów srebra, o nazwie „Datastop”, używane jest na niektórych lotniskach w oknach wież kontrolnych, aby zapobiegać interferencjom radaru, i osłabia przechodzący sygnał o 30 dB.

*Phys. Today* 51, nr 10 (1998)

B. W.

### Piknik Naukowy w Warszawie po raz drugi

Już po raz drugi odbył się w Warszawie Piknik Naukowy Polskiego Radia BIS. W sobotę 6 czerwca 1998 r. na Rynku Nowego Miasta spotkali się z warszawiakami naukowcy, dziennikarze i popularyzatorzy wiedzy. W rozstawionych na rynku namiotach można było oglądać pokazy, wykonywać doświadczenia i brać udział w licznych konkursach. Najciekawsze z nich prezentowano kolejno na głównej estradzie na przemian z występami muzyków i iluzjonistów.

Zachęcenii sukcesem imprezy z poprzedniego roku (o której pisaliśmy w Kronice 4/97), inicjatorzy imprezy przygotowali podobny scenariusz, obliczony na zainteresowanie szerokiej publiczności nauką podaną w lekkiej i dowcipnej formie. Oferta była bardzo różnorodna: pracownia „Archeologia żywa” i najnowsze modele komputerów, rekonstrukcja bitwy warszawskiej 1920 r. i skały księżycowe, obiad z Maciejem Kuroniem i wykrywacz kłamstw, podglądanie mrówek i skutery elektryczne. W związku z rocznicą urodzin wieszczą starano się często nawiązywać do Mickiewicza, w szczególności przedstawiono pokaz interaktywnego projektowania komputerowego wystawy mickiewiczowskiej.

Przez cały dzień wydarzenia na Rynku były relacjonowane na antenie Radia BIS, a ponadto – co było nowością w stosunku do roku poprzedniego – trwała ciągła transmisja wideo w Internecie ([www.radio.com.pl/bis](http://www.radio.com.pl/bis)).

Podobnie jak rok wcześniej, fizycy byli bardzo widocznymi. Prof. Łukasz Turski, jeden z głównych inicjatorów pikniku, prowadził występy na estradzie, prof. Tadeusz Skośkiewicz przedstawił liczne pokazy fizyczne, zwłaszcza z dziedziny niskich temperatur, a wspierał go w tym prof. Tomasz Szoplik. Profesor Krzysztof Ernst i dr hab. Tadeusz Stacewicz prezentowali nowy polski lidar, za pomocą którego mierzono zanieczyszczenie powietrza nad Wisłostradą. W sprawnym przebiegu wielu pokazów z wielkim zapałem i poświęceniem pomagali studenci Szkoły Nauk Ścisłych.

Impreza bardzo się udała, cieszyła się wielkim zainteresowaniem publiczności, dopisała nawet pogoda. Czekamy więc na kolejny Piknik Naukowy w Warszawie.

M. Ł.

# KALENDARZ IMPREZ

Informacje podajemy w następującej kolejności: data i miejsce imprezy, nazwa, instytucje organizujące, nazwisko osoby, która może udzielić bliższych informacji, Z – termin nadsyłania zgłoszeń, A – termin nadsyłania streszczeń, P – przewidziane wydanie materiałów, U – liczba uczestników, O – wysokość opłaty konferencyjnej, język (jeśli inny niż polski).

## 1999

2 – 13 lutego 1999, Karpacz lub Polanica

### 35. Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej: *Frontiers in Gravity*

Inst. Fizyki Teoretycznej Uniw. Wrocławskiego, pl. Maksy Borna 9, 50-204 Wrocław; dr hab. Jerzy Kowalski-Glikman, tel. (71) 222363 lub (71) 201388, adr.el.: [dobno@ift.uni.wroc.pl](mailto:dobno@ift.uni.wroc.pl).

P, U: 80, O: 400 USD, ang.

17 – 21 maja 1999, Kazimierz Dolny

### Int. Conf. Fluorometry – F-metry

Polska Sekcja SPIE i Inst. Optyki Stosowanej; mgr Mariusz Szyjer, IOS, Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa, tel.: (22) 8184497 lub (22) 8102589, fax: (22) 8133265, adr.el.: [ioso@atos.warman.com.pl](mailto:ioso@atos.warman.com.pl).

Z: 15.1.99, A: 15.3.99, P, O: 250 USD wraz z zakwaterowaniem i wyżywieniem, ang.

18 – 21 maja 1999, Toruń

### The 31st Symposium on Mathematical Physics with special session „Solitons and Nonlinear Phenomena”

Inst. Fizyki UMK i KBN; M. Michalski, IF UMK, Kom. Org. XXXI SMP, Grudziądzka 5, 87-100 Toruń, tel.: (56) 6113236, fax: (56) 6225397, adr.el.: [romp99@phys.uni.torun.pl](mailto:romp99@phys.uni.torun.pl), Internet: <http://www.phys.uni.torun.pl/~romp99/>.

Z: 15.4.99, P, O: 100 USD.

5 – 6 czerwca 1999, Ustroń-Jaszowiec

### Przedzskole Fizyki Półprzewodników

Fundacja Pro Physica i Inst. Fizyki PAN; dr B. Kowalski, IF PAN, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, tel.: (22) 8437001 w. 3316, fax: (22) 8430926, adr.el.: [kowab@ifpan.edu.pl](mailto:kowab@ifpan.edu.pl).

ang.

7 – 11 czerwca 1999, Ustoń-Jaszowiec

### XXVIII Int. School on Physics of Semiconducting Compounds

Inst. Fizyki PAN, Wydział Fizyki UW, Centrum Badań Wysockościennych PAN; dr W. Szuszkiewicz, IF PAN, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, tel.: (22) 8435626, fax: (22) 8430926, adr.el.: [jasz99@ifpan.edu.pl](mailto:jasz99@ifpan.edu.pl).

A: 7.3.99, U: 250, ang.

7 – 10 czerwca 1999, Zegrze Płn. k. Warszawy

### Szkoła i konferencja: Metrologia wspomaganą komputerowo

Komitet Metrologii i Aparatury Naukowej PAN, Inst. Podstaw Elektroniki WAT, Przemysłowy Inst. Elektroniki, Inst. Techniczny Wojsk Lotniczych; dr hab. Czesław Przybysz,

Inst. Podstaw Elektroniki WAT, Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, tel.: (22) 6859135, fax: (22) 6859082, adr.el.: [Cprzybysz@wel.wat.waw.pl](mailto:Cprzybysz@wel.wat.waw.pl).

7 – 9 lipca 1999, Warszawa

### Int. Symp. Plasma '99 – Research and Applications of Plasma

Sekcja Fizyki Plazmy Komitetu Fizyki PAN, Centrum Badań Kosmicznych PAN, Inst. Problemów Jądrowych; Kom. Org. Plasma '99, CBK PAN, Bartycka 18A, 00-716 Warszawa, fax: (22) 403131, adr.el.: [plasma99@cbk.waw.pl](mailto:plasma99@cbk.waw.pl), Internet: <http://www.cbk.waw.pl/plasma99>.

A: 1.4.99, P, O: 110 USD, ang.

11 – 16 lipca 1999, Warszawa

### 24th Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases

Inst. Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy; J. Wołowski, IFPiLM, Hery 23, 00-908 Warszawa, skr. poczt. 49, tel. (22) 6859605 lub 6857096, fax: (22) 6668372, adr.el.: [icpig99@ifpilm.waw.pl](mailto:icpig99@ifpilm.waw.pl), informacje: <http://ifpilm.waw.pl/icpig99/ICPIG99.html>.

Z: 1.3.99, A: 30.1.99, O: 350–400 USD, ang.

20 – 23 września 1999, Białystok

### XXXV Zjazd Fizyków Polskich

Oddział Białostocki PTF; prof. Andrzej Maziewski, IF UwB, Lipowa 41, 15-424 Białystok, tel.: (85) 7457228, fax: (85) 7457222, adr.el.: [ptf@alpha.uwb.edu.pl](mailto:ptf@alpha.uwb.edu.pl), Internet: <http://wwwzft.uwb.edu.pl/if/PTF.html>.

20 – 23 września 1999, Pułtusk

### Interferometry '99

Polska Sekcja SPIE i Inst. Mikromechaniki i Fotoniki PW; prof. Małgorzata Kujawińska, IMF PW, Chodkiewicza 8, 02-525 Warszawa, tel.: (22) 6608602 lub (22) 6608489, fax: (22) 6608601, adr.el.: [zto@mp.pw.edu.pl](mailto:zto@mp.pw.edu.pl).

A: 31.12.98, P, O: 350 USD, studenci 250 USD, ang.

21 – 24 września 1999, Ustroń

### I Int. Seminar on Semiconductor Surface Passivation – SSP '99

Inst. Fizyki Pol. Śląskiej; dr hab. Jacek Szuber, IF PŚI, Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, tel.: (32) 2372057, fax: (32) 2372216, adr.el.: [ssp99@tytan.matfiz.polsl.gliwice.pl](mailto:ssp99@tytan.matfiz.polsl.gliwice.pl).

A: 31.5.99, P, U: 75, O: 250 USD, ang.

20 – 22 października 1999, Warszawa

### Int. Conf. Biological Optics for Medicine

Sekcja Polska SPIE i Inst. Optyki Stosowanej; mgr Mariusz Szyjer, IOS, Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa, tel.: (22) 8184497 lub (22) 8102589, fax: (22) 8133265, adr.el.: [ioso@atos.warman.com.pl](mailto:ioso@atos.warman.com.pl).

Z: 15.6.99, A: 15.9.99, P, O: 140 zł, ang., pol., ros.



---

---

## NOWE KSIĄŻKI

---

---

- Richard Courant, Herbert Robbins, *Co to jest matematyka?*, z jęz. angielskiego tłum. Egon Vielrose, Rafał Kołodziej; Prószyński i S-ka, Warszawa 1998, s. 520, cena 35,00 zł.
- Wiesław Skórzyński, *Astrofotografia*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998, s. 96, cena 15,00 zł.
- Jarosław Włodarczyk, *Niebo za oknem – 1999*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998, s. 35, cena 15,00 zł.
- Roman J. Nowak, *Statystyka dla fizyków in spe (studentów fizyki jądra atomowego i cząstek elementarnych)*, skrypt, wyd. II poprawione i rozszerzone, Wyd. Wydział Fizyki UW, Warszawa 1998, s. 281.
- Sławomir Siekierski, *Chemia pierwiastków*, Wyd. Szkoła Nauk Ścisłych, Warszawa 1998, s. 147.
- Richard Dawkins, *Wspinaczka na szczyt nieprawdopodobieństwa*, z jęz. angielskiego tłum. Małgorzata Pawlicka-Yamazaki; Prószyński i S-ka, Warszawa 1998, s. 393, cena 24,00 zł.
- *Korespondencja Marii Skłodowskiej-Curie z uczonymi z Europy Środkowej i Wschodniej, 1904 – 1934*, red. Jan Piskurewicz, Wyd. UMCS, Lublin 1998, s. 312.
- *Young Physicists' Research Papers*, red. Waldemar Gorzkowski i Jan Mostowski, Wyd. IF PAN, Warszawa 1998, s. 98.
- Hermann Haken, Hans Christoph Wolf, *Fizyka molekularna z elementami chemii kwantowej*, z jęz. angielskiego tłum. Irena Deperasińska i Jerzy Prochorow; PWN, Warszawa 1998, s. 521.

---

---

# OGŁOSZENIA

---

---

## Konkurs POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO „KOMPUTER W NAUCZANIU PRZEDMIOTÓW PRZYRODNICZYCH” (na lekcjach, w doświadczeniach, w nauczaniu akademickim)

### Kategorie konkursu:

- I. Nowe doświadczenia
- II. Zastosowania komputera w nauczaniu

W I kategorii konkursu może uczestniczyć każdy, kto przedstawi pomysł doświadczenia przeznaczonego dla dowolnego poziomu nauczania z zastosowaniem komputera jako przyrządu pomiarowego lub/ oraz do opracowywania wyników tego doświadczenia. Można stosować wszelkie ogólnodostępne oprogramowanie oraz sprzęt. Bardzo mile widziane są własne, nieprofesjonalne adaptacje oprogramowania i aparatury pomocniczej. Oczekujemy ciekawych, komputerowo wspomaganých eksperymentów, przygotowanych w pracowniach akademickich lub szkolnych albo w domu, przy użyciu urządzeń typu: karta dźwiękowa, mikrofon, głośnik, kamera wideo, video-blaster itp. Uczniowie, którzy mają własne pomysły i chcieliby uczestniczyć w konkursie, a nie mają odpowiednich możliwości technicznych, mogą skontaktować się z członkami Komisji Konkursowej w celu uzyskania możliwości skorzystania z pracowni akademickich lub szkolnych. W późniejszym terminie podamy szczegółowe adresy. Na pewno będzie można skorzystać z pomocy Wydziału Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz Uniwersytetu w Białymstoku.

II kategoria konkursu dotyczy wyłącznie nauczania fizyki (również w ramach przedmiotu „Przyroda”). W tym konkursie mogą uczestniczyć nauczyciele lub osoby związane z szkolnictwem na dowolnym poziomie nauczania – od podstawowego do akademickiego.

Kategoria ta obejmuje wszelkie zastosowania komputerów do dowolnie wybranego tematu lekcyjnego. Mogą to być zastosowania wszystkich legalnie dostępnych programów edukacyjnych, także zaczerpniętych z Internetu, doświadczeń wspomaganých komputerowo, programów własnego autorstwa itp.

Minimalne wymagania: omówienie treści stosowanych materiałów, proponowanego sposobu ich wykorzystania, bez konieczności praktycznej realizacji pomysłu w szkole.

Wyższe wymagania (dla nauczycieli): dokładniejsze omówienie proponowanych rozwiązań i stosowanych materiałów, ich miejsca w programie nauczania (scenariusz lekcji). W przypadku pomysłów już wdrożonych mile widziane będą załączone wypowiedzi uczniów lub studentów na temat korzyści z zastosowania komputera do realizacji danego tematu lekcji, wykładu lub ćwiczeń.

### Warunki konkursu:

Przesłanie (zwykłą pocztą, na dyskietce, pocztą elektroniczną) w terminie do 21 maja 1999 r. materiałów konkursowych w postaci

- opisu zaprojektowanego, wykonanego, dotąd nie publikowanego doświadczenia (w I kategorii),
- omówienia (wraz z załącznikami) zastosowania komputera do realizacji wybranego tematu (w II kategorii).

Mile widziane jest wstępne zgłoszenie na adres Komisji Konkursowej w jak najkrótszym terminie informacji o chęci udziału w konkursie i o temacie (tytule) pracy.

Najlepsze prace pragniemy wyróżnić nagrodami pieniężnymi oraz prezentacją na imprezach towarzyszących XXXV Zjazdowi Fizyków Polskich w Białymstoku (20–23 września 1999 r.). Prosimy zatem uczestników o wyrażenie z góry zgody na zamieszczenie informacji w materiałach drukowanych lub/ oraz publikacji w postaci współpracowanej przez Komisję.

Przewodniczącym Komisji Konkursowej jest prof. dr hab. Henryk Szydłowski, Instytut Fizyki UAM, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań, tel. (061) 8217011 w. 320, fax (061) 8217991.

Informacje o Konkursie oraz aktualne wiadomości będą dostępne w Internecie:

- <http://fizyka.amu.edu.pl/ptfiz> (Poznań),
- <http://physics.uwb.edu.pl> (Białystok).

Korespondencję elektroniczną należy kierować na specjalnie uruchomiony adres: [ptfiz@amu.edu.pl](mailto:ptfiz@amu.edu.pl) lub na adres osobisty przewodniczącego: [henryksz@amu.edu.pl](mailto:henryksz@amu.edu.pl).

Adresy pozostałych członków Komisji zostaną podane w najbliższym czasie w Internecie.

---

---

## WARUNKI PRENUMERATY

---

---

Cena prenumeraty krajowej w 1999 r. wynosi 15,00 zł za pół roku, 30,00 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. Dostawa egzemplarzy następuje w uzgodniony sposób.
2. Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę jest o 100% wyższa od krajowej. Wpłaty przyjmuje „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy na konto w PBK SA XIII O/Warszawa nr 11101053-16551-2700-1-67 lub w kasach Oddziału. Dostawa odbywa się pocztą zwykłą, z wyjątkiem zlecenia dostawy pocztą lotniczą, której koszt w pełni pokrywa zamawiający.
3. Terminy przyjmowania wpłat od osób zamieszkałych w kraju: do 5 grudnia – na I półrocze roku następnego, do 5 czerwca – na II półrocze roku bieżącego (prenumerata krajowa) oraz do 20 listopada – na I półrocze roku następnego, do 20 maja – na II półrocze roku bieżącego (prenumerata zagraniczna).
4. Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego numeru w danym roku kalendarzowym.

### 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 20% zniżki. W przypadku, gdy oddział zamawia liczbę egzemplarzy przekraczającą 50% liczby członków, zniżka wynosi 30%. Taka sama zniżka (30%) przysługuje studentom, niezależnie od odsetka prenumeratorów w danym oddziale. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

---

---

## INFORMACJE DLA AUTORÓW

---

---

Komitet Redakcyjny prosi autorów o opracowywanie materiałów przeznaczonych do druku w *Postęпах Fizyki* zgodnie z podanymi niżej wytycznymi:

1. Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków. Bardziej szczegółowe wskazówki co do ich charakteru przedstawione są w *Postęпах Fizyki* **24**, 701 (1973); **33**, 299 (1982). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.
2. Maszynopisy pracy (**oryginał i jedną pełną – z rysunkami, tabelami itd. – kopię**) należy nadsyłać pod adresem: Redakcja *Postępów Fizyki*, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres (również komputerowy) do dalszej korespondencji.
3. Maszynopis winien być napisany **na arkuszach formatu A4 jednostronnie, z podwójną interlinią** (nie więcej niż 30 wierszy na stronie) i marginesem 3,5 cm z lewej strony.
4. Rysunki należy wykonać starannie na oddzielnych arkuszach w rozmiarze 2 do 4 razy większym niż mają być w druku. Napisy, ograniczone do minimum, winny być czytelne i tylko w języku polskim. Na odwrocie rysunku należy podać jego numer, nazwisko autora i pierwsze wyrazy tytułu pracy. Podpisy do rysunków, tabele (z ich tytułami) i spis literatury winny być napisane na oddzielnych stronach.
5. Układ strony tytułowej (tytuł polski, angielski, streszczenie angielskie,...), tekstu, odnośników literaturowych itd. powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły np. w tym numerze).
6. *Postępy Fizyki* są składane komputerowo. Aby skrócić cykl wydawniczy prosimy autorów przygotowujących swe artykuły na komputerach o nadsyłanie, **wraz z maszynopisami**, tekstów artykułów pocztą elektroniczną (nasz adres: [postepy@fuw.edu.pl](mailto:postepy@fuw.edu.pl)) lub na dyskietkach, najlepiej w T<sub>E</sub>X-u, w formacie MeX. Redakcja gwarantuje zwrot dyskietek natychmiast po skopiowaniu zapisów.
7. Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej.
8. Maszynopisów prac nie zamówionych i nie zakwalifikowanych do druku Redakcja nie zwraca.

---

**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. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, Poland.

---

## SPIS TREŚCI

C.N. Cohen-Tannoudji – Manipulowanie atomami za pomocą fotonów .....	2
<b>RÓŻNE</b>	
J. Krzywicki, A. Sobiczewski, A. Wolszczan – Fundacja Alfreda Jurzykowskiego .....	20
M. Grudzień – Realizacja badań naukowych w warunkach samofinansowania na przykładzie VIGO-System Sp. z o.o. ....	24
M. Riordan, L. Hoddeson – Mojżesz Doliny Krzemowej .....	34
<b>ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI</b> .....	43
<b>RECENZJE</b> .....	45
<b>KRONIKA</b> .....	47

## CONTENTS

C.N. Cohen-Tannoudji – Manipulating atoms with photons .....	2
<b>MISCELLANEA</b>	
J. Krzywicki, A. Sobiczewski, A. Wolszczan – Alfred Jurzykowski Foundation .....	20
M. Grudzień – R&D studies without external financial support: a case of VIGO-System Ltd .....	24
M. Riordan, L. Hoddeson – The Moses of Silicon Valley .....	34
<b>MEETINGS AND CONFERENCES</b> .....	43
<b>REVIEWS</b> .....	45
<b>CHRONICLE</b> .....	47

## WKRÓTCE

- *Wykład noblowski Stevena Chu*
- *Wspomnienia Jana Rzewuskiego*
- *Andrzej Hryniewicz i Adam Sobiczewski o Polskiej Akademii Umiejętności*
- *Granty KBN z fizyki: XIV i XV konkurs*
- *Jan Mostowski o społecznych i ekonomicznych aspektach związku nauki z nauczaniem*
- *Quo vadis, metrologio?*