

---

**PTF**

**DWUMIESIĘCZNIK  
POŚWIĘCONY  
UPOWSZECHNIANIU  
WIEDZY  
FIZYCZNEJ**

# **POSTĘPY FIZYKI**

**TOM 35  
ZESZYT 5  
1984**

---

ZARZĄD

Prezes

Prof. dr TADEUSZ SKALIŃSKI

Wiceprezesa

Prof. dr ANDRZEJ OLEŚ  
Prof. dr KAZIMIERZ ROSIŃSKI

Sekretarz Generalny

Prof. dr JANUSZ KONOPKA

Skarbnik

Dr hab. ALEKSANDRA KOPYSTYŃSKA

Członkowie Zarządu

Dr JERZY B. BROJAN  
Prof. dr FRANCISZEK KACZMAREK  
Prof. dr STANISŁAW ŁĘGOWSKI  
Prof. dr CECYLIA WESOŁOWSKA

Zastępcy członków Zarządu

Doc. dr ERYK INFELD  
Doc. dr TADEUSZ PNIEWSKI  
Doc. dr IZABELA SOSNOWSKA

oraz redaktorzy naczelni czasopism PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI — *Postępy Fizyki*  
Prof. dr WIESŁAW CZYŻ — *Acta Physica Polonica*  
Mgr MACIEJ JĘDRZEJCZAK — *Delta*  
Prof. dr ROMAN INGARDEN — *Reports on Mathematical Physics*

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW TOWARZYSTWA

Prof. dr EUDOKIA OSTASZEWICZ (Białystok)  
Doc. dr MIKOŁAJ ROZWADOWSKI (Bydgoszcz)  
Dr RYSZARD HRABAŃSKI (Częstochowa)  
Prof. dr Józef HELDT (Gdańsk)  
Doc. dr ANDRZEJ ZASTAWNY (Gliwice)  
Dr MAREK ZRAŁEK (Katowice)  
Doc. dr MARIAN KARGOL (Kielce)  
Prof. dr ANDRZEJ FULIŃSKI (Kraków)  
Dr BARBARA GŁADYSZEWSKA (Lublin)

Doc. dr STANISŁAW MICHALAK (Łódź)  
Dr DANUTA TOKAR (Opole)  
Doc. dr TADEUSZ HILCZER (Poznań)  
Dr ADAM DRZYMAŁA (Rzeszów)  
Dr HENRYK WREMBEL (Słupsk)  
Dr JERZY MAJSZCZYK (Szczecin)  
Prof. dr STANISŁAW ŁĘGOWSKI (Toruń)  
Doc. dr ŁUKASZ A. TURSKI (Warszawa)  
Prof. dr KAZIMIERZ ŁUKASIEWICZ (Wrocław)

ADRES ZARZĄDU

00-681 Warszawa ul. Hoża 69



**P O L S K I E   T O W A R Z Y S T W O   F I Z Y C Z N E**

---

# **P O S T Ę P Y   F I Z Y K I**

**DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU  
WIEDZY FIZYCZNEJ**

**TOM 35, ZESZYT 5**

**P A Ń S T W O W E   W Y D A W N I C T W O   N A U K O W E**  
1984

## RADA REDAKCYJNA

Ludwik Natanson, Leonard Sosnowski, Przemysław Zieliński

## KOMITET REDAKCYJNY

*Redaktor Naczelny* — Adam Sobiczewski

*Członkowie Redakcji* — Magdalena Staszek, Barbara Wojtowicz

*Adres Redakcji:* ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa

### Korespondenci Oddziałów PTF

mgr *Irena Lasocka* (Białystok)  
dr *Romualda Pfranger* (Częstochowa)  
dr *Stanisław Zachara* (Gdańsk)  
doc. dr hab. *Józef Szpilecki* (Gliwice)  
dr *Janusz Frąckowiak* (Katowice)  
dr *Stanisław Kатуża* (Kielce)  
dr *Anna Kapuścik* (Kraków)  
mgr *Józef Pomorski* (Lublin)  
prof. dr hab. *Leszek Wojtczak* (Łódź)  
dr *Wojciech Wojtanowski* (Opole)  
prof. dr hab. *Andrzej Graja* (Poznań)  
mgr *Ewa Weinert-Rączka* (Szczecin)  
dr *Hanna Męczyńska* (Toruń)  
doc. dr hab. *Aniela Wolska* (Warszawa)  
dr *Bernard Jancewicz* (Wrocław)

---

*Państwowe Wydawnictwo Naukowe — Oddział w Krakowie ul. Sławkowska 14*

Nakład 2132+98 egz. Ark. wyd. 6,50. Ark. druk. 5+3 wkl. Papier druk. kl. IV<sub>8</sub>, 70×100, 80 g. Oddano do składania w kwietniu 1984 r. Podpisano do druku w październiku 1984 r. Druk ukończono w październiku 1984 r. Zam. 216/84.

Cena zł 60.—

---

*Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, Manifestu Lipcowego 13*

Maciej Suffczyński

Instytut Fizyki PAN  
Warszawa

## Powierzchnie półprzewodników \*

### Semiconductor Surfaces

*Abstract:* Current models of the atom arrangements on clean low-index faces of elemental and compound semiconductors are reviewed.

#### 1. Wstęp

Zrozumienie budowy powierzchni półprzewodnika staje się ważne zarówno dla prowadzenia procesu wzrostu kryształów półprzewodnikowych jak i dla przygotowania submikronowych urządzeń półprzewodnikowych. Proponowane modele uporządkowania atomów na powierzchni czystego półprzewodnika stają się punktem wyjścia do opisu oddziaływania powierzchni z wiązkami jonów i atomów, wiązkami molekularnymi, gazami, kontaktu z fazą ciekłą, kontaktu z metalami i wreszcie z innymi półprzewodnikami.

Opis monokryształów, zasadniczo ułatwiony przez ich wysoką symetrię przestrzenną [1], wymaga znacznego rozszerzenia pojęć kiedy mamy rozpatrywać powierzchnie. Czyste, dobrej jakości powierzchnie mają swoje szczególne symetrie, których liczba jest duża, i które bywają z kolei naruszane przez czynniki zewnętrzne.

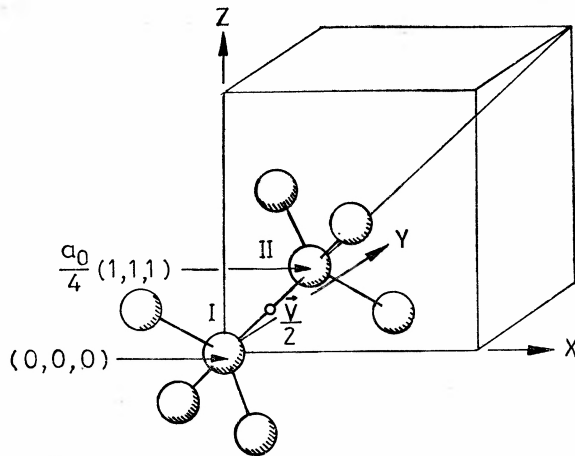
Wzrost epitaksjalny (ze słów greckich: *epi* „na” i *tasso* „porządkuje”), także domieszko-  
wanie, pokrywanie warstwami, przygotowywanie heterozłączy i supersieci [2] prowadzą do pytania o uporządkowanie atomów i ich reakcje na powierzchni półprzewodnika. Same zagadnienia czystych powierzchni półprzewodnikowych doprowadziły do nieoczekiwanych wyników doświadczalnych i teoretycznych na poziomie zrozumienia atomowej struktury powierzchni.

#### 2. Płaszczyzny łupliwości

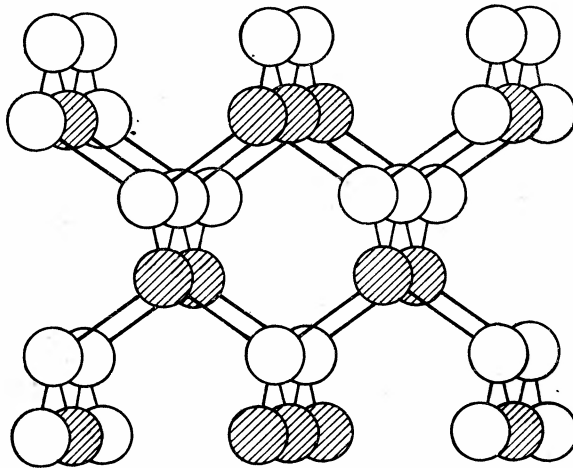
Jedną z najbardziej znanych cech kryształów są ich płaskie powierzchnie o szczególnych orientacjach. Homopolarne kryształy struktury tetraedrycznej, takie jak diament, występują w postaci makroskopowych monokryształów kształtu ośmiościanu regularnego.

---

\* Artykuł opracowany na podstawie wykładu wygłoszonego 20 października 1983 r. z okazji trzydziestolecia Instytutu Fizyki PAN w Warszawie.



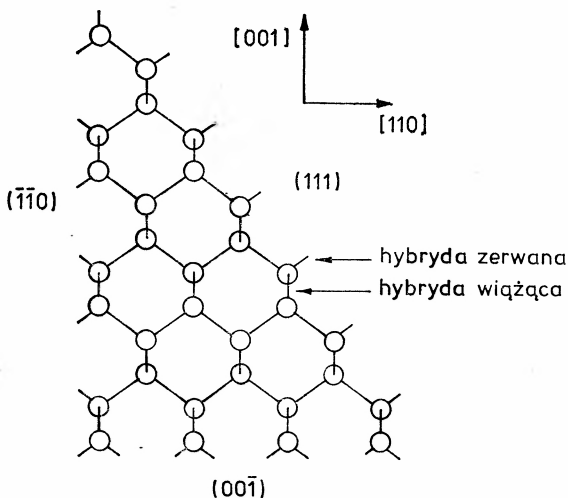
Rys. 1. Komórka elementarna kryształu diamentu zawiera dwa atomy: I i II. Każdy atom jest otoczony tetraedrycznie przez cztery atomy



Rys. 2. Perspektywiczny widok z kierunku  $[1\bar{1}0]$  heteropolarnego tetraedrycznego kryształu blendy cynkowej, w której każdy atom ma czterech najbliższych sąsiadów różnych od niego. W kryształach homopolarnym, takim jak diament, krzem, german, oba kółka, puste i zacienione są atomami tego samego pierwiastka

Ten fakt można zrozumieć rozpatrując wiązania między atomami. Warto spojrzeć na kryształ o strukturze diamentu (rys. 1 i 2) z kierunku  $[1\bar{1}0]$ , jak to przedstawia rys. 3, na którym widać krawędzie płaszczyzn  $(00\bar{1})$ ,  $(\bar{1}\bar{1}0)$ , i  $(111)$ . Na pole  $(2b)^2$  powierzchni (gdzie  $b$  jest odległością najbliższych atomów sieci) w płaszczyźnie  $(100)$  czy  $(00\bar{1})$  przecięte są 3 wiązania międzyatomowe, w płaszczyźnie  $(110)$  przeciętych jest  $3/\sqrt{2}$ , w płaszczyźnie  $(111)$  przeciętych jest  $\sqrt{3}$  wiązań. Stąd wynika, iż kryształ homopolarny struktury diamentu będzie się najłatwiej łupał, a także naturalnie rósł, na płaszczyźnie  $(111)$ . Płaszczyzn tego typu jest osiem, tworzą one ściany regularnego ośmiościanu, który jest figurą równowagi takiego kryształu [1].





Rys. 3. Tetraedryczny kryształ homopolarny z trzema nierekonstruowanymi powierzchniami widziany z kierunku  $[1\bar{1}0]$ . Płaszczyzna rysunku jest  $(1\bar{1}0)$ . Atomy połączone wiązaniami diagonalnymi na rysunku są najbliższymi sąsiadami w tej samej płaszczyźnie  $(1\bar{1}0)$ . Wiązania pionowe na rysunku tworzą z płaszczyzną rysunku kąt  $54.7^\circ$ . Na płaszczyźnie  $(111)$  z każdego atomu wystaje jedno wiązanie prostopadłe do płaszczyzny  $(111)$  równoległe do płaszczyzny rysunku

Ogólnie mówiąc, w prostych strukturach krystalograficznych, o wysokiej symetrii przestrzennej, zmiany energii powierzchniowej odpowiadające zniekształceniom są duże i wynikające stąd geometrie równowagi są proste. Dla struktur krystalicznych złożonych zmiany energii powierzchniowej są mniejsze, co prowadzi do bardziej zbliżonego do sferycznego, ograniczonego wieloma ścianami, kształtu kryształu [1].

### 3. Hybrydy stanów $s$ i $p$

Wiązania atomów, których energie stanów  $s$  i stanów  $p$  nie różnią się zanadto, dobrze opisują kombinacje liniowe czyli hybrydy utworzone z tych stanów. Dwie hybrydy  $sp$

$$\frac{1}{2}(s+x), \quad \frac{1}{2}(s-x)$$

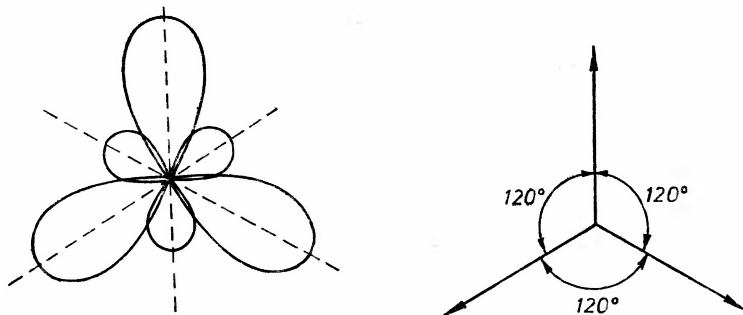
są skierowane wzdłuż jednej osi, osi  $x$ , w przeciwnych kierunkach, tworzą więc między sobą kąt  $180^\circ$ . Trzy hybrydy  $sp^2$

$$\frac{1}{\sqrt{3}}s + \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}x, \quad \frac{1}{\sqrt{3}}s - \frac{1}{\sqrt{6}}x + \frac{1}{\sqrt{2}}y, \quad \frac{1}{\sqrt{3}}s - \frac{1}{\sqrt{6}}x - \frac{1}{\sqrt{2}}y$$

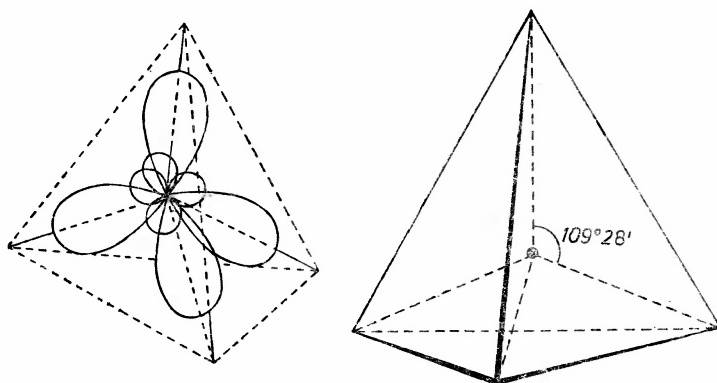
mają osie leżące w jednej płaszczyźnie,  $xy$ , i tworzące między sobą kąty  $120^\circ$ , zaznaczone na rys. 4. Cztery hybrydy  $sp^3$

$$\frac{1}{2}(s+x+y+z), \quad \frac{1}{2}(s+x-y-z), \quad \frac{1}{2}(s-x+y-z), \quad \frac{1}{2}(s-x-y+z)$$

są skierowane od środka do wierzchołków czworościanu foremnego tworząc między sobą kąty  $109^\circ 28'$  (rys. 5). Energia  $\epsilon_h = (\epsilon_s + 3\epsilon_p)/4$  hybrydy leży pomiędzy energiami  $\epsilon_s$  i  $\epsilon_p$



Rys. 4. Kontury zhybrydyzowanych orbitali  $sp^2$ . Osie trzech hybryd  $sp^2$  leżą w jednej płaszczyźnie i kąty między nimi są  $120^\circ$



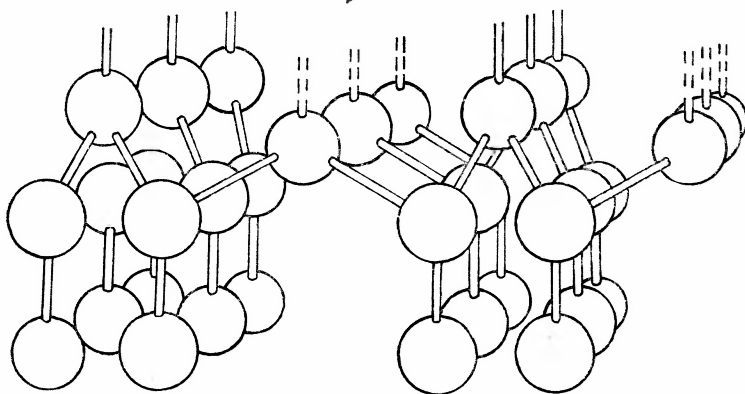
Rys. 5. Kontury zhybrydyzowanych orbitali  $sp^3$ . Osie czterech hybryd  $sp^3$  idą od środka do wierzchołków czworościanu foremnego tworząc między sobą kąty  $109^\circ 28'$

stanów  $s$  i  $p$ . Przekrywanie takich skierowanych hybryd dwóch najbliższych atomów w strukturach tetraedycznych daje szczególnie znaczne, obniżenie energii kombinacji wiążącej (*bonding*), a zatem znaczną energię kohezji kryształu [1].

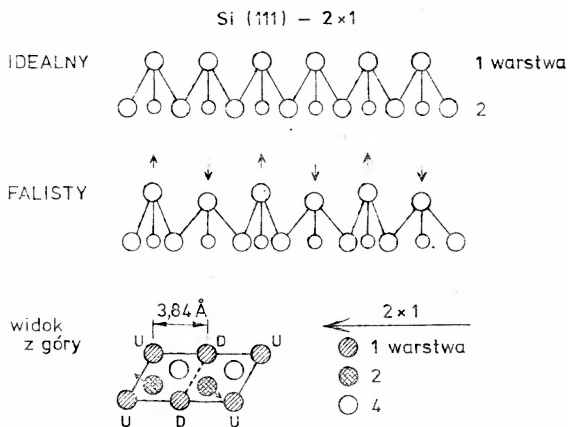
#### 4. Rekonstrukcja $(2 \times 1)$ powierzchni (111)

Hybrydyzację orbitali wyznacza warunek minimum energii układu atomów. Zatem hybrydyzacja orbitali atomu jest uwarunkowana przez jego sąsiadów. Na powierzchni (111) tetraedycznego kryształu atom ma nie czterech a tylko trzech najbliższych sąsiadów. Wobec tego dla zminimalizowania energii atomy w najwyższej warstwie atomowej odchodzą od hybrydyzacji  $sp^3$  odpowiedniej dla czterech sąsiadów. W najwyższej warstwie na przemian co drugi atom obniża się, co drugi podnosi nad powierzchnię. Wiązania obniżonego atomu z trzema atomami w niższej warstwie atomowej będą tworzyć między sobą kąty bliższe  $120^\circ$  odpowiadające hybrydyzacji  $sp^2$ . Wiązania podwyższonego atomu z trzema atomami w niższej warstwie atomowej będą tworzyć między sobą kąty bliższe  $90^\circ$  odpowiadające czystym orbitalom  $p$ . Pozostają dwa elektrony na czystej, luźnej (*dangling*), orbitali  $s$  podwyższonego atomu. W ten sposób na powierzchni (111) powstają na

przemian krawędzie płaszczyzn atomowych obniżone i podwyższone, pokazane schematycznie na rys. 6 i 7. Komórka elementarna na powierzchni ma w kierunku prostopadłym do takich krawędzi podwojony okres, dlatego mówimy o rekonstrukcji  $(2 \times 1)$  powierzchni (111). Wyróżniony podwojonym okresem periodyczności kierunek wyznaczony jest przez



Rys. 6. Perspektywiczny widok modelu falistej powierzchni (111)— $(2 \times 1)$  Si lub Ge [3]

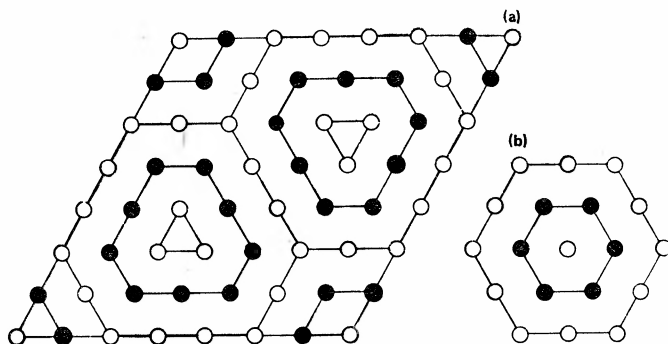


Rys. 7. Model falisty Si(111)— $(2 \times 1)$ , porównany z idealną powierzchnią nierekonstruowaną widzianą z kierunku  $[1\bar{1}0]$ , a na dolnym rysunku z kierunku  $[111]$ . Atomy D przy rekonstrukcji przesuwają się w dół, a atomy U w górę

kierunek postępującego przy łupaniu kryształu pęknięcia. Różnica wysokości atomów obniżonych i podwyższonych w krzemie oceniana jest na 0.3 do 0.4 Å [3—5], krawędzie płaszczyzn atomowych obniżone i podwyższone biegają na długości około 300 Å. Ten model falisty (*buckled*)  $(2 \times 1)$  czystej łupanej powierzchni (111) Si był uzasadniany przede wszystkim na podstawie analizy obrazów ugięcia na powierzchni powolnych elektronów (*low energy electron diffraction* — LEED). Jednak rekonstrukcja  $(2 \times 1)$  powierzchni (111) krzemu jest metastabilna [3].

## 5. Powierzchnia Si(111)—(7×7)

W temperaturach poniżej 830°C stabilną obserwowaną w LEED rekonstrukcją powierzchni (111) czystego Si jest rekonstrukcja (7×7) o trygonalnej komórce jednostkowej zawierającej 25 atomów podwyższonych i 24 atomy obniżone [3, 6—8]. Na rys. 8 odcinki łączące atomy na jednej wysokości pokazują pierścieniowe uporządkowanie atomów różne od prostoliniowego charakterystycznego dla rekonstrukcji falistej (2×1). W rozwartych wierzchołkach jednostkowej komórki (7×7) widać obniżone pierścienie sześciu atomów Si, zupełnie analogiczne do sześciu atomów węgla w cząsteczce benzenu.



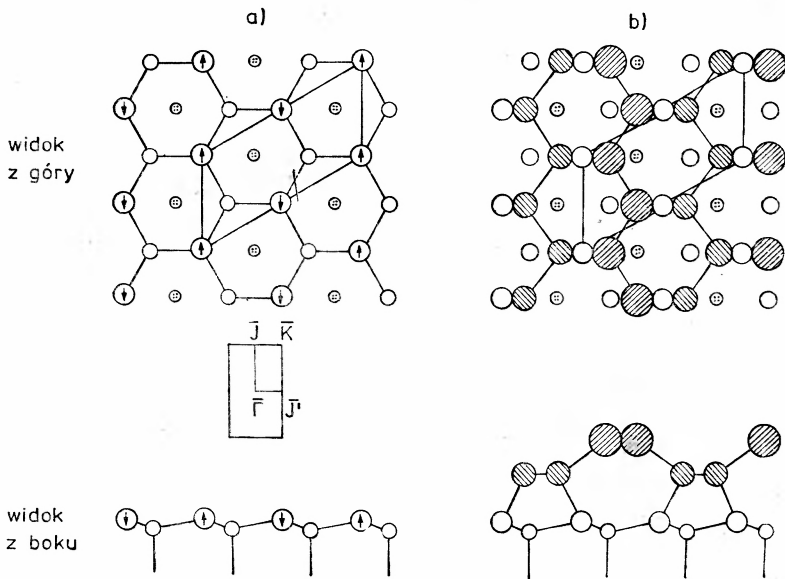
Rys. 8. Model struktury powierzchni Si(111)—(7×7). Kółka puste oznaczają atomy podwyższone, kółka ciemne atomy obniżone. Odcinki łączące atomy mają podkreślić pierścienie [6]

Krawędź komórki jednostkowej zawierająca 7 atomów Chadi [7] wiąże z występowaniem minimum pasma przewodnictwa w krzemie na osi symetrii  $\Gamma X$  w odległości  $(6/7)|\Gamma X|$  od środka  $\Gamma$  strefy Brillouina. Jeżeli taki argument jest słuszny, to na czystej powierzchni (111) germanu rekonstrukcja powinna być inna, ponieważ w germanie minima pasma przewodnictwa znajdują się w punktach  $L$  na powierzchni strefy Brillouina. Rzeczywiście pomiary LEED na czystych powierzchniach (111) Ge wykazują rekonstrukcję (2×8) [3].

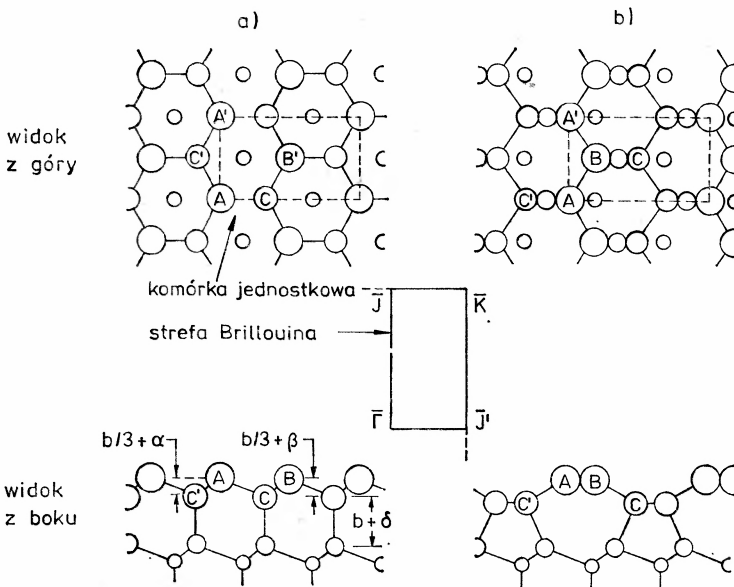
## 6. Model $\pi$ -łańcuchowy

Od 1981 roku coraz bardziej przekonujący okazuje się model  $\pi$ -łańcuchowy ( $\pi$ -bonded chain model) rekonstrukcji powierzchni (111) Si [9—11]. W tym modelu dwa atomy podnoszą się nad powierzchnię zbliżając się do siebie na odległość o 0.1 Å mniejszą niż odległość najbliższych sąsiadów w idealnym kryształ. Dwa sąsiednie atomy obniżają się. Tworzą się biegnące równolegle zygzakowate łańcuchy atomów podniesionych i obniżonych, jak pokazuje widok powierzchni z góry na rys. 9 i 10. Atomy w głębszych warstwach są w swoich idealnych położeniach. Na rys. 11 i 12B z kierunku  $[1\bar{1}0]$  widać zmienioną w porównaniu do kryształu idealnego topologię najwyższych dwóch warstw: zamiast wypukłych pierścieni z sześciu atomów widzimy wypukłe pierścienie z siedmiu i z pięciu atomów. Istotne w modelu  $\pi$ -łańcuchowym są prawie równoległe do kierunku  $[111]$  luźne

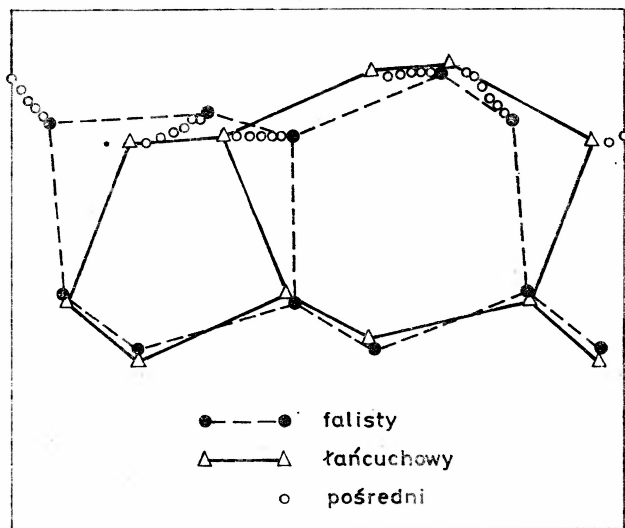




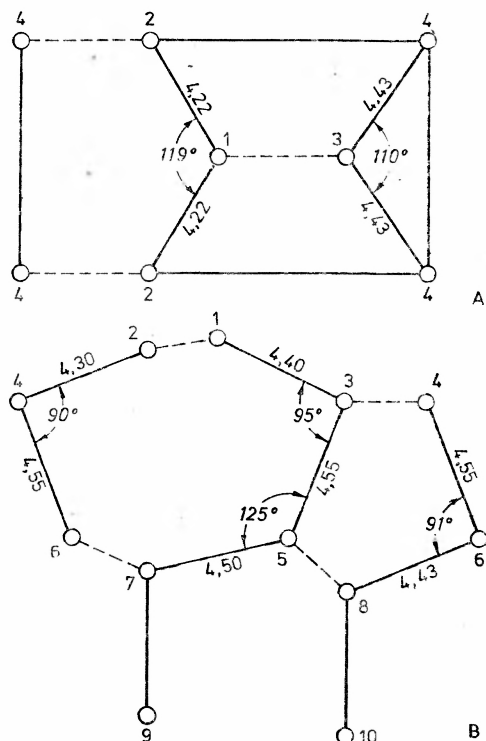
Rys. 9. Rekonstrukcja powierzchni Si(111)—(2×1). a) Model falisty: szeregi atomów (największe kółka) na powierzchni są przemieszczone na przemian do wnętrza i na zewnątrz powierzchni, co zaznaczono schematycznie strzałkami. b) Model łańcuchowy: dwa zygawkowate łańcuchy (zaciemnione kółka) są na przemian obniżone i podwyższone. Topologia jest podobna do topologii idealnej powierzchni (110). Głębsze warstwy zachowują swoje idealne położenia. Oba modele posiadają tu symetrię odbicia w płaszczyźnie (110). Komórka jednostkowa powierzchni jest równoległobokiem, a powierzchniowa strefa Brillouina jest prostokątem [9]



Rys. 10. Rekonstrukcja powierzchni Si(111)—(2×1). a) Model falisty b) Model łańcuchowy. Pionowe rzuty odległości atomów A i B na powierzchni od atomów C i C' w drugiej warstwie są różne od idealnej  $b/3$ . W najwyższym zygawkowatym łańcuchu (kółka zaciemnione) odległości między atomami są o 0.1 Å mniejsze niż w objętości idealnego kryształu i, w modelu symetrycznym, jednakowe wzdłuż łańcucha. W modelu zdimeryzowanym odległości te są na przemian wydłużone i skrócone



Rys. 11. Położenia atomów w najwyższej, w drugiej, w trzeciej i czwartej płaszczyźnie przy powierzchni (111) rzutowane na płaszczyznę  $(1\bar{1}0)$  w geometrii falistej, sześciu pośrednich, oznaczonych pustymi kółkami, i łańcuchowej [12]



Rys. 12. Zoptymalizowana geometria łańcuchowa widziana z kierunku A)  $[111]$  i B)  $[1\bar{1}0]$ . Długości wiązań są w jednostkach atomowych. Długość wiązania w objętości kryształu krzemu wynosi 4.44 jednostek atomowych

wiązania  $\pi$  na najbliższych atomach w najwyższej części pierścienia. Ten model  $\pi$ -łańcuchowy, tak samo jak model falisty, ma symetrię odbicia w płaszczyźnie (1 $\bar{1}$ 0). Luźne orbitale najbliższych atomów w modelu  $\pi$ -łańcuchowym silnie oddziałują, co prowadzi do znacznego obniżenia całkowitej energii i większej dyspersji powierzchniowych pasm energii. W modelu  $\pi$ -łańcuchowym wiązania najbliższych atomów są kowalენტne. Kombinacje stanów  $\pi$  wiążące, zapełnione, i antywiązące, niezapełnione, są w przestrzeni blisko siebie i siły oscylatorów przejścia dipolowego między nimi są duże. Istnieje możliwość modelu łańcuchowego symetrycznego, w którym  $|AB| = |A'B|$  jak na rys. 9, oraz asymetrycznego czy zdimeryzowanego, w którym  $|AB| \neq |A'B|$ . Model symetryczny może być niestabilny względem odkształceń Jahna-Tellera: długości wiązań między atomami Si w najwyższym łańcuchu mogą na przemian wydłużać się i skracać. Model zdimeryzowany jako asymetryczny nie ma już symetrii odbicia w płaszczyźnie (1 $\bar{1}$ 0). Najważniejszym wynikiem dimeryzacji jest powstawanie przerwy energetycznej wzrastającej ze wzrostem asymetrii, w pobliżu energii Fermiego [10].

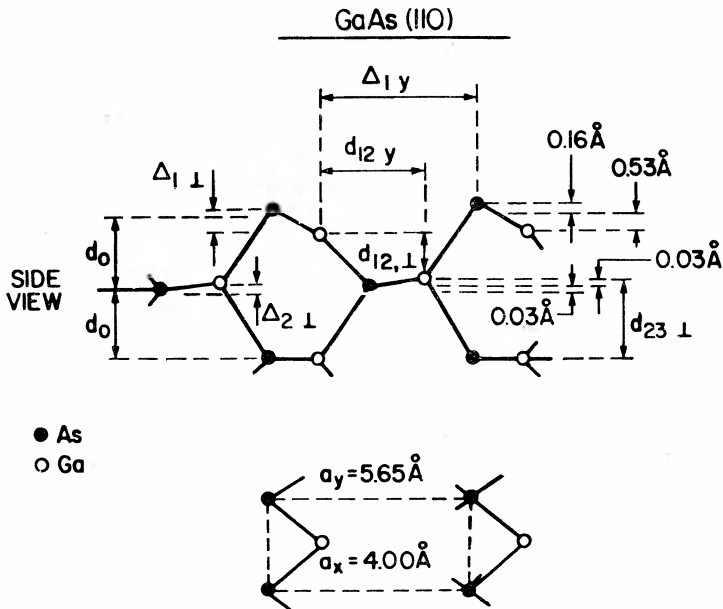
Rachunki całkowitej energii wykonane dla geometrii falistej, kilku pośrednich i geometrii symetrycznego łańcucha, pokazanych na rys. 11, wykazały, że w geometriach pośrednich układ przechodzi przez barierę energetyczną wysokości 0.1 eV na jeden atom powierzchniowy [12]. Energia na pokonanie takiej bariery może być dostarczona w procesie łupania powierzchni. Zoptymalizowana geometria łańcuchowa symetryczna ma energię niższą aniżeli geometria falista o około 0.2 eV na jeden atom powierzchniowy. Dalej, dyspersja pasma stanów powierzchniowych w modelu  $\pi$ -łańcuchowym większa niż w modelu falistym zgadza się z wynikami pomiarów z rozdzielaniem kątowym fotoemisji elektronów (*angular-resolved ultraviolet photoemission spectroscopy* ARUPS) [11, 13], pozwala także wyjaśnić pomiary absorpcji i odbicia w podczerwieni i inne [14]. Model  $\pi$ -łańcuchowy pozwala także opisać wyniki rozpraszania na powierzchni protonów o energii około 100 keV [15]. W modelu  $\pi$ -łańcuchowym atomy na powierzchni są znacznie przesunięte wzdłuż kierunku [1 $\bar{1}$ 2] równoległego do powierzchni i odsłaniają atomy w warstwie leżącej poniżej. Protony o energii 99.2 keV padające prostopadłe na powierzchnię (111) Si w modelu falistym byłyby blokowane przez atomy w najwyższej warstwie i nie byłyby rozpraszane przez atomy w głębszych warstwach. W modelu  $\pi$ -łańcuchowym atomy w drugiej warstwie są odsłonięte i rozpraszają padające prostopadłe protony, które po rozproszeniu w kierunku [1 $\bar{1}$ 1] tj. pod kątem 109.5° są blokowane przez atomy w najwyższej warstwie, co wyraźnie widać w pomiarach kątowych rozpraszania [15].

## 7. Rekonstrukcja powierzchni półprzewodników heteropolarnych

Naturalną powierzchnią wzrostu i łatwego łupania półprzewodników heteropolarnych jest nie płaszczyzna (111), bo taka składa się z samych kationów ani następna, z samych anionów, lecz płaszczyzna (110) zawierająca jednakową liczbę kationów i anionów. Powierzchnia (110) na skutek dehybrydyzacji orbitali atomów zewnętrznych ulega rekonstrukcji. Atomy kolumny III układu periodycznego dehybrydują się od  $sp^3$  do  $sp^2$ , czyli do hybrydyzacji płaskiej, zawierającej trzy elektrony, tyle ile ma atom swobodny. Atomy kolumny V dehybrydują się do konfiguracji zbliżonej do znanej konfiguracji

trójwodorków: trzy wzajemnie prawie prostopadłe orbitale  $p$  są zajęte przez jeden elektron każda, orbitala  $s$  przyjmuje dwa elektrony, razem atom na powierzchni ma tyle samo elektronów co atom swobodny. Atom kationu obniża się, atom anionu zostaje wypchnięty ponad powierzchnię.

Najbardziej dokładną analizę struktury powierzchni (110) półprzewodników heteropólnych typu blendy cynkowej przeprowadzili C. B. Duke [16, 17] z Xerox Research Center w Rochester i A. Kahn [18] z Uniwersytetu w Princeton. Mierzili oni natężenia obrazów dyfrakcji elastycznej elektronów (*elastic-low-energy-electron-diffraction-ELEED*). Ogólny wynik numerycznego dopasowania liczonych i mierzonych natężeń obrazów ELEED pokazuje znaczne podobieństwo rekonstrukcji powierzchni (110) badanych półprzewodników typu blendy cynkowej. Najwyższa warstwa atomów wykazuje obrót do płaszczyzny nachylonej względem płaszczyzny (110) o kąt  $\omega_1$  bliski  $30^\circ$ , z zachowaniem długości wiązań i obniżeniem o około  $0.05 \text{ \AA}$  tak, że kation obniża się o przeszło  $0.5 \text{ \AA}$ , a anion podnosi się o około  $0.15 \text{ \AA}$ . W drugiej warstwie pionowe skrócenie w sensie przeciwnym do obrotu najwyższej warstwy podnosi kation i obniża anion o mniej niż o  $0.1 \text{ \AA}$ . Wektor przesunięcia anionu względem kationu w  $i$ -tej warstwie atomowej,  $\Delta_i$ , i wektory między jednakowymi atomami w warstwach sąsiednich  $d_{ij}$ , mają składowe prostopadłe do powierzchni ( $\perp$ ) i składowe równoległe ( $\parallel$ ), zaznaczone na rys. 13. Cztery niezależne



Rys. 13. Schemat geometrii rekonstrukcji powierzchni (110) GaAs. Dla najwyższych warstw atomowych wielkości przesunięć prostopadłych do powierzchni są podane na rysunku w jednostkach  $\text{Å}$ . Towarzyszą im przesunięcia równoległe do powierzchni tak że długość wiązań jest zachowana [23]

wielkości  $\Delta_{1\perp}$ ,  $\Delta_{1\parallel}$ ,  $d_{12\perp}$  i  $\Delta_{2\perp}$  pozwalają wyznaczyć rekonstrukcję płaszczyzny (110) półprzewodnika typu blendy cynkowej. Szczegółowe wyniki najlepszego dopasowania pomiarów ELEED dla powierzchni ważniejszych półprzewodników podaje tab. 1 [16–26].



Tablica 1. Składowe przesunięcia anionu względem kationu na powierzchni (110). Wektory  $\Delta_i$  i  $d_{ij}$  są zdefiniowane na rys. 13 i wartości ich są podane w Å, kąt skręcenia  $\omega_1$  względem płaszczyzny (110) w stopniach

Kryształ	Warstwa	Anion	Kation	$\Delta_{1\perp}$	$\Delta_{2\perp}$	$d_{12\perp}$	$d_{23\perp}$	$\Delta_{1y}$	$d_{12y}$	$\omega_1$
GaP	1	↑0.09	↓0.54	0.63	0	1.386	1.927	4.242	3.196	27.54
GaAs	1	↑0.159	↓0.527	0.686	-0.060	1.442	2.029	4.518	3.339	31.1
	2	↓0.030	↑0.030							
GaSb	1	↑0.22	↓0.55	0.77	0	1.615	2.163	4.793	3.629	30.0
ZnTe	1	↑0.162	↓0.553	0.715	0.050	1.575	2.178	4.745	3.579	28.0
	2	↓0.025	↑0.025							
CdTe	1	↑0.18	↓0.64	0.82	-0.18	1.56	2.38	5.08	3.85	30.5
	2	↓0.09	↑0.09							

Dla najwyższej warstwy wyniki pomiarów ELEED dają się wyrazić przez zależności liniowe od stałej sieci  $a_0$ :

$$\Delta_{1\perp} = 0.513 + 0.206(a_0 - 5), \quad \omega_1 = 24.5 + 3.98(a_0 - 5),$$

z dokładnością  $\pm 0.05 \text{ \AA}$  dla  $\Delta_{1\perp}$  i  $\pm 2^\circ - 3^\circ$  dla  $\omega_1$ , z wyjątkiem GaAs, dla którego nowe dokładniejsze dopasowanie daje kąt  $\omega_1$  różny o około  $4^\circ$ ; zob. tab. 2 [17] i cytowane publikacje oryginalne.

Tablica 2. Stała sieci  $a_0$  i składowa  $\Delta_{1\perp}$  wektora od anionu do kationu, w jednostkach  $\text{\AA}$ , oraz kąt  $\omega_1$  skręcenia w stopniach względem płaszczyzny (110) w półprzewodnikach typu błendy cynkowej [17]

Kryształ	$a_0$	$\Delta_{1\perp}$	$\omega_1$
CdTe	6.480	0.82	30.5
InSb	6.478	0.78	28.8
GaSb	6.118	0.77	30.0
ZnTe	6.089	0.72	28.0
InAs	6.036	0.78	31.0
InP	5.869	0.69	28.0
GaAs	5.654	0.65	27.3
AlAs	5.62	0.65	27.3
AlP	5.451	0.63	27.5
GaP	5.451	0.58	25.0
ZnS	5.409	0.57	25.0

Ze zmiany charakteru zerwanych na powierzchni wiązań wynika, iż zapełniony stan anionu obniża się, a pusty stan kationu podnosi się na skali energii. Samouzgodnione rachunki metodą pseudopotencjału [27] dały wynik, iż w GaP pasmo zerwanego wiązania fosforu wchodzi w pasmo walencyjne objętościowego kryształu, a pasmo zerwanego wiązania galu wchodzi w pasmo przewodnictwa objętościowego kryształu pozostawiając w górnej części przerwy ogon gęstości stanów. W GaAs i GaSb stany zerwanych wiązań pokrywają się energetycznie z odpowiednimi pasmami objętościowego kryształu, tak iż w przerwie gęstość stanów powierzchniowych równa jest zeru. Pomiarzy zakrzywienia pasm przy powierzchni oraz fotoemisji potwierdziły, że w przerwie wzbronionej półprzewodników III—V nie ma zapełnionych stanów powierzchniowych. W półprzewodnikach typu  $n$  pasma przy powierzchni są płaskie, z wyjątkiem GaP, w którym obserwuje się ogon gęstości stanów powierzchniowych aż do 0.55 eV poniżej dna pasma przewodnictwa [27].

Ustalenie porządku atomów i struktury elektronowej na powierzchniach czystych pomaga w zrozumieniu położenia atomów adsorbowanych.

W procesie wzrostu kryształu powierzchnia zostaje pokryta przybywającymi atomami. Najwyższa warstwa staje się warstwą drugą i wobec tego re-rekonstruuje się tak, iż odstępstwa położenia atomów od położenia idealnych w objętości kryształu stają się znikome, jak to widać w tab. 1. Tak, warstwa po warstwie, postępuje proces budowania kryształu.

## Literatura

- [1] W. A. Harrison, *Electronic Structure and the Properties of Solids. The Physics of the Chemical Bond*, W. H. Freeman & Co., San Francisco 1980.
- [2] M. A. Herman, *Postepy Fizyki* **34**, 431 (1983).
- [3] D. Hanneman, *Adv. Phys.* **31**, 165 (1982).
- [4] F. J. Himpsel, P. Heimann, D. F. Eastman, *Phys. Rev.* **B24**, 2003 (1981).
- [5] G. V. Hansson, R. Z. Bachrach, R. S. Bauer, D. J. Chadi, W. Göpel, *Surf. Sci.* **99**, 13 (1980).
- [6] D. J. Chadi, *Surf. Sci.* **99**, 1 (1980).
- [7] D. J. Chadi, *J. Vac. Sci. Technol.* **17**, 989 (1980).
- [8] G. Binning, H. Rohrer, Ch. Gerber, E. Weibel, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 120 (1983).
- [9] K. C. Pandey, *Phys. Rev. Lett.* **47**, 1913 (1981); **49**, 213 (1982).
- [10] K. C. Pandey, *Phys. Rev.* **B25**, 4338 (1982).
- [11] H. Lüth, A. Ritz, R. Matz, *Surf. Sci.* **132**, 46 (1983).
- [12] J. E. Northrup, M. L. Cohen, *Phys. Rev. Lett.* **49**, 1349 (1982).
- [13] G. V. Hansson, R. I. G. Uhrberg, J. M. Nicholls, *Surf. Sci.* **13**, 31 (1983).
- [14] F. J. Himpsel, Th. Fauster, G. Hollinger, *Surf. Sci.* **132**, 22 (1983).
- [15] R. M. Tromp, L. Smith, J. F. van der Veen, *Phys. Rev. Lett.* **51**, 1672 (1983).
- [16] C. B. Duke, *Adv. Ceram.* **4**, 1 (1983).
- [17] C. B. Duke, *J. Vac. Sci. Technol.* **B1**, 732 (1983).
- [18] A. Kahn, *J. Vac. Sci. Technol.* **A1**, 684 (1983).
- [19] R. J. Meyer, C. B. Duke, A. Paton, J. C. Tsang, J. L. Yeh, A. Kahn, P. Mark, *Phys. Rev.* **B22**, 6171 (1980).
- [20] C. B. Duke, R. J. Meyer, A. Paton, W. K. Ford, A. Kahn, J. Carelli, J. L. Yeh, *J. Vac. Sci. Technol.* **18**, 866 (1981).
- [21] C. B. Duke, A. Paton, W. K. Ford, A. Kahn, J. Carelli, *Phys. Rev.* **B24**, 562 (1981).
- [22] C. B. Duke, A. Paton, W. K. Ford, A. Kahn, G. Scott, *Phys. Rev.* **B24**, 3310 (1981).
- [23] C. B. Duke, S. L. Richardson, A. Paton, A. Kahn, *Surf. Sci.* **127**, L 135 (1983).
- [24] C. B. Duke, A. Paton, A. Kahn, *J. Vac. Sci. Technol.* **A1**, 672 (1983).
- [25] C. B. Duke, A. Paton, A. Kahn, *Phys. Rev.* **B27**, 3436 (1983).
- [26] C. B. Duke, A. Paton, A. Kahn, C. R. Bonapace, *Phys. Rev.* **B27**, 6189 (1983); **28**, 852 (1983).
- [27] P. Manghi, C. M. Bertoni, C. Calandra, E. Molinari, *Phys. Rev.* **B24**, 6029 (1981).

*Duane A. Dicus*

The University of Texas  
Austin, USA

*John R. Letaw*

Severn Communications Corporation  
Severna Park, USA

*Doris C. Teplitz*

*Vigdor L. Teplitz*

Physics and Astronomy Dept.  
University of Maryland  
College Park, USA

## Przyszłość Wszechświata \*

### The Future of the Universe

*Abstract:* A forecast for the expanding universe through the year  $10^{100}$ : all protons will decay, galaxies will form black holes and black holes will „evaporate”. If the universe collapses, it may cycle.

Osiągnięcia kilku ostatnich lat w dziedzinie fizyki oddziaływań cząstek elementarnych przy wysokich energiach doprowadziły do znacznego postępu także w zakresie kosmologii. Próby opisu wszystkich fundamentalnych sił przyrody jako różnorodnych aspektów jednej podstawowej siły przyniosły częściowy sukces w postaci „teorii wielkich unifikacji” cząstek elementarnych. W ramach takich teorii można podać wstępny opis dominujących zjawisk fizycznych poczynając od temperatur skrajnie niskich, aż do temperatur rzędu  $10^{32}$  K. Dzięki temu można zająć się własnościami materii, której gęstość zmienia się w granicach istotnych dla kosmologii, tzn. od  $10^{-300}$  g/cm<sup>3</sup> do  $10^{100}$  g/cm<sup>3</sup>. Ekstremalne warunki odpowiadające obu końcom tej skali mogą panować tylko w bardzo wczesnych lub bardzo późnych stadiach ewolucji Wszechświata.

Przed paru laty kosmologowie zaczęli pokazywać, że fizyka teoretyczna może dać spójny obraz historii Wszechświata, poczynając od  $10^{-35}$  s od jego początku. Ostatnio

---

\* Artykuł, opublikowany w *Scientific American* 248, no. 3 (March), 74 (1983), został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission. Copyright © 1983 by Scientific American, Inc. All rights reserved.] (przyp. Red.).



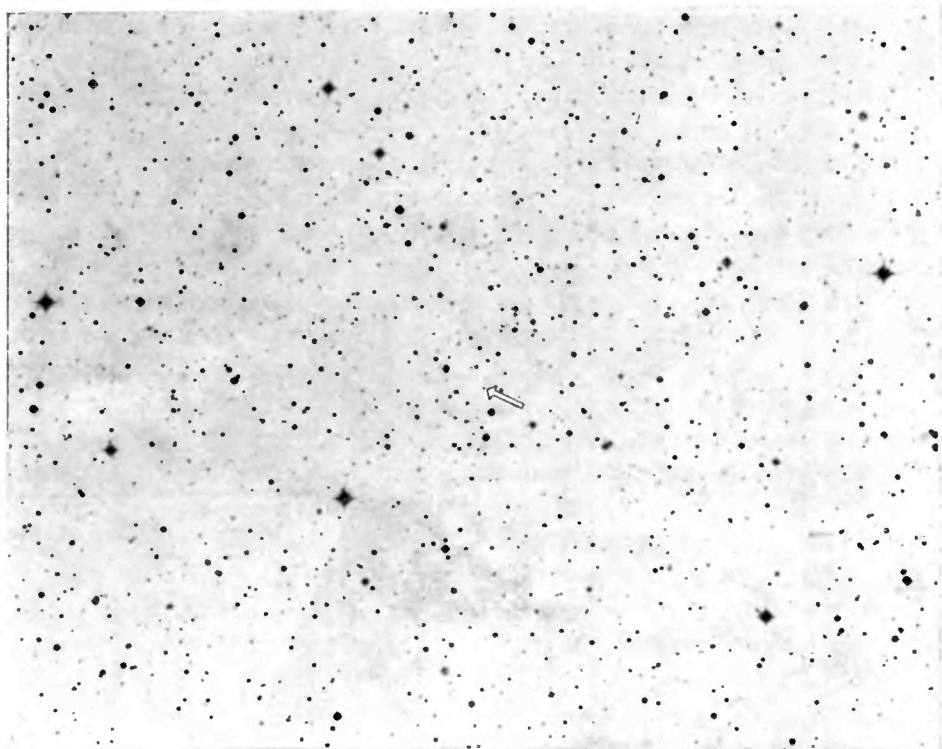
niektórzy fizycy i kosmologowie, w tym nasza czwórka, dokonali ekstrapolacji w przeszłość biegu wydarzeń kosmicznych, sięgając do czasów  $10^{100}$  razy większych niż obecny wiek Wszechświata<sup>1</sup>. Niezależnie od samej fascynacji takim przedsięwzięciem, jest jeszcze szereg innych powodów, aby się go podjąć. Z punktu widzenia fizyki teoretycznej ekstrapolacja taka umożliwia wykonanie pewnego rodzaju eksperymentu myślowego: obliczając do jakich efektów w danej epoce doprowadzą oddziaływania rozmaitych czynników przewidywanych przez teorię, można testować globalną spójność i sensowność tej teorii. Jest nieprawdopodobne, by w zwykłym laboratorium udało się kiedykolwiek osiągnąć temperatury i gęstości, dla których istnieją przewidywania teorii wielkich unifikacji. Tak więc teorie te sprawdzamy w czymś, co fizycy nazywają „ostatecznym laboratorium” — jest nim Wszechświat jako całość. Z punktu widzenia kosmologii znaczenie naszych ekstrapolacji polega na tym, że teorie wielkich unifikacji mają również konsekwencje możliwe do sprawdzania w ziemskich laboratoriach, a zatem przewidywania tych teorii w warunkach ekstremalnych mogą być potwierdzone doświadczalnie. Możemy przez to naszkicować ciąg wydarzeń w odległej przyszłości z dużo większą dokładnością, niż to było możliwe jeszcze do niedawna.

Wszelkie obliczenia dotyczące odległej przyszłości wykonujemy w ramach modelu Wielkiego Wybuchu. Jest obecnie powszechnie przyjęte, że ewolucja Wszechświata została zdeterminowana w pierwszych chwilach Wielkiego Wybuchu. Według tego modelu, Wszechświat zaczął istnieć wskutek wybuchu niezwykle gęstego pierwotnego obiektu 10 do 20 mld lat temu. Sama nazwa „Wielki Wybuch” i terminologia związana z pojęciem wybuchu są częściowo właściwe, bowiem materia i energia rzeczywiście wydają się być wyrzucone w przestrzeń z jednego miejsca. Ale nazwa ta jest zarazem myląca, bowiem błędne jest wyobrażenie, że eksplozję tę można było oglądać z zewnątrz. Nie istnieje zewnętrzny punkt obserwacji, gdyż tym, co ulega wybuchowi, jest cały Wszechświat. Przestrzeń jako taka eksploduje, tzn. rozszerza się w tym sensie, że odległość pomiędzy dwiema dowolnymi galaktykami rośnie z prędkością zależną od ich odległości (rys. 1). Dla obserwatora w naszej galaktyce wszystkie galaktyki zdają się uciekać z szybkością rosnącą o 17 km/s co każdy milion lat świetlnych<sup>2</sup>. Matematycznie ścisłego opisu Wielkiego Wybuchu dostarcza einsteinowska ogólna teoria względności.

O tym, że odległe galaktyki oddalają się od nas, wnioskujemy z faktu, iż obserwowane ich światło jest przesunięte w kierunku czerwonej części widma elektromagnetycznego. Rozszerzanie się i ochładzanie Wszechświata zmieniło w sposób znacznie bardziej dramatyczny widmo promieniowania o innych długościach fal, mianowicie kosmicznego promieniowania reliktowego. Jest to mikrofalowe promieniowanie tła nieba, odkryte w 1964 r. przez Arno A. Penziasa i Roberta W. Wilsona, pracujących wówczas w Laboratoriach Bella. Promieniowanie tła wydaje się przychodzić z równym natężeniem z każdego punktu na niebie — natężenie to zmienia się z kierunkiem o mniej niż jedną część

<sup>1</sup> Por. także tłumaczony w *Postęпах Fizyki* artykuł F. J. Dysona „Czas bez końca: fizyka i biologia w otwartym Wszechświecie” [2] (przyp. Red.).

<sup>2</sup> Tzn. stała Hubble’a wynosi  $H \simeq 50$  km/sMpc. Wartość tej stałej, znana z dokładnością do czynnika 2, jest przedmiotem ciągłych kontrowersji ze względu na błędy systematyczne występujące przy jej wyznaczaniu (przyp. tłum.).



Rys. 1. Najdalszym znanym obiektem jest kwazar o nazwie PKS 2000-330, dla którego przesunięcie ku czerwieni wynosi 3,78, co oznacza, że oddala się on od nas z prędkością około 92% prędkości światła. Ta ogromna prędkość ucieczki jest zapewne wynikiem Wielkiego Wybuchu; jeśli tak, to kwazar ten jest odległy o ponad 16 mld lat świetlnych od naszej Galaktyki. Fotografia jest negatywem, kwazar jest ciemnym, podobnym do gwiazdy obiektem w samym jej środku. Obiekty tak odległe pozwalają kosmologom zdobyć pewne informacje o warunkach fizycznych panujących w dalekiej przeszłości, a dzięki temu dokonać ekstrapolacji niektórych zjawisk w daleką przyszłość. Światło z kwazara docierające obecnie na Ziemię zostało wysłane wkrótce po Wielkim Wybuchu [Photography by Photolabs, Royal Observatory, Edinburgh. Original negative by UK Schmidt Telescope. Copyright © 1982.]

na  $10^4$ . Źródłem promieniowania relikтового były procesy rozpraszania i anihilacji cząstek naładowanych we wczesnych etapach Wielkiego Wybuchu. Promieniowanie to było początkowo bardzo gorące, ale ekspansja Wszechświata ochłodziła je do obecnej temperatury ok. 3 K.

Gdy Wszechświat liczył sobie trzy minuty, gęstość i temperatura materii osiągnęły takie wartości, że możliwe stało się zajście pierwszych reakcji jądrowych, odpowiedzialnych za syntezę helu, oraz, w znacznie mniejszym stopniu, innych lekkich pierwiastków. Wszechświat ochładzał się jednak zbyt szybko, by mogły zajść reakcje syntezy węgla i pierwiastków cięższych, pozostały więc wielkie ilości wodoru, mogące w przyszłości służyć jako paliwo jądrowe w gwiazdach. Wcześniej, reakcje zachodzące zaledwie w  $10^{-38}$  s po Wielkim Wybuchu wytworzyły obecną nadwyżkę materii nad antymaterią. Większość teorii wielkich unifikacji, według których opisujemy te reakcje, przewiduje, że w przyszłości cała materia jądrowa ulegnie rozpadowi. Niestety obecna znajomość warunków panują-

cych we wczesnym Wszechświecie nie jest wystarczająca, by odpowiedzieć na najbardziej interesujące pytanie w kosmologii: Czy Wszechświat będzie się rozszerzać wiecznie, czy też siły przyciągania zatrzymają ekspansję i ściągną całą przestrzeń i czas z powrotem w ognistą kulę, z jakiej się on narodził?

Chociaż wysiłek wielu lat obserwacji i studiów teoretycznych poświęcony był temu właśnie pytaniu, sprawa jest wciąż nie rozstrzygnięta. W zasadzie najprostszym sposobem rozstrzygnięcia jej byłoby zmierzenie ilości materii w dużym, reprezentatywnym obszarze przestrzeni i oszacowanie w ten sposób średniej gęstości materii we Wszechświecie. Jeżeli gęstość ta jest równa lub większa niż pewna gęstość krytyczna, wynosząca w przybliżeniu trzy protony na metr sześcienny, to grawitacja ostatecznie przeważa nad rozszerzaniem się i Wszechświat zapadnie się. Taki wszechświat nazywamy zamkniętym. Jeżeli natomiast średnia gęstość jest mniejsza od wartości krytycznej, to wszechświat nazywamy otwartym; ekspansja będzie stale spowalniana przez ciężenie, lecz nigdy nie ustanie. Trzeba dodać, że takie procesy fizyczne jak spalanie się gwiazd czy rozpad cząstek elementarnych nie mogą przekształcić wszechświata zamkniętego w otwarty.

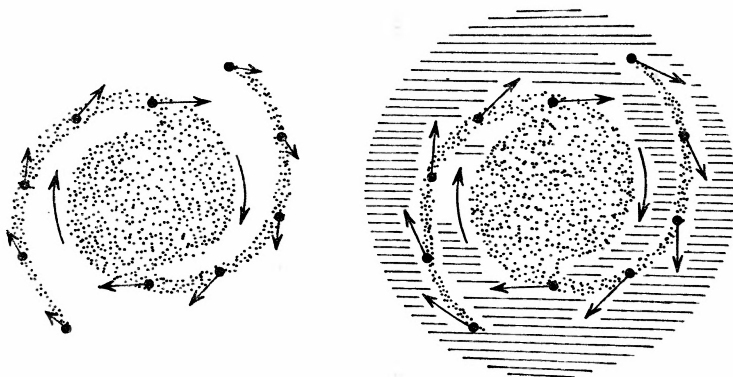
Oceny liczby gwiazd w typowej galaktyce oraz liczby galaktyk w jednostce objętości dają gęstość materii wynoszącą zaledwie 5% wartości krytycznej. W oparciu o to wnioskuje się, że Wszechświat jest otwarty i będzie się wiecznie rozszerzać. Jednakże każda ocena gęstości oparta na zliczaniu gwiazd uwzględnia tylko materię świecącą; jeżeli materia ciemna daje znaczący wkład do masy Wszechświata, to powyższa ocena daje wynik zaniżony.

Są pewne świadectwa istnienia materii ciemnej w galaktykach. Prędkość, z jaką gwiazda obiega centrum galaktyki, do której należy, powinna wzrastać z odległością od centrum dla gwiazd leżących wewnątrz galaktyki oraz maleć z odległością dla gwiazd na peryferiach. Okazuje się, że dla gwiazd peryferyjnych oczekiwany spadek prędkości obiegu nie występuje — przeciwnie, obserwowany rozkład prędkości prowadzi do wniosku, że na skraju galaktyk znajduje się „halo” materii ciemnej, o całkowitej masie równej lub dwukrotnie większej od masy materii świecącej w galaktykach (rys. 2). Oznacza to, że materia ciemna odpowiada za 5 do 10 procent masy koniecznej do zamknięcia Wszechświata.

Podobnie, obserwowane ruchy galaktyk w gromadach galaktyk wydają się wymagać istnienia materii ciemnej w ilości stanowiącej 50% gęstości krytycznej Wszechświata. Materia ciemna mogłaby również wytłumaczyć, dlaczego galaktyki nie rozbiegają się w dowolnych kierunkach, lecz pozostają związane w gromadach. Ta nieświecąca materia mogłaby występować w postaci chłodnych skał, wygasłych gwiazd, chmur gazowych lub nawet czarnych dziur.

Jeżeli oprócz tego istnieje jeszcze dodatkowa materia w ilości 50% gęstości krytycznej, konieczna do tego, by rzeczywista gęstość Wszechświata równa była krytycznej, to może się ona składać ze zjonizowanych atomów wodoru lub neutrin. Zjonizowany wodór dałby się wykryć za pomocą teleskopów rentgenowskich znajdujących się na orbicie okołoziemskiej. Jeśli chodzi o neutrina, to powinno ich być w przybliżeniu tyle samo co fotonów w promieniowaniu reliktowym, tzn. kilkaset neutrin w  $1 \text{ cm}^3$ . Ich wkład do gęstości Wszechświata zależy od ich masy. Początkowo przypuszczano, że neutrina nie mają masy spoczynkowej, ale najnowsze eksperymenty nakładają jedynie górną granicę na ich masę i nie wykluczają możliwości, że masa neutrin wystarczy do zamknięcia Wszechświata.

Co więcej, są pewne argumenty teoretyczne sugerujące, że neutrino mają masę i szereg grup doświadczalnych usiłuje ją zmierzyć. Eksperymenty takie winny w ciągu najbliższych paru lat dać pozytywny wynik i tym samym definitywnie rozstrzygnąć problem zamknię-



Rys. 2. **Materia ciemna** może stanowić znaczącą część całkowitej masy Wszechświata. Są oznaki, że ta materia stanowi co najmniej połowę masy większości galaktyk. Gdyby galaktyki składały się wyłącznie z bezpośrednio obserwowanej materii, to gwiazdy na skraju galaktyki obiegałyby centrum galaktyki z prędkościami malejącymi ze wzrostem odległości (z *lewej*). Jednak obserwowana prędkość peryferycznych gwiazd nie spada z odległością. Rozbieżność tę wyjaśnia się założeniem, że niewidoczna materia jest rozłożona w całym obszarze galaktyki oraz w „halo” wokół niej. Gwiazdy, które wydają się na skraju, byłyby w rzeczywistości zanurzone w materii galaktycznej, zatem rozkład ich prędkości w funkcji odległości winien byłby przypominać rozkład obserwowany (z *prawej*). Długości strzałek są proporcjonalne do prędkości gwiazd

tości. Z drugiej strony, jeśli te eksperymenty dadzą wynik negatywny, to rozstrzygnięcie problemu możliwe będzie wyłącznie na drodze coraz dokładniejszych pomiarów odległości i prędkości ucieczki dalekich galaktyk.

Wprawdzie aktualna niepewność co do wartości średniej gęstości Wszechświata jest taka, że dopuszczalny jest zarówno Wszechświat zamknięty jak i otwarty, to niepewność ta nie przekracza dwu rzędów wielkości. Fakt, że Wszechświat nie zaczął się kurczyć przed osiągnięciem obecnego wieku oznacza, że jego rzeczywista gęstość nie może przewyższać wartości ok. 10 razy większej od gęstości krytycznej. Z kolei ocena gęstości oparta na materii świecącej wskazuje, że gęstość ta nie może być mniejsza niż  $1/20$  gęstości krytycznej. Nikt nie wie jak wytłumaczyć ten uderzający zbieg okoliczności.

Skoro problem zamkniętości Wszechświata pozostaje nadal obserwacyjnie nie rozstrzygnięty, należy wziąć pod uwagę obie możliwości przy wszelkich rozważaniach o dalekiej przyszłości. Załóżmy najpierw, że gęstość jest poniżej krytycznej, a więc że Wszechświat jest otwarty. Co może się zdarzyć? Odpowiedź musi dotyczyć zarówno struktur wielkoskalowych (tzn. ewolucji własności geometrycznych Wszechświata), jak i obiektów lokalnych (tzn. obiektów materialnych poczynając od protonów, a na galaktykach kończąc).

Według obecnego stanu wiedzy, lokalne obiekty w otwartym wszechświecie ulegną kolejno sześciu głównym przemianom. Najpierw, w ciągu  $10^{14}$  lat od Wielkiego Wybuchu,

wszystkie gwiazdy zużywają swoje paliwo. Głównym paliwem jądrowym jest wodór, który przekształcany jest w hel w jądrach gwiazd przez niemal całe ich życie. Po wypaleniu większości wodoru gwiazda gwałtownie puchnie, zwiększając wielokrotnie swój promień i przekształcając się w czerwonego olbrzyma; na tym etapie gwiazda spala hel na węgiel i cięższe pierwiastki. Te reakcje termojądrowe są przemianami jednokierunkowymi: wodór spala się w hel, hel w węgiel, a węgiel w cięższe pierwiastki tworzące szereg, który kończy się żelazem. Jądro żelaza ma niższą energię całkowitą na jednostkę masy niż jakiegokolwiek inne jądro, tak że gdy tylko „granica żelaza” zostanie osiągnięta, to w tym momencie energia Wszechświata zmagazynowana w postaci paliwa jądrowego zostanie całkowicie uwolniona.

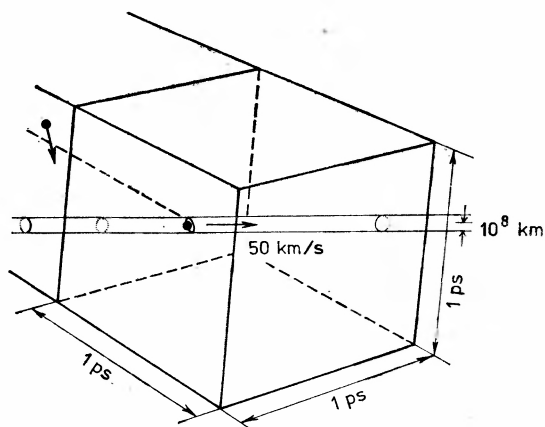
Szybkość, z jaką paliwo jądrowe jest przez gwiazdę zużywane, zależy od jej masy: im gwiazda jest cięższa, tym szybciej płonie i tym krócej żyje. Np. Słońce zużyje większość swego wodoru w przeciągu około 10 mld lat, po czym gwałtownie zmieni swoje rozmiary, w szaleńczym tempie spali część cięższych pierwiastków i po krótkim czasie zapadnie się w małego, wolno stygnącego białego karła. Gwiazdy najmniejsze przejdą te same stadia ewolucji, ale w czasie wielokrotnie dłuższym niż Słońce; w końcu i one osiągną granicę żelaza. Zauważmy, że chociaż wyczerpanie paliwa jądrowego jest tylko pierwszym z sześciu głównych wydarzeń w przyszłości Wszechświata otwartego, to nastąpi ono w czasie bardzo dla nas odległym. Ostatnie gwiazdy zgasną, gdy Wszechświat będzie  $10^4$  razy starszy niż jest obecnie.

Drugim głównym wydarzeniem jest utrata planet przez gwiazdy. Jeśli do gwiazdy posiadającej planetę zbliży się inna gwiazda na odległość porównywalną z promieniem orbity planetarnej, to orbita ulegnie tak silnemu zakłóceniu, że planeta może uciec od macierzystej gwiazdy. Średni czas, po jakim możemy oczekiwać takiego zbliżenia, zależy od gęstości gwiazd w danym rejonie, od rozmiarów orbit planetarnych oraz od względnej prędkości gwiazd. Gęstość gwiazd możemy wyrazić za pomocą objętości, w której spodziewać się należy przynajmniej jednej gwiazdy. Gwiazda posiadająca planetę zakreśla w przestrzeni cylinder, którego objętość zależy od promienia orbity i prędkości gwiazdy. Przeciętny czas pomiędzy zbliżeniami gwiazd równy jest czasowi potrzebnemu na to, by objętość tego cylindra stała się równa średniej objętości, w której spodziewamy się znaleźć jedną gwiazdę (rys. 3).

Gęstość gwiazd w Galaktyce równa jest z grubsza jednej gwieździe na 35 (lat świetlnych)<sup>3</sup>. Freeman J. Dyson z Institute for Advanced Study w Princeton ocenia, że rozsądna wartość promienia orbity planetarnej wynosi  $10^8$  km i dodaje, że typowy układ planetarny ma prędkość względną ok. 50 km/s. Objętość cylindra zakreślonego przez taki układ osiągnie 35 (lat świetlnych)<sup>3</sup> po ok.  $10^{15}$  lat i jest to czas, w którym należy oczekiwać rozrywającego orbitę spotkania gwiazd. Bezpiecznie jest przyjąć, że po 100 takich zbliżeniach wszystkie planety danej gwiazdy zostaną wyrzucone w przestrzeń, tak więc po upływie  $10^{17}$  lat wszystkie gwiazdy utracą swoje planety.

Trzecim przewidywanym głównym wydarzeniem jest wynik jeszcze ciaśniejszego zbliżenia dwu gwiazd; jego skutek staje się wyraźnie widoczny w skali galaktycznej. Gdy dwie gwiazdy zbliżają się do siebie, oddziaływanie grawitacyjne może przekazywać energię kinetyczną od jednej gwiazdy do drugiej. Jeżeli zbliżenie jest dostatecznie ciasne, to jedna

gwiazda może uzyskać tak dużą energię, że jej prędkość stanie się równa prędkości ucieczki z galaktyki. Zachowanie energii w oddziaływaniu wymaga, by druga gwiazda utraciła odpowiednią ilość energii kinetycznej, stając się przez to jeszcze mocniej związaną z jądrem galaktyki.



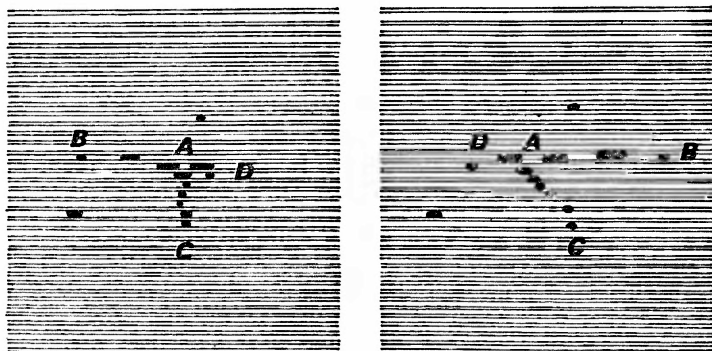
Rys. 3. Częstość zblżeń gwiazdy i układu planetarnego może być oszacowana z liczby galaktyk w jednostce objętości, rozmiarów układu i jego prędkości względem gwiazd. Zblżenia zaburzają orbitę planety, ilekroć gwiazda zbliży się na odległość porównywalną z promieniem orbity. Przeciętnie zblżenie zajdzie w ciągu czasu potrzebnego na to, by układ planetarny zakreślił w przestrzeni cylinder o objętości równej tej, w której przeciętnie znajduje się jedna gwiazda. W naszej Galaktyce jest średnio jedna gwiazda na 35 (lat świetlnych)<sup>3</sup>. Układom planetarnym przypisujemy prędkość względną 50 km/s i promień orbity  $10^8$  km; wówczas zblżenia zdarzają się przeciętnie raz na  $10^{15}$  lat. Po stu takich zblżeniach, na co potrzeba  $10^{17}$  lat, orbity wszystkich planet ulegną zniszczeniu i planety ulecą w przestrzeń międzygwiazdną

Zjawisko to można nazwać parowaniem galaktycznym, bowiem oddziaływania gwiazd odtwarzają na gigantyczną skalę oddziaływania molekuł parujących z powierzchni cieczy. Podobna wymiana energii może spowodować ucieczkę z galaktyki znacznych ilości międzygwiazdowego gazu. Gdy około 90% pierwotnej masy galaktyki wyparuje już w przestrzeń, pole grawitacyjne wciągnie pozostałe gwiazdy, pył i gaz do jądra galaktyki, którego gęstość będzie przez to stale rosła. Przypuszcza się, że galaktyki w swej obecnej postaci zawierają centralną, superciężką czarną dziurę, tzn. obszar w przestrzeni, z którego nie można uciec (chyba, że w procesach kwantowych). Nawet jeśli w danej galaktyce taka czarna dziura obecnie nie istnieje, to przypuszczalnie jądro galaktyczne będzie zwiększać swą gęstość tak długo, dopóki siły ciężenia nie przewyżczą oporu stawianego przez ciśnienie gazu i jądro nie zacznie zapadać się; tak czy inaczej supermasywna czarna dziura uformuje się w centrum galaktyki. Obliczenia podobne do tych, które naszkicowaliśmy w przypadku utraty planet przez gwiazdy pokazują, że proces wyparowywania gwiazd i zapadania się galaktyk winien zakończyć się po upływie  $10^{18}$  lat.

Czwarta i piąta przemiana, których spodziewamy się w otwartym Wszechświecie, są późnymi zjawiskami kosmologicznymi, przewidywanymi przez większość teorii wielkich unifikacji, ale zjawiska te staną się ważne dopiero wtedy, gdy Wszechświat osiągnie wiek 100 razy większy niż czas potrzebny na zapadnięcie się galaktyk ( $10^{20}$  lat). Zadaniem teorii

wielkich unifikacji jest przedstawienie wyczerpującego opisu oddziaływań silnych, słabych i elektromagnetycznych cząstek elementarnych. Przy względnie niskich energiach osiągalnych w ziemskich laboratoriach te trzy siły zachowują się w sposób całkowicie odmienny; tym niemniej aktualne teorie traktują je jako przejawy jednego oddziaływania i ta jedność ukazuje się jawnie przy energiach odpowiadających temperaturom rzędu  $10^{27}$  K. W tak wielkiej temperaturze cząstki takie jak kwarki, które „odczuwają” oddziaływania silne mogą przekształcać się w elektrony i pozytony, które z kolei w niższych temperaturach odczuwają tylko siły elektromagnetyczne i słabe. W temperaturach niższych takie przemiany cząstek stają się wysoce nieprawdopodobne, chociaż nadal mogą zdarzać się sporadycznie. Proton, który uważany jest za układ złożony z trzech kwarków, mógłby rozpaść się, gdyby jego składowe kwarki uległy takiej właśnie przemianie.

Według większości teorii wielkich unifikacji, protony powinny rozpadać się w czasie rzędu  $10^{30}$  do  $10^{32}$  lat; a zatem rozpadów z szybkością przynajmniej jednego rozpadu na rok należy oczekiwać w każdym zbiorowisku zawierającym  $10^{32}$  protonów, np. w porcji wody o masie 160 ton. Istnieje obecnie 13 eksperymentów, bądź już pracujących, bądź



Rys. 4. Rozpad protonu jest zjawiskiem, które jeśli zachodzi, będzie mieć ważny wpływ na przyszłość Wszechświata. Rozpad, jeśli nie jest zbyt rzadki, winien być wykrywalny w doświadczeniach. Większość „teorii wielkich unifikacji” określa czas życia protonu na  $10^{30}$  do  $10^{32}$  lat. W 13 eksperymentach już prowadzonych lub przygotowywanych usiłuje się zaobserwować taki rozpad. Obecnie badane są wstępne wyniki z dwu eksperymentów. Ewentualne sygnały rozpadu zarejestrowano w kopalni złota Kolar w południowych Indiach; inny sygnał znaleźli fizycy z CERN-u pracujący w tunelu pod Mont Blanc. Ten ostatni sygnał pokazany jest schematycznie w dwu wzajemnie prostokątnych rzutach. Równoległe płaszczyzny to płyty żelaza, w których poszukuje się rozpadów, a czarne kreski oznaczają produkty rozpadu. Jeśli hipoteza rozpadu protonu zostanie potwierdzona, to w historii Wszechświata należy umieścić kamień milowy w pobliżu roku  $10^{30}$ . Wszelka materia z wyjątkiem elektronów, pozytonów, fotonów, neutrin i czarnych dziur ulegnie rozpadowi do tego momentu

w przygotowaniu, mających na celu obserwację wielkich mas wody, żelaza lub innych materiałów w poszukiwaniu rozpadów protonu. Sygnały, które wstępnie zidentyfikowano jako ślady rozpadu, zarejestrowano w bryle 150 ton żelaza, umieszczonego na głębokości 2300 m w kopalni złota w Kolar w pobliżu Bangaloru w południowych Indiach. Pojedynczy sygnał kandydujący do roli rozpadu protonu zarejestrowały także detektory zainstalowane w tunelu pod Mont Blanc pomiędzy Francją a Włochami. Byłoby przedwczesnym oceniać, czy taka interpretacja tych sygnałów utrzyma się przy dokładniejszym zbadaniu.



Jeżeli proton ulega rozpadowi, to proces ten będzie mieć zasadnicze znaczenie dla gwiazd, które nie zostały wychwycone przez galaktyczne czarne dziury. Są to gwiazdy, które drogą parowania uciekły z galaktyk; dzięki zachodzącym w ich wnętrzu rozpadom protonów i neutronów będą one ciałami znacznie cieplejszymi niż otaczający je ośrodek międzygwiazdowy. Przy czasie życia protonu  $10^{30}$  lat, szybkość rozpadów w typowej gwiazdzie jest rzędu  $10^{27}$  na rok. Rozpad każdego protonu jest źródłem istnej ulewy wysokoenergetycznych elektronów, pozytonów, neutrin i fotonów. Wszystkie cząstki potomne z wyjątkiem neutrin są absorbowane przez gwiazdę i ich energia ją ogrzewa.

Dokładną temperaturę gwiazdy w erze rozpadu protonów możemy wyznaczyć porównując szybkość wypromieniowania energii z gwiazdy do szybkości, z jaką energia cieplna jest wyzwolana w procesach rozpadu. W tym stanie równowagi temperatura zależy od masy gwiazdy, pola powierzchni, z której ciepło może być wypromieniowane oraz od energii spoczynkowej i czasu życia protonu. Równowagowa temperatura wynosi 100 K dla najcięższych wygasłych gwiazd (które, paradoksalnie, są zarazem najmniejsze) oraz około 3 K dla gwiazd lżejszych, ale większych.

Gwiazdy ochładzają się do swej temperatury równowagowej w ciągu ok.  $10^{20}$  lat i od tamtej pory ich temperatura będzie w przybliżeniu stała, aż do momentu gdy większość protonów rozpadnie się, co nastąpi około roku  $10^{30}$ . „Żarzące się” ciepłem z rozpadu protonów gwiazdy są zimne w porównaniu z normalnymi gwiazdami, lecz nie w porównaniu z temperaturą promieniowania relikтового, będącego pozostałością po Wielkim Wybuchu. Temperatura tego promieniowania zależy silnie od własności wszechświata otwartego. Jeżeli gęstość materii jest poniżej krytycznej, to temperatura reliktoowa spadnie do roku  $10^{30}$  do  $10^{-20}$  K. Jeżeli natomiast gęstość jest dokładnie równa krytycznej, to wszechświat będzie rozszerzać się wolniej i temperatura promieniowania relikтового obniży się tylko do  $10^{-13}$  K. Innymi słowy, temperatura ta będzie o 13 lub 20 rzędów wielkości niższa od temperatury wygasłych gwiazd.

Rozpad protonu zmienia również skład gazu międzygwiazdowego, który wyparował przed zapadnięciem się galaktyk. Wewnątrz gwiazdy pozyton uwolniony przez rozpad protonu szybko spotyka elektron i obie cząstki anihilują. Anihilacja wytwarza nowe fotony, które ogrzewają gwiazdę. W przestrzeni międzygalaktycznej gęstość materii jest tak niska (i stale maleje wskutek rozszerzania się Wszechświata), że zderzenia pozytonów z elektronami są skrajnie mało prawdopodobne. Rzeczywiście, do roku  $10^{30}$  otwarty wszechświat o gęstości poniżej krytycznej powiększy swoje rozmiary  $10^{20}$  razy w stosunku do rozmiarów obecnych<sup>3</sup>, więc średnia odległość pomiędzy elektronem i pozytonem w przestrzeni międzygwiazdowej osiągnie obecne rozmiary naszej Galaktyki. (Jeśli gęstość materii jest dokładnie równa gęstości krytycznej, to wszechświat rozszerzy się  $10^{13}$  razy.) Ośrodek międzygwiazdowy stanie się wówczas skrajnie rozrzedzonym gazem, złożonym z około 1% istniejących obecnie elektronów i z pozytonów utworzonych przez rozpad 1% istniejących obecnie protonów.

<sup>3</sup> Wszechświat otwarty jest nieskończony, więc jego rozmiary w każdej chwili po Wielkim Wybuchu są nieskończone. Mówiąc o wzroście rozmiarów Autorzy mają na myśli fakt, że każda odległość (np. między dwiema dowolnymi galaktykami) w danym przedziale czasu wzrośnie tę samą ilość razy (przyp. tłum.).

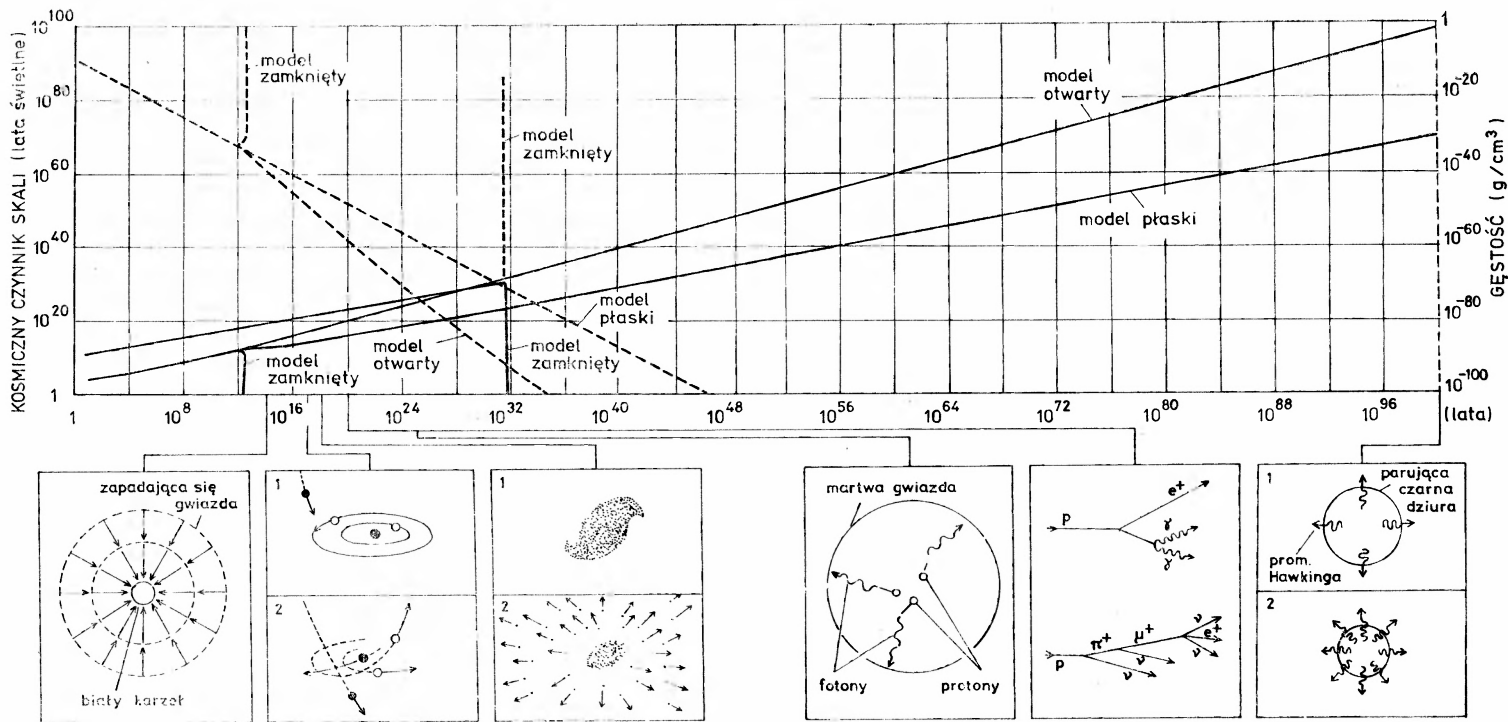


Zjawiska wywoływane rozpadem protonów wyczerpią się do momentu, gdy Wszechświat osiągnie wiek  $10^{32}$  lat, czyli wiek 100 razy dłuższy od czasu życia protonu. Tym, co pozostanie wówczas we Wszechświecie, będzie rozrzedzony gaz elektronowo-pozytonowy, wyemitowane w poprzednich epokach fotony i neutrino oraz superciężkie czarne dziury. Fotony i neutrino pochodzą z samego Wielkiego Wybuchu, z czasów gdy świeciły gwiazdy, z rozpadów protonów i neutronów w ciągu całej historii, wreszcie z końcowego rozpadu wygasłych gwiazd. Fotony i neutrino tracą energię i podobnie jak inne składniki Wszechświata ulegają ciągłemu rozrzedzaniu wskutek ekspansji. Pod wszelkimi innymi względami wszechświat o gęstości podkrytycznej pozostaje w bezruchu aż do mniej więcej roku  $10^{100}$ , a więc przez okres  $10^{68}$  razy dłuższy niż wszystkie procesy dotąd omówione.

Szóstym i ostatnim głównym wydarzeniem, które ma zająć w przyszłości otwartego wszechświata, jest rozpad czarnych dziur. W najprostszej, klasycznej interpretacji teorii grawitacji Einsteina nic nie jest w stanie uciec z wnętrza czarnej dziury. Istnieje granica zwana horyzontem zdarzeń, na której prędkość ucieczki równa jest prędkości światła; żadna cząstka znajdująca się pod horyzontem zdarzeń nie może poruszać się tak szybko, by go przekroczyć. Niemniej jednak, S. W. Hawking z Cambridge University wykazał w 1974 r., że istnieje zjawisko kwantowe, dzięki któremu czarna dziura może utracić całą energię związaną ze swą masą i w konsekwencji zniknąć.

Zjawiskiem tym jest pewna konsekwencja zasady nieoznaczoności Heisenberga, głoszącej, że istnieje tylko określone prawdopodobieństwo zmierzenia położenia lub pędu dowolnej cząstki z zadaną z góry dokładnością. Mówiąc ściślej, iloczyn niepewności położenia cząstki i niepewności jej pędu nie może być mniejszy od pewnej stałej. W fizyce klasycznej (tzn. w teoriach nie uwzględniających efektów kwantowych), cząstka może przekroczyć barierę energetyczną jeśli posiada dostatecznie dużo energii, by się wspiąć na nią. Horyzont zdarzeń jest absolutną barierą energetyczną w fizyce klasycznej: cząstka nie jest w stanie zebrać tak dużo energii, by ją pokonać. Jednakże dzięki zasadzie nieoznaczoności cząstka, która pierwotnie znajdowała się w jednym obszarze, może pojawić się później w innym obszarze, i to nawet jeżeli jej klasyczna energia jest dużo niższa od wysokości bariery energetycznej pomiędzy obu obszarami. O cząstce, która przekracza barierę energetyczną w ten sposób, bez uzyskania energii koniecznej do wspięcia się na nią, mówimy, że ulega tunelowaniu przez barierę. Hawking wykazał, że ponieważ cząstki mogą tunelować kwantowo poprzez horyzont zdarzeń, to masa i energia mogą być wyrzucane z czarnej dziury.

Hawking wyliczył, że szybkość, z jaką czarna dziura emituje energię jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu jej masy. Początkowo szybkość ta jest mała, ale w miarę jak masa maleje, straty energii rosną. Wynika stąd, że wszystkie czarne dziury muszą w końcu zniknąć, czyli wyparować. Dla superciężkich czarnych dziur będących relikdami galaktyk, które się zapadły, czas wyparowania jest rzędu  $10^{100}$  lat (rys. 5). Większość produktów tego rozpadu stanowią fotony; emitowane są one w coraz większych ilościach i z coraz wyższymi energiami w końcowych stadiach wyparowywania. A zatem po upływie  $10^{100}$  lat Wszechświat składać się będzie ze skrajnie rozrzedzonego gazu elektronów, pozytonów i neutrin, z niskoenergetycznych fotonów wyemitowanych na długo przed rozpadem

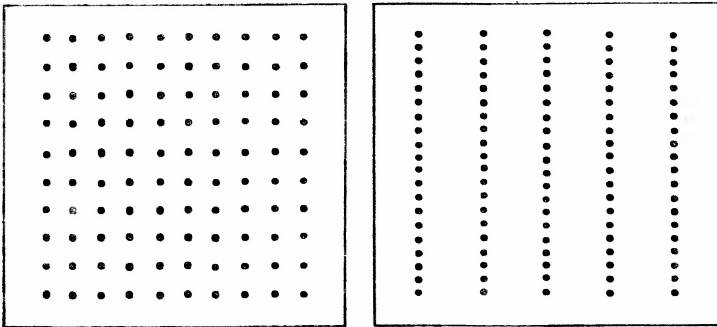


Rys. 5. Współczesna fizyka sugeruje, że w przyszłości Wszechświata należy spodziewać się zajścia sześciu ważnych wydarzeń, jeżeli tylko rozpoczęta Wielkim Wybuchem ekspansja trwać będzie tak długo, by miały one czas nastąpić. Wykres podaje zależność kosmicznego czynnika skali (linia ciągła) oraz gęstości materii (linia przerywana) od czasu dla czterech modeli kosmologicznych: dwu modeli wszechświata zamkniętego, jednego modelu otwartego oraz modelu wszechświata granicznego pomiędzy otwartymi i zamkniętymi (tzw. model płaski). Jeżeli Wszechświat jest otwarty, to gęstość materii jest zbyt niska dla zatrzymania ekspansji, która trwać zatem będzie wiecznie. Jeżeli Wszechświat jest zamknięty, to ciśnienie przewyżczy w końcu ekspansję i ściągnie go z powrotem do punktu o nieskończonej gęstości. Nie wiadomo, jaki wszechświat naprawdę zamieszkujemy. Przyszłe wydarzenia są przedstawione szkicowo: gwiazdy zużywają swoje paliwo i kurczą się wskutek własnego ciśnienia w ciągu  $10^{14}$  lat; układy planetarne tracą planety w wyniku ciasnych zbliżeń z innymi gwiazdami po upływie  $10^{17}$  lat. Galaktyki tracą większą część masy po upływie  $10^{18}$  lat wskutek ciaśniejszych zbliżeń pomiędzy gwiazdami oraz wskutek rozpraszania jednych atomów wodoru na innych i zderzeń pomiędzy cząstkami pyłu. Porcje materii, które dzięki zbliżeniom z innymi uzyskały dostatecznie dużą prędkość, mogą pokonać siły ciśnienia galaktycznego i uciec w przestrzeń, zaś pozostała materia zapada się tworząc superciężką czarną dziurę. W zimnych gwiazdach, które uciekły z galaktyk, procesy rozpadu protonów generują ciepło. Ten sposób ogrzewania nabiera znaczenia po roku  $10^{20}$ , a do roku  $10^{30}$  około 40% materii we Wszechświecie ulegnie takiemu rozpadowi. Po upływie  $10^{100}$  lat superciężkie czarne dziury zanikną wskutek kwantowego „wyparowywania”

czarnych dziur oraz z licznymi rozszerzających się sfer wysokoenergetycznych fotonów wypromieniowanych przez parujące czarne dziury.

Matematyczne modele wielkoskalowej struktury otwartego wszechświata mówią nam, że Wszechświat, w którym żyjemy, jest tworem bardzo szczególnym. Aby opisać wszechświat matematycznie należy zadać 6 wielkości: 3 z nich określają szybkość ekspansji w trzech kierunkach w przestrzeni, a pozostałe 3 podają tempo zmian szybkości ekspansji (tzn. przyspieszenie lub opóźnienie) w tych kierunkach. Jeśli zadać w jednej chwili te 6 wielkości oraz w tejże chwili podać rozkład energii, to wartości tych wielkości oraz rozkład energii mogą być wyliczone dla dowolnej chwili późniejszej.

W 1973 r. Hawking i C. B. Collins wykazali, że dla niemal wszystkich możliwych wartości tych wielkości wkrótce po Wielkim Wybuchu, wszechświat stawać się będzie w miarę upływu czasu coraz bardziej anizotropowy. Wskutek różnic w szybkościach rozszerzania się, średnia odległość między galaktykami wzdłuż jednej osi przestrzennej będzie coraz bardziej różnić się od analogicznej średniej odległości w innym kierunku. Wynik ich wskazuje, że nasz rzeczywisty Wszechświat jest bardzo szczególny — jest niezmiernie mało prawdopodobny. Na przykład, jak już wspominaliśmy, promieniowanie reliktowe nie zależy od



Rys. 6. Rozkład materii i energii we Wszechświecie wydaje się z dużą dokładnością jednorodny i izotropowy. W jednorodnym wszechświecie równe objętości wypełnione są równymi liczbami galaktyk. We wszechświecie izotropowym gęstość materii i energii jest jednakowa we wszystkich kierunkach i jest też jednorodna. Obie te własności nie są sobie równoważne: wszechświat jednorodny nie musi być izotropowy. Jeżeli materia jest rozłożona tak jak na rysunku po lewej, to wszechświat jest zarazem jednorodny i izotropowy. Rozkład na rysunku po prawej jest jednorodny lecz nie izotropowy. Odległość sąsiednich galaktyk jest w kierunku pionowym mniejsza niż w kierunku poziomym. Anizotropia we wszechświecie jednorodnym jest wytwarzana przez ekspansję, której szybkość zależy od kierunku

kierunku z dokładnością  $1:10^4$ . W skali kosmicznej również materia jest rozłożona równomiernie. Podstawowym, nierozwiązanym problemem w kosmologii jest wytłumaczenie, dlaczego Wszechświat jest niemal idealnie izotropowy (rys. 6).

Jedną z prób rozwiązania tego problemu polega na tym, że wybieramy początkowe wartości powyższych sześciu wielkości w taki sposób, by gęstość energii materii i promieniowania była dokładnie równa gęstości krytycznej. Jeżeli teraz w ciągu całej swojej historii wszechświat taki jest zdominowany przez materię korpuskularną, nigdy zaś przez

promieniowanie, to żadna początkowa anizotropia nie będzie wzrastać z czasem. Jednakże rozpad protonu może doprowadzić do zdominowania tego wszechświata przez promieniowanie.

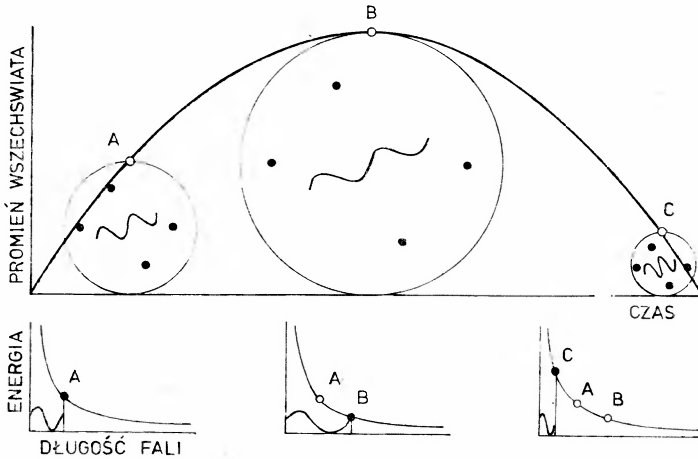
John D. Barrow i Frank J. Tipler z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley wykazali, że we wszechświecie o gęstości krytycznej elektron i pozyton pochodzące z rozpadu protonów zaczną łączyć się w pary po czasie dłuższym niż  $10^{70}$  lat. Każda taka para stanowi efektywnie atom, z tym, że elektron i pozyton krążą wokół siebie w stanie tak wysokiego wzbudzenia, że przestrzenne rozmiary pary są większe niż widzialny obecnie Wszechświat. Im później taka para się tworzy, tym większe są jej rozmiary.

W miarę upływu czasu elektron i pozyton w parze poruszają się po zwiijającej się do wnętrza spirali i w końcu anihilują wytwarzając wysokoenergetyczne fotony. Rozszerzanie się wszechświata powoduje wydłużenie fal tych fotonów. W modelu rozważanym przez Barrowa i Tiplera, wszechświat w końcu zostaje zdominowany przez promieniowanie i pierwotna anizotropia rośnie. Dalsze badania, przeprowadzone przez Dona N. Page'a i M. Randalla Mc Kee z Uniwersytetu Stanu Pensylwania wykazały jednak, że przy pewnych warunkach pary elektronowo-pozytonowe mogą nadal dominować w gęstości energii wszechświata, mimo że ich liczba maleje. Przesunięcie ku czerwieni długości fal fotonów zmniejsza ich energię, a coraz dłuższy czas potrzebny na anihilację coraz później utworzonych par powoduje, że szybkość emisji nowych fotonów spada. Dzięki temu może się okazać, że wzrost anizotropii, charakterystyczny dla wszechświatów zdominowanych przez promieniowanie, nie będzie możliwy.

Wszystkie dotychczasowe rozważania dotyczą naturalnie wszechświata otwartego. Rozpatrzmy teraz przyszłość Wszechświata przy założeniu, że istnieje dostatecznie dużo materii nieświecącej, aby siły grawitacyjne zatrzymały rozszerzanie się, a następnie wywołały kontrakcję. Zamknięty wszechświat będzie żyć tym dłużej, im średnia gęstość materii bliższa jest gęstości krytycznej. Niestety, nie znamy żadnego powodu, dla którego średnia gęstość miałaby być na tyle bliska krytycznej, żeby Wszechświat dotrwał do momentu, gdy większość protonów ulegnie rozpadowi. Przypuszczalnie zatem Wszechświat w chwili osiągnięcia maksymalnych rozmiarów składać się będzie z wygasłych gwiazd, resztek zapadniętych galaktyk w postaci superciężkich czarnych dziur oraz niskoenergetycznych fotonów i neutrin, a więc z tego samego, z czego składałby się, gdyby był otwarty.

Zaskakującą właściwością wszechświata zamkniętego jest fakt, że chociaż energia jest zachowywana lokalnie, to całkowita masa czyli energia tego wszechświata już nie jest zachowywana. Dla danego wszechświata całkowita energia jest w fazie kurczenia się większa niż w okresie rozszerzania. Rozważmy foton wysłany ze Słońca w przestrzeń międzygalaktyczną. Prawo zachowania jest spełnione w procesie emisji, bowiem energia unoszona przez foton jest ściśle równoważona przez drobny ubytek masy Słońca. W miarę rozszerzania się wszechświata, fala fotonu wydłuża się w tym samym stosunku, wskutek czego jego energia maleje. Gdy wszechświat kurczy się, fala fotonu kurczy się tak samo, więc jego energia rośnie. W ostatecznym efekcie fala fotonu ulega skróceniu, co oznacza, że uzyskał on dodatkową energię, która nie jest skompensowana ubytkiem masy czy energii w jakimkolwiek innym obszarze kosmosu. Dlatego też w fazie kurczenia się wszechświat jest gorętszy niż był w fazie rozszerzania. Fotony dające największy wkład do nad-

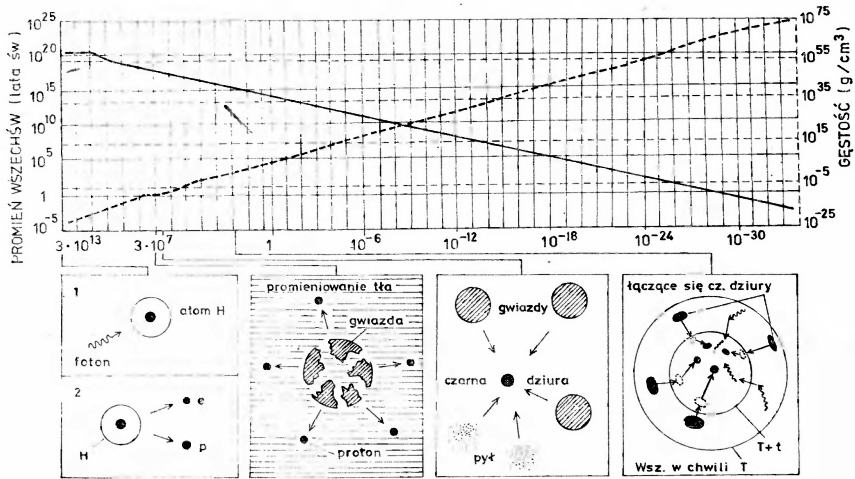
wyżki energii zostały wyemitowane wtedy, gdy rozmiary wszechświata były bardzo bliskie wartości maksymalnej, bowiem te właśnie fotony najbardziej powiększą swą energię (rys. 7).



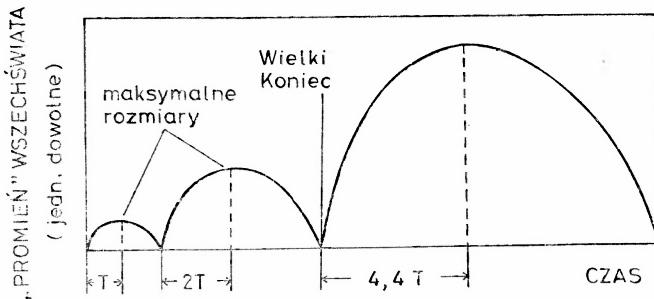
Rys. 7. **Energie cząstek swobodnych** nie są zachowywane we wszechświecie zamkniętym. Kosmiczna ekspansja lub kontrakcja powodują, że zjawiska zależne od odległości zmieniają się z czasem, tak samo jak odległość dwu punktów na powierzchni balonika rośnie lub maleje w miarę jak balonik nadyma się lub kurczy. Zatem długość fali fotonu rośnie podczas ekspansji i maleje w czasie kontrakcji. Energia fotonu jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali, wskutek czego maleje ona przy ekspansji i wzrasta przy kontrakcji. Gdy długość fali fotonu jest mniejsza niż była w momencie emisji, to energia wszechświata jako całości wzrasta. Ta dodatkowa energia mogłaby wydłużyć okres następnego cyklu ewolucji

Najważniejsze wydarzenia zachodzące w fazie ekspansji wszechświata zamkniętego tworzą ten sam ciąg co we wszechświecie otwartym. (W tym ostatnim nie ma, oczywiście, stadium kurczenia się.) Zapadanie się wszechświata zamkniętego badało kilku ludzi, m. in. Martin J. Rees z Cambridge. Nabierające, wskutek kontrakcji, energii fotony ogrzewają wygasłe gwiazdy aż do tego stopnia, że te zaczynają gwałtownie płonąć, wybuchają lub parują. Powstająca w ten sposób „zupa” cząstek elementarnych naśladowałaby kolejne etapy ewolucji z okresu ekspansji wszechświata, gdyby nie efekty związane z obecnością czarnych dziur. Wraz ze wzrostem gęstości, czarne dziury wchłaniają coraz więcej otaczającego je materiału, a przy każdym zderzeniu dwie dziury zlewają się w jedną. Z obliczeń wynika, że we wszechświecie zawierającym jedną superciężką czarną dziurę na każdą galaktykę, wygasłe gwiazdy zostaną wychwycone przez czarne dziury wkrótce po tym, jak gwiazdy pękną i ich zawartość zacznie z nich parować. W końcu wszystkie czarne dziury połączą się w jedną wielką, która pokryje się z całym wszechświatem (rys. 8).

Fizyka teoretyczna na obecnym etapie rozwoju nie jest w stanie dać pełnego opisu zapadania się czarnej dziury — nie wiadomo w jaki sposób ekstrapolować równania rządzące wielkoskalową strukturą wszechświata wstecz w czasie aż do stanu nieskończonej gęstości. Można natomiast wyobrazić sobie, że zanim gęstość osiągnie nieskończone wartości, jakiś nieznanый mechanizm spowoduje, że wszechświat „odbije się” i ponownie zacznie się rozszerzać (rys. 9).



Rys. 8. Końcowe stadia kurczenia się wszechświata zamkniętego odwarzałyby z grubsza w odwrotnej kolejności etapy jego ekspansji, gdyby nie wpływ czarnych dziur. Około 20 mld lat przed Wielkim Końcem (*Big Crunch*), czyli całkowitym zapadnięciem grawitacyjnym zamkniętego wszechświata, skurczy się on do dzisiejszych rozmiarów, tzn. gęstość energii osiągnie wartość obecną. W miarę kurczenia się fotony uzyskiwać będą coraz wyższe energie i wszechświat będzie się stale rozgrzewać. Mniej więcej milion lat przed Wielkim Końcem fotony rozszczepią atomy międzygwiazdowego wodoru na protony i elektrony. Na rok przed Końcem temperatura na zewnątrz gwiazd stanie się wyższa niż w ich wnętrzu i gwiazdy rozpadną się. Zapewne w tym też czasie superciężkie czarne dziury zaczną pochłaniać materiał z rozpadu gwiazd jak również promieniowanie. Na trzy minuty przed Końcem superciężkie czarne dziury zaczną łączyć się; proces ten zobrazowany jest za pomocą kurczącej się sfery reprezentującej kontrakcję przestrzeni. Wykres podaje zależność gęstości materii i kosmicznego czynnika skali od czasu; otrzymano go całkując numerycznie równania Einsteina. Czas liczony jest w sekundach od Wielkiego Końca



Rys. 9. Wszechświat może być cykliczny, jeśli jest zamknięty i jeśli istnieją jakieś zjawiska fizyczne, które spowodują, że „odbije się” on i ponownie zacznie się rozszerzać. Ponieważ w fazie kontrakcji całkowita energia wzrasta, to każdy kolejny cykl trwa dłużej niż poprzedni. Jeżeli obecna faza ekspansji trwać będzie 100 razy dłużej niż wynosi aktualny wiek Wszechświata, to w następnym cyklu faza rozszerzania się będzie około dwa razy dłuższa. Okres dalszych cykli wzrośnie o jeszcze większy czynnik

Jeśli wszechświat może odbić się, to może pozostawać zamknięty i rozwijać się cyklicznie. Energia uzyskana przez fotony w fazie kurczenia się mogłaby być zachowywana w procesie odbicia; wówczas z każdym kolejnym cyklem wszechświat byłby dla danej temperatury większy niż był w poprzednim cyklu, również czas jego życia wydłużałby się

w kolejnych cyklach. Robert H. Dicke i P. J. E. Peebles z Uniwersytetu w Princeton oraz nasza czwórka wyliczyliśmy, że jeśli nasz Wszechświat jest cykliczny, to faza ekspansji w następnym cyklu powinna być w przybliżeniu dwa razy dłuższa niż w cyklu obecnym. Czas życia wcześniejszych cykli był odpowiednio mniejszy; wyliczyliśmy, że obecny Wszechświat odbił się nie więcej niż 100 razy po cyklu, który trwał na tyle długo, by uformować jedną generację gwiazd. Główną trudnością modelu z odbiciami jest problem, jak wytłumaczyć fakt, że skrajnie niejednorodny i lokalnie anizotropowy wszechświat złożony z odrębnych, kolejno łączących się czarnych dziur ulega w momencie odbicia wygładzeniu, tak by następny cykl rozpoczął w stanie jednorodnym i izotropowym.

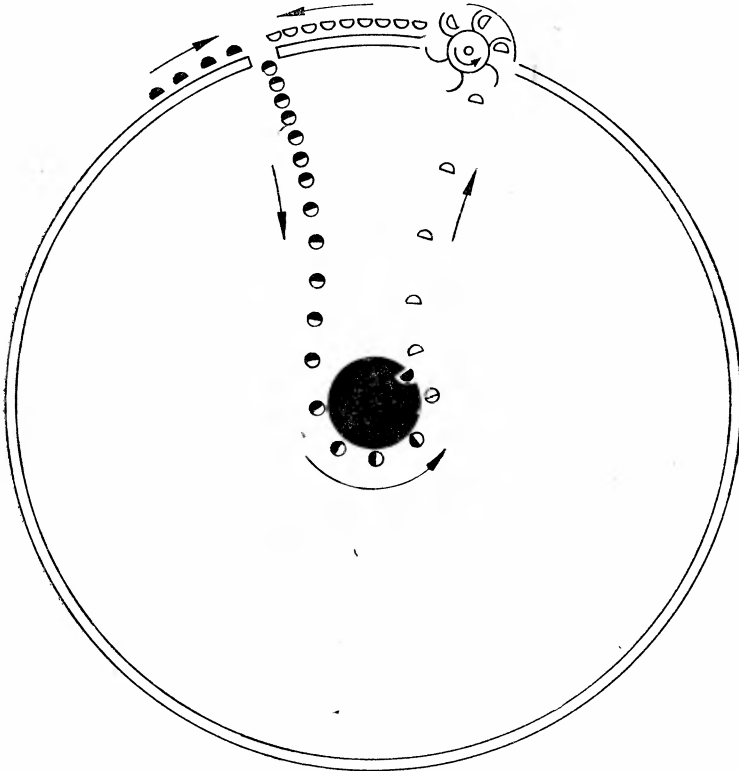
Jeśli Wszechświat jest cykliczny i jeśli pewne reakcje zachodzące w bardzo wysokich temperaturach, dostępnych na początku każdego cyklu, prowadzą do wytworzenia nadwyżki materii nad antymaterią, to wyciągnąć stąd można ważny wniosek. Ewolucja Wszechświata od początku każdego cyklu aż do uformowania, a potem rozpadu galaktyk, przebiegać będzie w każdym cyklu ten sam ciąg zdarzeń. W miarę jak cykle wydłużają się, coraz większego znaczenia nabierać będą zjawiska, które opisaliśmy w późnych etapach życia wszechświata otwartego. Na przykład poczynając od pierwszego cyklu, w którym faza ekspansji jest dłuższa od dziesięciomiliardowej części czasu życia protonu (tzn. dłuższa niż  $10^{20}$  lat), energia uzyskana w fazie kurczenia będzie zdominowana przez fotony pochodzące z rozpadu protonów. W rezultacie następne cykle zostaną wydłużone nie o czynnik 2, lecz o czynnik 1000. Jeszcze większe wydłużenie cykli, o czynnik rzędu  $10^{12}$ , może być skutkiem łączenia się czarnych dziur.

Z punktu widzenia człowieka najważniejsze zapewne pytanie, jakie można postawić odnośnie do Wszechświata, dotyczy przyszłości życia i rozumu. Czy skłonność do myślenia może trwać dowolnie długo we Wszechświecie coraz bardziej wrogim wobec życia takiego, jakie istnieje na Ziemi? Kilku kosmologów, a wśród nich Dyson i Steven C. Frautschi z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego zaczęło rozważać takie zagadnienia, jak wielkość zasobów energii koniecznej dla dowolnie długiego podtrzymywania życia oraz dla utrzymywania łączności pomiędzy członkami społeczeństwa rozrzuconego po wciąż rosnącym obszarze Kosmosu.

Dyson zakłada, że życie i świadomość nie muszą być wcale ucieleśnione w komórkach i w DNA — wręcz przeciwnie, sądzi on, że podstawową cechą świadomości jest złożoność struktury, którą osiągnąć można w każdym materiale, który jest akurat wygodny. Jego zdaniem więc idea odczuwającego komputera lub odczuwającej i myślącej chmury nie może być po prostu odrzucona jako filozoficznie niespójna.

Przy tych założeniach, zmiany środowiska wywołane wystygnięciem gwiazd i ich wyparowaniem z galaktyk nie muszą być przeszkodami nie do przezwyciężenia dla układu, który skłonni bylibyśmy uważać za żywy i rozumny. Na przykład energia mogłaby być, przynajmniej w zasadzie, czerpana z pola grawitacyjnego superciężkiej czarnej dziury (rys. 10). Niestety rozpad protonów i neutronów spowoduje zapewne zasadniczą zmianę sytuacji, bowiem wydaje się nieprawdopodobne (choć nie niemożliwe); aby rozum mógł powstać w wiotkiej tkance elektronów i pozytonów. Ponadto, jeżeli Wszechświat jest zamknięty, to warunki niezbędne dla życia mogą zaistnieć tylko w pewnych okresach w ciągu każdego cyklu.

We wszechświecie otwartym zasadniczą przeszkodę dla życia stanowi coś zupełnie innego. Wraz z wyparowaniem czarnych dziur nastąpi kosmiczny kryzys energetyczny, bowiem w miarę rozszerzania się wszechświata istniejące w nim cząstki tracą energię. W tej epoce zużywanie energii ze stałą szybkością przez istoty żywe będzie wykluczone.



Rys. 10. Nadejście kosmicznego kryzysu energetycznego może być odsunięte w bardzo odległą przyszłość dzięki istnieniu czarnych dziur powstałych wskutek zapadania się galaktyk. W zasadzie możliwe jest spożytkowanie energii zawartej w polu grawitacyjnym czarnej dziury, a zatem dostatecznie rozwinięta cywilizacja mogłaby utrzymywać się przez przynajmniej  $10^{100}$  lat, czyli tak długo, jak długo istnieć będą czarne dziury. Najbardziej efektywny sposób wyciągania energii z czarnej dziury zaproponowali Charles Misner z Uniwersytetu Stanu Maryland, Kip Thorne z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego i John Wheeler z Uniwersytetu Stanu Texas w Austin. Wokół wirującej czarnej dziury buduje się sztywną powłokę i zbędny dla cywilizacji materiał wysyła się satelitą w pobliże horyzontu zdarzeń, tzn. brzegu obszaru, z którego nic nie może uciec. Blisko horyzontu, materiał ten jest wyrzucany z satelity na równiku czarnej dziury w taki sposób, że zarówno grawitacyjna energia potencjalna zrzuconego materiału, jak i energia rotacyjna czarnej dziury maleją. Ponieważ całkowita energia satelity i czarnej dziury musi być zachowana, więc energia satelity wzrasta o te dwa ubytki. Uzyskana przez satelitę energia może być przekształcona w postać użyteczną

W tej sytuacji Dyson proponuje, by okresy życia aktywnego, któremu towarzyszy zużywanie energii, przeplatały się z coraz dłuższymi okresami hibernacji. Daje to potencjalną możliwość niezwykle długiego trwania cywilizacji we wszechświecie otwartym.



Punktem wyjścia dla współczesnej kosmologii jest, jak to wielokrotnie podkreślaliśmy, teoria Wielkiego Wybuchu. Przedstawiony tu ilościowy opis ewolucji od Wielkiego Wybuchu aż po odległą przyszłość oparliśmy na najnowszych teoriach oddziaływań cząstek elementarnych. Natomiast najogólniejszą ideę tego opisu, wyrażoną w poetyckiej wizji, możemy znaleźć u jedenastowiecznego astronoma i poety perskiego, Omara Chajjama, którego poemat *Rubajjaty* przełożony został na angielski przez poetę Edwarda FitzGerala. Jeden z czterowierszy Omara brzmi:

With Earth's first Clay They did the Last Man's knead,  
And then of the Last Harvest sow'd the Seed:  
Yea, the first Morning of Creation wrote  
What the Last Dawn of Reckoning shall read.

Tłumaczył Leszek M. Sokołowski

Observatorium Astronomiczne UJ  
Kraków

*Od tłumacza.* Poemat *Rubajjaty*, składający się z kilkuset luźno ze sobą powiązanych czterowierszy o tematyce przeważnie filozoficznej, był sześciokrotnie tłumaczony fragmentami na polski, najczęściej w oparciu o wybór dokonany przez FitzGerala i równoległe do niego przekłady francuskie i niemieckie. Niestety, przekład najlepszy filologicznie i artystycznie, bezpośrednio z perskiego, pióra Andrzeja Gawrońskiego, nie zawiera tego wiersza. Istnieją cztery przekłady pośrednie; wybór najlepszego spośród nich pozostawiam Czytelnikowi.

1. Tkwił kres ludzkości w pierwszej glinie garści,  
A w ziarnie żniwo, które do przepaści  
Pchnie resztę złudzeń nieszczęśliwej siejby...  
Co wyrył ranek Stworzenia, zaiste,  
Oświecą luny zagłady ogniste.

[Omar Khayam, *Namiet życia według Rubajatu ułożony*, Kraków 1912, tłum. Franciszek Ksawery Pułowski]

2. Z gliny ulepien był najpierwszy człowiek,  
z tej samej gliny też będzie ostatni.  
Co w świat wykrzyknął radośnie dzień pierwszy,  
to zmierzch ostatni, uchodząc, usłyszysz.

[Omar Khayyam *Rubajjaty*, Tow. Wydawnicze „Ignis”,  
Warszawa—Lwów 1921, tłum. Konrad Libicki]

3. Glina, z której się pierwszy człowiek ukształtował,  
jest glina, z której również ostatni powstanie.  
Pierwszy świata poranek to samo zawołał,  
co usłyszysz ostatni wieczór przed skonaniem.

[Omar Chajjam *Rubajjaty*, w: *Pisma*, tom V, Kazimierza Andrzeja Jaworskiego, Lublin 1972

4. Ostatni człowiek powstał z pierwszej gliny,  
Pierwszym posiewem wciąż wschodzą równiny;  
Co pierwszy ranek stworzenia zapisał  
To rozrachunku odnajdą godziny.

[Omar Khayyam *Rubayat*, Oficyna Poetów i Malarzy, Londyn 1960, tłum. Edward Raczyński]

#### Literatura uzupełniająca

- [1] S. Weinberg, *Pierwsze trzy minuty*, tłum. Aleksander Blum, Iskry, Warszawa 1980.  
[2] F. J. Dyson, „Time without end: Physics and biology in an open universe”, *Rev. Mod. Phys.* **51**, 447 (1979), także tłumaczenie polskie, *Postępy Fizyki* **34**, 263 (1983).  
[3] D. A. Dicus, J. R. Letaw, D. C. Teplitz, V. L. Teplitz, „Effects of proton decay on the cosmologica future”, *Astrophys. J.* **252**, 1 (1982).

## ROZMOWY

## Refleksje polskich mistrzów — wywiad ze Stanisławem Ulamem i Markiem Kacem przeprowadzony przez Mitchella Feigenbauma \*, \*\*

### Reflections of the Polish Masters: An Interview with Stan Ulam and Mark Kac by Mitchell Feigenbaum

*Jestem tak zwanym fizykiem matematycznym. Dla mnie zwrot ten oznacza wykorzystywanie — a czasem towarzyszące temu konstruowanie — matematyki w kontekście stworzonym przez rzeczywistość fizyczną. Wydaje mi się, że stwierdzenie to zaciera różnice między fizyką matematyczną a matematyką i fizyką; bądź co bądź liczby i geometria, sam miększą matematyki, zostały wyabstrahowane z fizycznego świata. W dodatku fizyka jest nauką ścisłą, wyciągającą ilościowe wnioski właśnie dzięki jej matematycznemu językowi. Choć Newton musiał wynaleźć analizę matematyczną, aby zawrzeć algebraiczną kinematykę Galileusza w ogólnych ramach, to jednak zawsze uważamy go za fizyka. Granica między*

---

\* Wywiad, opublikowany w *Los Alamos Science* 3, No. 3, 54 (1982), został opublikowany za zgodą Autorów i Wydawcy. [Translated with permission.] (przyp. Red.).

\*\* Mitchell Feigenbaum, fizyk matematyczny, jeden z twórców teorii chaosu, dumnie przyznaje, że on też jest na pół Polakiem. Urodzony w Nowym Jorku, on także od wczesnych lat głęboko interesował się rozumieniem zagadek przyrody. I, podobnie jak jego polscy seniorzy Kac i Ulam, nieustannie interesuje się zarówno naturą ludzkich doświadczeń, jak i naturą ludzkiego umysłu. Żywi też odległą nadzieję, że jego nowe podejście do zjawisk chaotycznych może dostarczyć wskazówek, jak modelować skomplikowane procesy zachodzące w mózgu. Ale niezależnie od spekulacji i fantastycznych pomysłów, prace jego są odbiciem głębokiego zrozumienia tego, co stanowi o rzeczywistym postępie, a nie są tylko zabawą w matematykę.

W wielkim skrócie: odkrył on uniwersalne ilościowe rozwiązania w wielu złożonych układach. Wraz z pierwszym doświadczalnym potwierdzeniem tych przewidywań dla powstawania turbulencji w cieczach, stało się jasne, że pojawiła się nowa metodologia traktowania zagadnień, których dotąd nie można było ruszyć. Idea tej metody polega na tym, że bardzo niskowymiarowy, dyskretny, nieliniowy model, który zawiera tylko najbardziej podstawowe jakościowe cechy, może, z uwagi na uniwersalność, przewidzieć poprawnie dokładne ilościowe szczegóły wysoce złożonych układów. Skłonni jesteśmy więc traktować bardzo poważnie — a nie tylko jako matematycznie sugestywną zabawkę — badanie czegoś, co skądinąd wygląda na naiwny i zbyt uproszczony model. Istotnie, te badania niskowymiarowych, dyskretnych układów rozkwitły w dużą doświadczalną i teoretyczną gałąź wiedzy.

A więc, Feigenbaum uważany jest za jednego z twórców nowoczesnych badań nad chaosem i doczekał się kilku nowych matematyczno-fizycznych stałych nazwanych jego imieniem. W 1980 otrzymał on za swoje zapładniające prace Nagrodę za Wybitne Osiągnięcia w Los Alamos. Pracuje w Los Alamos od 1974 r., a od 1981 r. — jako Laboratory Fellow. Obecnie, korzystając z urlopu naukowego, jest profesorem fizyki na Uniwersytecie Cornella (Redakcja *Los Alamos Science*).

tymi dyscyplinami, oczywiście, w końcu się rozmywa, choć na danym etapie rozwoju uwi-  
daczna się w postawach różnych praktyków.

Przedstawiwszy mój pogląd o braku wyraźnej granicy między fizyką i matematyką, wyjawilem również główny nurt rozważań, jaki miałem na uwadze prowadząc przedstawiony poniżej wywiad. Chciałem bowiem wydobyć osobiste, „filozoficzne” poglądy na temat związków, które tkwią na dnie umysłów teoretyków i stanowią siłę napędową wykonywanej przez nich pracy. Jest przecież, łagodnie mówiąc, tak trudno pojąć, na czym polega wewnętrzny punkt widzenia twórcy, na podstawie technicznego drukowanego produktu końcowego.

Los Alamos ma szczęście gościć — chwilowo bądź na stałe — kilka wielkich indywidualności. Uważam za szczęśliwe zrządzenie losu, że obecności mej tutaj zawdzięczam możliwość poznania Marka Kaca i Stana Ulama. Wspólne upodobanie do dyskusji nad tymi problemami umożliwiło przeprowadzenie wywiadu. W dodatku panowie ci reprezentują tradycje wykształcenia i spojrzenie na naukę powstałe pół wieku temu w „innym świecie”. Odbiegają one na swój sposób od tradycji bardziej współczesnej. Ponad wszystko zaś chciałbym zgłębić, na czym właśnie mogłyby te różnice polegać.

Zacznę od krótkiego tła biograficznego — moi rozmówcy sami dostarczą dalszych szczegółów — Kac i Ulam są obaj matematykami światowej sławy o wybitnych osiągnięciach. I, co będzie widoczne w tym wywiadzie, obaj objawiają też duży entuzjazm dla nauki. Kac był pionierem w rozwijaniu matematycznej teorii prawdopodobieństwa, jak również jej zastosowań (głównie w fizyce statystycznej). W szczególności, nowoczesna metoda kwantowania posilkuje się tworem zwanym często całką po drogach Feynmana-Kaca. Podobnie Ulam przyczynił się do rozwoju wielu dwudziestowiecznych gałęzi matematyki biorąc też równocześnie udział, na szeroką skalę, w teoretycznych i technologicznych zastosowaniach nauki. W szczególności, nazwisko jego związane jest z metodą Monte Carlo symulacji numerycznych.

Czytelnik nastawiony technicznie poczuje się rozczarowany, jeśli spodziewa się usłyszeć o jakichś szczegółach prac, z których są oni znani. Zamiast tego przedstawione tu są refleksje tych ludzi z późniejszego okresu ich kariery naukowej o tym, jak widzą oni rozwój ducha edukacji, matematyki i nauk przyrodniczych w ciągu całego ich zawodowego życia. Ukazane będą również ich postawy wobec istoty i zakresu przedmiotu ich zainteresowań. Jest godne ubolewania, że w użytej formie przekazu, jakim jest słowo pisane, nie jest dostępna czytelnikowi ani bogata modulacja głosu, ani gestykulacja, które tak często ubarwiają i wzmacniają słowa tych ludzi. Mimo to mam nadzieję, że trochę ich osobistego uroku i humoru udało mi się przekazać.

Mitchell Feigenbaum

**Mitchell Feigenbaum [MF]** — Czy mógłby każdy z Was podać krótki szkic biograficzny? Stan, czy zechciałbyś zacząć?

**Stanisław Ulam [SU]** — Nazywam się Ulam, Stan Ulam. Prawdziwe imię brzmi Stanisław. Urodziłem się w Polsce. Otrzymałem doktorat z matematyki na Politechnice we Lwowie, przed wiekami. Na początku lat trzydziestych odwiedzałem niektóre zagraniczne ośrodki matematyczne. W 1935 otrzymałem zaproszenie na parę miesięcy do Princeton, do Instytutu Badań Zaawansowanych. Prawdę mówiąc, nie byłem na tyle bystry. by prze-

widzieć nadchodzące wypadki. Przez głupotę nie robiłem nawet żadnych planów. Ale wtedy dostałem zaproszenie od tego sławnego, wielkiej światowej sławy matematyka, jednego z największych matematyków stulecia, Johna von Neumanna, który naprawdę był tylko sześć lub siedem lat ode mnie starszy, więc zdecydowałem się na trzymiesięczną wizytę w Stanach Zjednoczonych. Nie było, oczywiście, samolotów. Musiałem udać się do jakiegoś portu we Francji, by złapać statek do Nowego Jorku. Spędziłem parę tygodni w Princeton, i pewnego dnia na herbacie u von Neumannów spotkałem G. D. Birkhoffa, który był „dziekanem” amerykańskiej matematyki. Wiedział on trochę o mojej pracy, widocznie od swojego syna, który był mniej więcej w moim wieku, i spytał, kiedy mógłbym przyjechać do Uniwersytetu Harvarda. Wróciłem wtedy do Polski. Ale następnej jesieni powróciłem do Cambridge<sup>1</sup> jako członek tak zwanego „Society of Fellows”, nowej instytucji Uniwersytetu Harvarda. Miałem tylko dwadzieścia sześć lat, czy coś takiego. Zacząłem od razu wyklądać: najpierw elementarne, a potem całkiem zaawansowane przedmioty. A potem, w 1940 zostałem wykładowcą Uniwersytetu Harvarda. Ale każdego roku w tym czasie podróżowałem między Polską a Stanami Zjednoczonymi. Latem odwiedzałem moją rodzinę, przyjaciół i matematyków. W Polsce życie matematyczne było bardzo intensywne. Matematycy spotykali się często w kawiarniach takich jak „Szkocka” czy „Roma”. Siadywaliśmy tam godzinami i uprawialiśmy matematykę. W ciągu tych kilku wakacji powracałem do tego znowu. Aż wreszcie, w 1939 opuściłem na dobre Polskę mniej więcej na miesiąc przed wybuchem II wojny światowej. W pewnym sensie było to bardzo szczęśliwe. Matka moja umarła na rok przed wojną i mój brat o trzynaście lat młodszy był właściwie sam. Mój ojciec, prawnik, był zapracowany. Ojciec sądził, że byłoby dobre dla mojego brata, gdyby też pojechał do Stanów Zjednoczonych, by studiować tam na uniwersytecie. Brat mój miał w tym czasie siedemnaście lat, przybył tu ze mną w 1939. Umieściłem go na Uniwersytecie Browna w Providence, który był niezbyt daleko od Cambridge.

Potem, w 1940 zostałem młodszym profesorem na Uniwersytecie Stanu Wisconsin w Madison. Podczas pobytu tam — było to wiosną lub latem 1943 — John von Neumann zapytał mnie, czy byłbym zainteresowany w prowadzeniu pewnej bardzo ważnej pracy związanej z wojną, w miejscu, którego nazwy nie wolno mu było wymienić. Miałem spotkać się z nim w Chicago na jakiejś stacji kolejowej, by dowiedzieć się o tym czegoś więcej. Pojechałem tam. Nie mógł mi powiedzieć, dokąd się udaje. Byli z nim dwaj faceci, coś w rodzaju strażników, wyglądających jak goryle. Rozmawialiśmy o matematyce, o jakichś interesujących problemach fizyki i o znaczeniu tej pracy. I to był sam początek Los Alamos. Parę miesięcy później przyjechałem z żoną, ale to już inna historia. Mógłbym godzinami mówić o wrażeniach z podróży, o przybyciu po raz pierwszy do bardzo dziwnego miejsca. To jednak jest już w niektórych książkach, również w mojej autobiografii<sup>2</sup>.  
Co jeszcze chciałbyś wiedzieć?

**MF** — Może powiedziałbyś krótko coś o swojej pracy?

**SU** — Publikowałem prace matematyczne od osiemnastego roku życia. Jakkolwiek nie jest to zbyt powszechne, nie jest to też bardzo niezwykle, bo matematycy bardzo często

<sup>1</sup> Cambridge koło Bostonu, gdzie mieści się Uniwersytet Harvarda (przyp. tłum.).

<sup>2</sup> S. M. Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Charles Scribner's Sons, New York 1976 (przyp. Red.).

zaczynają bardzo wcześnie. Doktorat otrzymałem, jak już wspomniałem, w Polsce. W Stanach Zjednoczonych publikowałem artykuły jako wykładowca w Harvardzie i w Wisconsin, ale praca tu w Los Alamos dotyczyła, oczywiście, głównie fizyki. Fizyką interesowałem się zawsze, czytałem wiele z teorii względności, teorii kwantów itp. Było to w pewnym sensie zainteresowanie platoniczne, gdyż większość moich wczesnych prac dotyczyła czystej matematyki.

**MF** — Marku, może powiedziałbyś teraz coś jako, jak sam to określiłeś, młodszy kolega Stana?

**Marek Kac [MK]** — Urodziłem się także w Polsce, choć nie było jasne, że była to Polska. W rzeczywistości bowiem, wtedy gdy się urodziłem, była tam carska Rosja, a tam gdzie Stan się urodził — Austria. W dodatku do innych nieokreśloności dotyczących mojego urodzenia, moja data urodzenia też nie jest całkiem poprawna, gdyż w czasach carskich używano kalendarza juliańskiego. Tak więc moja metryka urodzenia podaje, że urodziłem się 3 sierpnia, i ja utrzymuję tę fikcję, choć naprawdę urodziłem się 16. Urodziłem się 170 km — to jest 100 mil — niemal wprost na wschód od miejsca, gdzie urodził się Stan. Mimo to, w odległości tych 100 mil istniały dwa zupełnie różne światy, gdyż Polska przez 150 lat nie istniała jako niepodległe państwo. Podzielona była między Austrię, Niemcy i Rosję i kultury okupujących potęg wycisnęły ogromne piętno. W mojej części świata nikt nie mówił po polsku; moja matka nigdy nie nauczyła się mówić po polsku. W każdym razie urodziłem się. Po ewakuacji w 1915 gdzieś w głąb Rosji wróciliśmy do Polski w 1921 i wtedy rozpocząłem moją pierwszą regularną naukę po polsku. Polski był w istocie czwartym językiem, którego się nauczyłem. Najpierw mówiłem po rosyjsku, gdyż był to język, którym wszyscy mówili; potem, gdy powróciliśmy do domu po ewakuacji, moi rodzice zaangażowali dla mnie francuską guwernantkę, francuską damę, wdowę po rosyjskim białogwardyjskim oficerze. Przez trzy lata przychodziła na pół dnia i odmienialiśmy francuskie czasowniki, czego nie cierpiałem. Potem mój ojciec był przez krótki czas dyrektorem świeckiej szkoły hebrajskiej. Nie była to szkoła religijna, ale wszystkich przedmiotów uczono po hebrajsku, nauczyłem się więc hebrajskiego, i szybko go zapomniałem. W końcu, w 1925, mając jedenaście lat wstąpiłem do polskiej szkoły, słynnej szkoły polskiej, do Liceum Krzemienieckiego. Miasto, w którym się urodziłem, ma swoje miejsce w historii Polski. Jednym z powodów jest to, że jeden z dwóch wielkich polskich poetów romantycznych, Juliusz Słowacki, urodził się tam (niemal każde polskie dziecko zna to nazwisko). W dodatku, innym bardzo sławnym obywatelem tego miasta jest Izaak Stern<sup>3</sup>, którego rodzice byli na tyle przewidujący, że wywieźli go z Polski, gdy miał zaledwie dziewięć miesięcy. Po ukończeniu szkoły średniej wstąpiłem na Uniwersytet w tym samym mieście, gdzie Stan urodził się i studiował, z tą różnicą, że on był na Politechnice, która miała, co jest godne podkreślenia, wydział poświęcony czystej nauce, tzn. matematyce i fizyce.

Wstąpiłem na regularny uniwersytet i byłem, i wciąż jestem, o pięć lat od Ulama młodszego. W owym czasie Stan był już legendą i w moich oczach wydawał się nieskończenie stary. Miał on zaledwie dwadzieścia dwa lata, a ja siedemnaście. Spotkałem go po raz pierwszy, na krótko, gdy otrzymywał doktorat w 1933. W przyszłym roku minie pięć-

<sup>3</sup> Znany amerykański skrzypek (przyp. tłum.).

dziesiąta rocznica tego wydarzenia. (W rzeczywistości, to mnie się zdawało, że w tym roku, ale on mnie poprawił, a powinien chyba lepiej wiedzieć, kiedy dostał doktorat.) Ukończyłem Uniwersytet, otrzymałem doktorat w 1937 i w przeciwieństwie do Stana bardzo chciałem wyjechać z Polski. Nie wiedziałem, że katastrofa będzie takich rozmiarów, jak to się potem okazało, ale było dla mnie oczywiste, że Europa, a w szczególności wschodnia Europa, nie jest dobrym miejscem do pozostania. W tych czasach jednak wyjechać nie było bardzo łatwo. Teraz, gdy razem z Mitchellem rekonstruowaliśmy część autobiograficzną, przypomniałem sobie dwa epizody. W 1936, może w 1937, przed samym otrzymaniem doktoratu próbowałem rozpaczliwie wydostać się z Polski. Czytywałem *Nature*, gdyż w *Nature* zamieszczano ogłoszenia o różnych posadach. Większość stanowisk wymagała posiadania obywatelstwa brytyjskiego, ale jedno (w tym czasie, *nota bene*, nie znałem ani słowa po angielsku) było stanowiskiem młodszego wykładowcy w Imperial College of Science and Technology z pensją 150 funtów rocznie, co w owych czasach wynosiło około 750 dolarów. Nawet wtedy to nie było bardzo dużo pieniędzy, więc myślałem, że żaden szanujący się obywatel brytyjski nie będzie nawet ubiegał się o taką pracę. Zwróciłem się więc do mego profesora Hugona Steinhausa i spytałem czy byłby to dobry pomysł, gdybym się o to ubiegał, a on pół żartem, pół serio odpowiedział: „Dobrze, oceńmy Pana szansę otrzymania tej pracy. Powiedziałbym, że jest ona jak 1 do 5000. Pomnożmy to przez roczną pensję. Jeśli wynik będzie większy niż koszt pocztowego znaczka, wtedy nie powinien Pan się ubiegać. Jeśli będzie mniejszy — powinien Pan”. Okazało się, że był trochę mniejszy od kosztu znaczka, więc napisałem. Otrzymałem później od nich list donoszący, że niestety posada już jest zajęta. A więc znalazł się jednak obywatel brytyjski, który chciał 150 funtów rocznie. Wiele, wiele lat później, gdy byłem w Anglii, zostałem zaproszony na odczyt w tymże Imperial College of Science and Technology i powiedziałem im: „Wiecie, mogliście mnie mieć za 150 funtów rocznie”. Zdaje mi się, że oni rzeczywiście sprawdzili i znaleźli tę korespondencję. Anegdota ta przypomniała mi, że gdy ostatecznie zdecydowałem się na przyjazd do Stanów Zjednoczonych, było bardzo trudno otrzymać wizę, bo już zaczęli przybywać niemieccy uchodźcy. Były to okropne czasy i udało mi się dostać tylko turystyczną wizę na okres sześciu miesięcy. Konsul zmusił mnie do wykupienia biletu powrotnego, żeby upewnić się, że wyjadę. Do dziś zachowałem na pamiątkę tę część powrotną biletu. Była ona wystawiona na statek, który utonął w pierwszych dniach drugiej wojny światowej.

To Hugo Steinhaus, mój nauczyciel i przyjaciel, bardzo znany matematyk polski, był tym, który bardzo usilnie starał się pomóc mi w wyjeździe. I ostatecznie udało mu się to w bardzo prosty sposób, pomógł mi bowiem w otrzymaniu skromnego stypendium na wyjazd do Uniwersytetu Johnsa Hopkinsa. To zadziwiające, jak drobne rzeczy zmieniają ludzkie życie, a w rezultacie prawdopodobnie ratują to życie. Starałem się o to stypendium w 1937 zaraz po otrzymaniu doktoratu i nie dostałem go. Myślałem, że to ogromna niesprawiedliwość. Dostałem je jednak rok później i to uratowało mi życie, bo gdybym był dostał je rok wcześniej, zmuszony byłbym wrócić. A w ten sposób wojna zastała mnie w tym kraju i dosłownie uratowała mi życie. Byłem w Uniwersytecie Johnsa Hopkinsa, gdy wojna wybuchła, a potem dostałem ofertę z Uniwersytetu Cornella, gdzie spędziłem dwadzieścia dwa szczęśliwe lata. (Mitchell będzie tam moim następcą) W istocie, cała moja rodzina, to znaczy moja rodzina założona w Stanach Zjednoczonych, moja żona i dwoje dzieci to

urodzeni Ithakanie<sup>4</sup>. A ja w Ithace żyłem dłużej niż w jakimkolwiek miejscu na świecie.

**SU** — A więc całkiem przeciwnie niż Odyseusz.

**MK** — Gdy opuszczałem Uniwersytet Cornella, zmuszony byłem wygłosić małe przemówienie i powiedziałem: „Jak Ulisses opuszczam również Ithakę z tą tylko różnicą, że biorę ze sobą Penelopę.” Tak to było. Potem przez dwadzieścia lat pracowałem na Uniwersytecie Rockefellera w Nowym Jorku, aż wreszcie zdecydowałem się spędzić moje schyłkowe lata tam, gdzie jest więcej słońca, a mniej lodu. Jestem więc teraz na Uniwersytecie Południowej Kalifornii, trochę na zachód stąd.

**MF** — Myślę, że już czas, by przerwać Ci te wspomnienia. Stan, może powiedziałbyś coś o tym, jak zainteresowałeś się matematyką?

**SU** — Jako młody chłopiec w wieku dziesięciu lat, interesowałem się bardzo astronomią, a potem fizyką. Czytywałem popularne książki z astronomii; nie było ich tak dużo i nie były tak piękne jak obecne z tymi nieprawdopodobnymi ilustracjami, ale była to zawsze moja pasja. Wuj ofiarował mi małą lunetę na urodziny, gdy miałem jedenaście czy dwanaście lat. W tym czasie próbowałem zrozumieć szczególną teorię względności Einsteina i myślę, że miałem niezłe jakościowe pojęcie o tym, na czym ona polega. A później doszedłem do wniosku, że muszę poznać trochę matematyki, więc wyszedłem poza to, co przerabiano w szkole średniej, zwanej gimnazjum. Uczniowie wstępowali do gimnazjum w wieku dziesięciu lat i uczęszczali do osiemnastego roku życia. Gdy miałem czternaście lat, zdecydowałem się nauczyć się więcej matematyki sam. Miałem szesnaście lat, gdy rzeczywiście nauczyłem się analizy matematycznej całkowicie sam z książki Kowalewskiego, Niemca, którego nie należy mylić z Sonią Kowalewską sławną dziewiętnastowieczną matematyczką rosyjską. Potem studiowałem również teorię mnogości z książki Sierpińskiego i myślę, że ją rozumiałem. Miałem w szkole średniej dobrego nauczyciela, Zawirskiego, który był wykładowcą logiki na Uniwersytecie. Rozmawiałem z nim o tym wtedy i potem, gdy wstąpiłem na Politechnikę.

**ME** — Czyżby uczył on w szkole średniej?

**SU** — Tak, uczył w szkole średniej dla pieniędzy, bo wykładowcy na Uniwersytecie prawie żadnych pieniędzy nie otrzymywali. Gdy wstąpiłem na Uniwersytet, uczęszczałem na wykład Kuratowskiego, młodego profesora, który właśnie przybył z Warszawy. Miał on tylko trzydzieści jeden lat, ja miałem osiemnaście. Prowadził elementarny wykład teorii mnogości. Zadałem mu kilka pytań, a potem rozmawiałem z nim po wykładach. Zainteresował się młodym studentem, który najwidoczniej interesował się matematyką i miał jakieś pomysły. Miałem szczęście rozwiązać pewien nierozwiązany problem, który postawił.

**MF** — Stan, czy czułeś w tym momencie, że Twoje zainteresowania przesuwają się z astronomii, fizyki i teorii względności w stronę matematyki?

**SU** — Nie, naprawdę, nawet teraz nie myślę, by moje zainteresowania się zmieniły. Interesuję się wszystkimi trzema. Oczywiście, wykonałem dużo więcej prac z czystej matematyki niż z zastosowań czy z fizyki teoretycznej, ale główne zainteresowania pozostały. Muszę coś wyznać: obecnie nie czytam wielu fachowych matematycznych czasopism, czytam raczej o tym, co się dzieje w astronomii i astrofizyce lub w fizyce technicznej, w *Astro-*

<sup>4</sup> Uniwersytet Cornella znajduje się w miejscowości Ithaca w stanie Nowy Jork (przyp. tłum.).



*physical Journal* i w *Physics Today*. To wydaje mi się zawsze bardziej zrozumiałe. Wiecie, ta specjalizacja w każdej nauce, szczególnie w matematyce, postąpiła bardzo daleko w ciągu ostatnich paru lat. Matematyka jest teraz strasznie wyspecjalizowana, bardziej niż, powiedzmy, fizyka. W fizyce istnieją główne problemy jaśniej sprecyzowane, niż w samej matematyce. Oczywiście, matematyka wciąż ma wiele ważnych problemów, podstawowych problemów.

MF — Czy w Twoim odczuciu ta specjalizacja jest niefortunna?

SU — O, tak. Okazuje się, że my obaj mamy podobne poglądy na naukę w ogóle, a na matematykę i fizykę w szczególności.

MF — Marku, a jakie były Twoje początki w matematyce?

MK — Stan i ja rozwijaliśmy się równolegle. Moje zainteresowanie matematyką rzeczywiście również zaczęło się, gdy byłem bardzo młody, a może trochę romantyzując. (Mówiłem Mitchellowi, że gdy staramy się przypomnieć coś, co zdarzyło się sześćdziesiąt lat temu, to nie zawsze jest to nieskończenie wiarogodne.) Mój ojciec ukończył filozofię na Uniwersytecie w Lipsku i znał matematykę. Otrzymał on później również tytuł naukowy w Moskwie z historii i filologii, znał więc m. in. wszystkie języki starożytne. W każdym razie, w czasie wojny zarabiał na życie udzielając prywatnych lekcji w jednopokojowym mieszkaniu i m. in. uczył elementarnej geometrii. Słyszałem wszystkie te niewiarygodne rzeczy: z punktu poza prostą można wystawić prostopadłą oraz wyznaczyć jedną i tylko jedną równoległą i takie a takie kąty są równe. Miałem cztery lata, może pięć, i wszystkie te cudowne, niezrozumiałe dźwięki w czymś, co przypominało zwykły język, robiły na mnie wrażenie. Zamęczałem go wprost, by spróbował powiedzieć mi, co to jest; w obronie własnej zaczął uczyć mnie trochę elementarnej geometrii i jakoś ta struktura, to że istnieje taki fantastycznie ścisły system dedukcyjny, wywarły na mnie wrażenie, gdy byłem bardzo młodym chłopcem. W istocie, w tym czasie mój ojciec rozpaczał, bo równocześnie byłem wyjątkowo zły w nauce tabliczki mnożenia. To, że ktoś umie udowodnić twierdzenia z elementarnej geometrii nie wiedząc, ile jest siedem razy dziewięć, wydawało mu się więcej niż trochę dziwne. To był początek moich zainteresowań matematyką, ale tak jak u Stana, zainteresowanie naukami ścisłymi przyszło prawie równocześnie głównie poprzez lekturę popularnych książek. Jedna książka, dostępna w rosyjskim tłumaczeniu, nosiła tytuł *Krótką historia nauki* i była napisana przez angielską damę o nazwisku Arabella Buckley czy coś w tym rodzaju. To było fascynujące! Później czytałem Faradaya *Dzieje świecy*, która jest jedną ze wspanialszych książek. W szkole, gdy w końcu wstąpiłem do gimnazjum, byłem w równej mierze zainteresowany i w równej mierze dobry w matematyce i w fizyce, lecz ostatecznie zdecydowałem się na matematykę.

Faktycznie, pewne wydarzenie podczas lata poprzedzającego mój ostatni rok w gimnazjum wpłynęło m. in. na tę decyzję. A było to tak. Moja matka wyobrażała sobie, że zajmę się czymś rozsądnym, takim jak inżynieria, ale w lecie 1930 zaczął prześladować mnie problem rozwiązywania równań trzeciego stopnia. Znałem wprawdzie rozwiązanie, które Cardano opublikował w 1545, ale nie mogłem znaleźć takiego wyprowadzenia, które by zaspokoili moją potrzebę zrozumienia. Gdy ogłosiłem, że zamierzam podać moje własne wyprowadzenie, ojciec obiecał mi nagrodę w wysokości pięciu złotych polskich (dużą sumę, która bez wątplenia była miarą jego sceptycyzmu). Spędziłem wiele dni i niektóre noce tego lata zapisując gorączkowo wzorami stopy papieru. Nigdy nie pra-

cowałem ciężiej. I oto pewnego poranka to było to — wzór Cardana czarno na białym. Ojciec zapłacił mi bez gadania i tej jesieni mój nauczyciel matematyki przesłał manuskrypt do publikacji w *Młodym Matematyku*. Miesiącami nie było odpowiedzi, ale jak się okazało, to opóźnienie było spowodowane gruntownym przeszukiwaniem literatury w celu ustalenia, czy przypadkiem nie „odkryłem ponownie” wyprowadzenia. Stwierdzono, że moje wyprowadzenie było jednak oryginalne, więc zostało opublikowane. Gdy dyrektor mojego gimnazjum, pan Rusiecki, usłyszał, że zamierzam studiować inżynierię, powiedział: „Nie, powinieneś studiować matematykę, masz do niej wyraźny talent.” Więc widzicie. Miałem bardzo dobrych doradców.

Na Uniwersytecie myślałem przez chwilę o studiowaniu fizyki, ale fizyka we Lwowie była bardzo marna, szczególnie fizyka teoretyczna. Matematyka była wybitnie dobra i bardzo żywa, a więc było bardzo łatwo włączyć się w wielce podniecający i energicznie rozwijający się przedmiot zamiast zmagać się z przedmiotem, w którym tak mało się działo. Uczestniczyłem, naturalnie, w wykładach prowadzonych przez Wydział Fizyki i zdałem kilka egzaminów z fizyki teoretycznej, ale moje zainteresowanie, prawdziwe zainteresowanie fizyką rozbudziło się znacznie później.

MF — Odnoszę wrażenie, że nauki ścisłe i matematyka jakoś w podobny sposób nawzajem się zapładniają w Waszych umysłach i że macie — myślę, że przekazaliście mi to odczucie — pewnego rodzaju intuicję, która jest bardzo ważna dla Waszego sposobu widzenia matematyki.

MK — Tak, to może zainteresować współczesnych czytelników, i jestem pewny, że Stan potwierdzi to, co mówię. Należymy do naukowego pokolenia, które było tylko odrobinę opóźnione w porównaniu z heroicznymi czasami w potężnych ośrodkach matematyki, Getyndze i Paryżu. A tam rozdział na matematykę i fizykę nie był przeprowadzony tak formalnie i ostro jak teraz. Obaj wielcy matematycy tej ery, Poincaré i Hilbert, wnieśli niezwykle ważny wkład do fizyki, szczególnie Poincaré. Nasi nauczyciele uczyli fizyki i znali ją. Banach, np., który jest znany głównie jako twórca szkoły analizy funkcjonalnej i który jest prawdopodobnie największym polskim matematykiem wszystkich czasów, uczył mechaniki. Napisał bardzo dobry jej podręcznik. To całe rozróżnienie, że ty jesteś fizykiem, więc robisz to, a ty jesteś matematykiem, więc robisz tamto, było pojęciowo rozmyte. Byli, oczywiście, ludzie bardziej zajęci konkretem i inni bardziej abstrakcyjni, ludzie bardziej zainteresowani tym lub tamtym. Ale nie było tego typu profesjonalizmu, ani tego niemal cechowego rozgraniczenia, które teraz panuje. A więc było to łatwe nie tylko dlatego, że z natury byliśmy do tego skłonni, lecz również dlatego, iż nikt mi nie powiedział, że nie powinienem studiować fizyki, bo jeśli nie będę studiował wyłącznie matematyki, to nigdy nie nadążę. Ta idea łapania czegoś, czegoś uciekającego, w ogóle nie istniała. Czy tak nie jest?

SU — Absolutnie. Mówisz o bardzo odległych czasach, pięćdziesiąt lat temu, i wiesz co, kiedyś przyszło mi do głowy, że moje życie, i Marka też, zajmuje mniej więcej dwa procent udokumentowanej historii ludzkości. Widzicie, pięćdziesiąt lub sześćdziesiąt lat, tyle właśnie wynosi. To dziwna i przerażająca myśl, że to stanowi znaczną część całej znanej nam historii. Dużo rzeczy zmieniło się pod różnymi względami, nie tylko w technologii, również w dziedzinie postaw.

MF — Mam pytanie. Gdy tak wspominacie, że macie jakieś negatywne odczucia

w stosunku do specjalizacji i że w Waszych umysłach odczuwacie ten związek między fizyką i matematyką, to ciekaw jestem czy istnieje jakiś szczególny rodzaj intuicji, który w Waszym mniemaniu wynika ze współdziałania tych dwóch rzeczy? Czy czujecie, że to jest ważny czynnik?

**SU** — Widzisz, to bardzo zależy od osoby. Niektórzy matematycy interesują się bardziej formalną strukturą rzeczy. Faktycznie, wśród ludzi w ogóle istnieją dwa typy pamięci, które dominują, albo pamięć wzrokowa, albo pamięć słuchowa, i podobno siedemdziesiąt pięć procent (ten Mendlowski ułamek) ma pamięć wzrokową. W każdym razie, niektórzy ludzie mają czysto werbalną pamięć, bardziej ukierunkowaną w stronę logicznych podstaw i operowania symbolami niż w kierunku wyobrażania fizycznych zjawisk. Gdy ktoś wypowie przy mnie słowo ciśnienie, to jakbym widział coś w rodzaju zamkniętej gorącej czy też wzburzonej substancji.

**MK** — A ja się kulę.

**SU** — Zgoda, ale inni ludzie, np. von Neumann, są bardziej logicznie nastawieni. Dla niego ciśnienie było, że tak powiem, członem w równaniu. Przypuszczam raczej, że on nie wyobrażał sobie sytuacji, w których ciśnienie mogłoby zrobić to czy tamto, ale on też był bardzo, bardzo dobry w fizyce. Z pewnością różne są postawy, gdy mowa o sposobach myślenia. Niektórzy matematycy mają większą skłonność do widzenia fizycznego. Nie wiemy o tym zresztą zbyt wiele. Może być to wynikiem jakichś przypadkowych wydarzeń w dzieciństwie lub tego, jak zdobywało się wiedzę.

**MF** — Jak myślicie, czy ten rodzaj intuicji, który macie, jest specyficznie Wasz? Rozumiem przez to, że gdy wracacie myślą do czasów, gdy zaczynaliście uprawiać matematykę, czy było więcej ludzi takich jak Wy, czy raczej więcej formalnie myślących?

**SU** — Nie, nie. Tak nie było. Wielu matematyków, których znałem w tamtych czasach różniło się od Marka Kaca i ode mnie w swoim stosunku do fizyki. Oceniam, że nawet teraz, w tym kraju, dziewięćdziesiąt procent lub więcej matematyków mniej od nas interesuje się fizyką.

**MK** — Oczywiście, jest to częściowo związane z wykształceniem. Myślę, że kształcenie w tym kraju było i jest, szczególnie na poziomie średnim, wyjątkowo złe. Na przykład, jest zupełnie możliwe, że młody człowiek uzyska doktorat z matematyki w uczelni o dobrej reputacji, jak Uniwersytet Harvarda, nie słysząc nigdy o newtonowskich prawach ruchu.

**SU** — Byłem w Komitecie Amerykańskiego Towarzystwa Matematycznego, gdy odkryłem, że można uzyskać doktorat na Uniwersytecie Harvarda i innych miejscach bez znajomości newtonowskich praw ruchu, które, można powiedzieć, były w istocie głównym motywem rozwoju analizy matematycznej. Tak to teraz jest.

**MK** — Byliśmy poddawani chemii, fizyce, biologii, nie było przedmiotów do wyboru w szkołach średnich. Szkoły średnie w Europie, w Polsce, we Francji były w pewnym sensie cięższe niż uniwersytet, gdyż należało przerobić z góry ustalony program. Nie było żadnych głupstw. Jeśli byłeś w szkole określonego typu musiałeś przerobić sześcioletni kurs łaciny i czteroletni greki i żadnych tam głupstw z wyborem „wykładów dla duszy” czy muzyki ludowej albo czegoś podobnego. Nie mam nic przeciw przerabianiu takich przedmiotów, poza tym, że stały się one namiastką. Musiałeś przerobić fizykę, musiałeś nauczyć się pewnej porcji chemii, biologii, a jeśli tego nie lubieś, to trudno. Ale jeśli był w tobie jakiś rezonujący ton, to zapoznawałeś się z tym wcześniej. Na uniwersytecie następowała

rzeczywiście specjalizacja, ale nie całkowita; każdy student matematyki musiał, np. zdać egzamin z fizyki, a nawet przy Bożej pomocy przejść przez pracownię fizyczną. Było to dla mnie jedno z najbardziej kosztownych przeżyć, gdyż będąc raczej niezgrabny rozbiłem więcej rur Kundta, niż było mnie na to stać. Stan zrobił niezwykle ważną uwagę. Moge rzucić na to trochę więcej światła. Wysłuchałem pewnie jednego z ostatnich przemówień von Neumanna. Było to w maju 1955. (W październiku tego roku, gdy przebywałem w Genewie na urlopie, stwierdzono, że ma on nieuleczalnego raka; zmarł trochę później w 1957). Był on głównym mówcą na bankiecie w czasie zjazdu, zdaje mi się, Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego w Waszyngtonie. Byłem tam, poszedłem na zjazd, a po przemówieniu poszliśmy razem się napić. Było to przemówienie: „Dlaczego nie jestem fizykiem?”, lub coś w tym rodzaju. Wyjaśnił, że jego wkład do fizyki był raczej techniczny. Na przykład, każdy wie, co to jest macierz gęstości, a to właśnie von Neumann wynalazł macierz gęstości, jak również setki innych rzeczy, które stanowią materiał podręcznikowy dla fizyków teoretyków. Mimo to wygłosił on urocze i na swój sposób wzruszające przemówienie o tym, dlaczego nie jest on w istocie fizykiem i m. in. wspomniał o tym, że myśli raczej w języku symboli niż konkretów. Przypomniano mi, że jego przyjaciel, Eugene Wigner, trafił w sedno mówiąc, że chętnie dałby dokrótka z fizyki każdemu, kto naprawdę potrafiłby uczyć fizyki na pierwszym roku. Wiem dokładnie, co przez to rozumiał. Mógłbym spróbować, nie byłbym bardzo w tym dobry, ale mógłbym spróbować prowadzić pierwszy semestr wykładu mechaniki kwantowej, i uczyłbym jej pewnie całkiem dobrze. Ale nie wiedziałbym, jak uczyć fizyki na pierwszym roku, bo matematyki używa się, tak naprawdę, jak kuli, na której można się oprzeć. Gdy czujemy się niepewnie z czymś, z jakimś pojęciem, mówimy: „No dobrze, wyprowadźmy to.” Mam rację? Oto jest równanie i jeśli pomanipulujesz nim, to w końcu uda się je zinterpretować i jesteś w porządku. Ale jeśli musisz powiedzieć to ludziom, którzy nie znają symboli, musisz myśleć przy użyciu pojęć. I tu właśnie występuje zasadnicza przepaść między dwiema, jakby to powiedzieć, dwiema liniami rozumowania. Jest się albo takim jak von Neumann, i ja jestem w tym sensie mu bliższy, albo jest się takim jak Ulam, który, gdy ktoś mówi ciśnienie, to je czuje. To nie jest pochodna cząstkowa energii swobodnej względem objętości; to jest rzeczywiście coś, co czujesz, można rzec, palcami.

MF — Ale czy mimo to nie jest prawdą, że każdy dobry matematyk rozumie dobrze pojęciowo rzeczy, nad którymi pracuje? On przecież nie przeprowadza tylko jakiegoś ciągu dowodzików.

MK — Tak, ci rzeczywiście dobrzy, tak. Ale jednak, wiesz, jest cała gama, widmo ciągłe. Rzeczywiście, pozwól mi to wstawić, gdyż choć by było to zanotowane dla potomności. Myślę, że są dwa akty twórcze w matematyce. Jest zdolność dowodzenia i zdolność rozumienia. A czynności rozumienia i dowodzenia nie są identyczne. W istocie często się zdarza, że coś się rozumie bez możliwości dowiedzenia tego. Otóż, oczywiście, szczytem szczęścia jest rozumieć to i móc to udowodnić. Następne stadium jest wtedy, gdy nie rozumiesz tego, ale możesz to udowodnić. Zdarza się to ciągle i ciągle i czasopisma matematyczne pełne są takiego materiału. Lecz zdarza się też coś przeciwnego, to znaczy rozumiesz coś, ale nie możesz tego udowodnić. Na szczęście, może to trafić wtedy do czasopisma fizycznego. A w końcu przychodzi skrajna nędza, która jest zresztą normalną sytuacją, gdy ani tego nie rozumiesz, ani nie możesz udowodnić. Sposób, w jaki mate-

matyki się teraz uczy i w jaki się ją uprawia, podkreśla bardziej stronę logiczną niż intuicyjną, związaną z rozumieniem. Myślę, że zgodzicie się ze mną, bo szczególnie w takich dziedzinach jak geometria, której Stan jest niezrównanym mistrzem, widzenie rzeczy — nie zawsze prowadzące zgrabnie do dowodu lecz z pewnością prowadzące do zrozumienia — daje w rezultacie prawidłową hipotezę. I wtedy, oczywiście, ostateczny akt musi być również dokonany, z uwagi na przepisy cechowe, trzeba tę hipotezę także udowodnić.

SU — Pozwólcie mi coś powiedzieć. Tak się zdarzyło, że napisałem artykuł do jubileuszowego tomu na cześć obecnego tu dżentelmena, Marka Kaca, na jakąś jego rocznicę, do książki, która jeszcze się nie ukazała. Ale artykuł jest o analogii oraz sposobach myślenia i rozumowania w matematyce i w niektórych innych naukach. A więc jest to rodzaj próby rzucenia światła na to, o czym on właśnie mówił. Rzeczy te splecione są w tajemniczy sposób. Wydaje mi się, że wielka nadzieja na postęp, nawet w samej matematyce, wiązać się będzie z lepszym sformalizowaniem lub przynajmniej zrozumieniem procesu, który prowadzi zarówno do intuicji jak też do późniejszego wypracowania nie tylko szczegółów, ale też prawidłowego sformułowania samej rzeczy. A więc jest to bardzo, bardzo głęboki problem i poświęcono mu nie dość uwagi, uczyniono tylko pobieżne obserwacje.

MF — Czy masz nadzieję, że ludzie będą w stanie sformalizować te rzeczy, te istotne składniki?

SU — Teraz to jest przedwczesne, ale pewne częściowe zrozumienie tego, jak funkcjonuje mózg, może wyłonić się w ciągu najbliższych dwudziestu lat lub nawet wcześniej — jakieś słabe pojęcie o tym, więcej niż wiemy teraz. Jest to wspaniała perspektywa. Wiecie, gdybym był bardzo młodym człowiekiem, może pracowałbym więcej w biologii lub neurologii, to znaczy, że tak powiem, anatomii mózgu, próbując zrozumieć jego procesy. Mark i ja, jadąc tego ranka z Santa Fe do Laboratorium, dyskutowaliśmy o tym jak dzieci uczą się mówić i używają zwrotów, które słyszą — uczą się używać ich poprawnie w różnych kontekstach ze zmiennymi elementami. To rzeczywiście jest tajemnicza sprawa.

MF — Skupmy się na tej ostatniej rzeczy, którą powiedziałeś — że, być może, istnieje szansa zrozumienia jak pracuje mózg. Kiedy to mówiłeś, przyszło mi na myśl, że są takie problemy, o których w zasadzie można pomyśleć — jak np. rozwinięta w pełni turbulencja w cieczy lub może mózg. Może tak się zdarzyć, że problemy te będą polegać na ogromnej liczbie szczegółów i że może nie będzie żadnej ładnej teorii, takiej, jakie dotychczas umieliśmy formułować i że rzeczywiście trzeba będzie wsadzić te wszystkie szczegóły do komputera. Czy macie jakiś pogląd na to, czy pociągnie to w przyszłości ograniczenie matematycznego podejścia?

SU — No tak, istotnie, komputery są cudownym narzędziem i nie ma powodu ich się bać. Można by powiedzieć, że początkowo matematyk powinien obawiać się ołówka i papieru, gdyż stanowią one dość ordynarne narzędzie w porównaniu z czystą myślą. Rzeczywiście, powiedzmy trzydzieści lat temu, zawodowi matematycy byli trochę przestraszeni, jakby nie było, komputerami, ale wydaje mi się, że dla eksperymentowania i heurystycznych wskazówek i sugestii to jest cudowne narzędzie. W samej rzeczy, to spotkanie <sup>5</sup>,

<sup>5</sup> „Porządek w chaosie”, konferencja na temat matematyki zjawisk nieliniowych, zorganizowana przez Centrum Studiów Nieliniowych w Narodowym Laboratorium w Los Alamos, 24—28 maja, 1982.

które teraz się właśnie odbywa, w dużej mierze możliwe jest dlatego, że tak wiele odkryto doświadczalnie.

**MF** — Jest to absolutna prawda.

**SU** — Tak samo w fizyce, doświadczenia prowadzą w końcu do problemów i do teorii. Doświadczenia w matematyce mogą, oczywiście, być czysto myślowe, i tak było w dużej mierze przez wieki, ale teraz istnieje dodatkowe cudowne narzędzie. A więc odpowiadając na Twoje pytanie o rozumienie mózgu, to tak; wydaje mi się, że tak jest istotnie.

**MF** — Na pewno nauczyliśmy się już, lub jesteśmy w pierwszym stadium prawdziwego uczenia się, jak przeprowadzać na komputerze doświadczenia, które mogą zacząć dostarczać intuicji o problemach nie nadających się do przeniknięcia w inny sposób. Nowa intuicja pozwala sformułować bardziej analityczną teorię. Czy myślicie, że istnieją problemy, które są tak złożone, że nie będzie można w ten sposób sobie z nimi radzić? Na przykład, może pamięć w mózgu nie ma globalnej struktury. Może nie zawiera nic więcej poza milionem różnych oddzielnie przechowywanych składników i wtedy nie można by sformułować żadnej teorii pamięci, a raczej tylko symulowałoby się taki układ na komputerze. Czy myślicie, że może być jakieś ograniczenie, co do rodzaju rzeczy, jakie można analizować?

**SU** — To zależy od tego, co nazywasz teorią. Zauważyłem, że powiedziałeś metoda analityczna, oznacza to, że z przyzwyczajenia i tradycji myślisz, że jest to jedyna metoda osiągnięcia postępu w czystej matematyce. A to tak nie jest. Mogą w końcu wyniknąć jakieś nadzwyczajne skutki z używania komputerów. Byłem związany od początku z komputerami i z pierwszymi doświadczeniami przeprowadzonymi w Los Alamos. Nawet w czystej teorii liczb już od początku pojawiały się małe zabawne rzeczy. Przerost specjalizacji w matematyce postępuje tak szybko, że nie można teraz znać więcej niż jej małą część; nadejdzie więc może czas, gdy powstanie inny format, sposób matematycznego myślenia w dodatku do istniejącego i inny stosunek do publikacji. Być może, zamiast publikowania twierdzeń i wyszczególniania ich, będzie jakieś szersze ujęcie całej teorii, a poszczególne twierdzenia pozostawi się komputerom lub studentom do opracowania, co jest do pomyślenia.

**MK** — Niewolnikom.

**SU** — Matematyka, która w ciągu ostatnich 2000 lat nie zmieniła się zbyt w swoim formalnym aspekcie, zmienia się teraz. Wielkie odkrycia tego wieku, odkrycia Gödla, mają ogromne filozoficzne znaczenie dla podstaw matematyki. Gödel udowodnił, że istnieją twierdzenia, które są sensowne, ale nie można wykazać czy są one prawdziwe, czy fałszywe przy danym układzie aksjomatów. Hilbert, oczywiście, był wielkim wyznawcą formalnego systemu dla całej matematyki. Powiedział: „Zrozumiemy każdą rzecz, ale wszystko zależy od tego, na jakiej podstawie.” Teraz już tak nie jest. Jak wiecie, układy aksjomatów same ulegają zmianie w wyniku tego, czego uczymy się przez doświadczenia fizyczne lub przez doświadczenia myślowe. Myślę, że Mark może mieć inny pogląd.

**MK** — Nie chcę posuwać się za daleko, bo jestem wyznawcą jednego z przykazań Wittgensteina: że o rzeczach, o których nic się nie wie, nie powinno się mówić. Chciałbym, żeby więcej ludzi stosowało się do tego przykazania. No dobrze, komputery odgrywają różne role: są one doskonałe jako narzędzia, ale również oferują pole dla nowego rodzaju eksperymentowania. Mitchell wie o tym najlepiej. Są pewne doświadczenia, których nie

które teraz się właśnie odbywa, w dużej mierze możliwe jest dlatego, że tak wiele odkryto doświadczalnie.

**MF** — Jest to absolutna prawda.

**SU** — Tak samo w fizyce, doświadczenia prowadzą w końcu do problemów i do teorii. Doświadczenia w matematyce mogą, oczywiście, być czysto myślowe, i tak było w dużej mierze przez wieki, ale teraz istnieje dodatkowe cudowne narzędzie. A więc odpowiadając na Twoje pytanie o rozumienie mózgu, to tak; wydaje mi się, że tak jest istotnie.

**MF** — Na pewno nauczyliśmy się już, lub jesteśmy w pierwszym stadium prawdziwego uczenia się, jak przeprowadzać na komputerze doświadczenia, które mogą zacząć dostarczać intuicji o problemach nie nadających się do przeniknięcia w inny sposób. Nowa intuicja pozwala sformułować bardziej analityczną teorię. Czy myślicie, że istnieją problemy, które są tak złożone, że nie będzie można w ten sposób sobie z nimi radzić? Na przykład, może pamięć w mózgu nie ma globalnej struktury. Może nie zawiera nic więcej poza milionem różnych oddzielnie przechowywanych składników i wtedy nie można by sformułować żadnej teorii pamięci, a raczej tylko symulowałoby się taki układ na komputerze. Czy myślicie, że może być jakieś ograniczenie, co do rodzaju rzeczy, jakie można analizować?

**SU** — To zależy od tego, co nazywasz teorią. Zauważyłem, że powiedziałeś metoda analityczna, oznacza to, że z przyzwyczajenia i tradycji myślisz, że jest to jedyna metoda osiągnięcia postępu w czystej matematyce. A to tak nie jest. Mogą w końcu wyniknąć jakieś nadzwyczajne skutki z używania komputerów. Byłem związany od początku z komputerami i z pierwszymi doświadczeniami przeprowadzonymi w Los Alamos. Nawet w czystej teorii liczb już od początku pojawiały się małe zabawne rzeczy. Przerost specjalizacji w matematyce postępuje tak szybko, że nie można teraz znać więcej niż jej małą cząstkę; nadejdzie więc może czas, gdy powstanie inny format, sposób matematycznego myślenia w dodatku do istniejącego i inny stosunek do publikacji. Być może, zamiast publikowania twierdzeń i wyszczególniania ich, będzie jakieś szersze ujęcie całej teorii, a poszczególne twierdzenia pozostawi się komputerom lub studentom do opracowania, co jest do pomyślenia.

**MK** — Niewolnikom.

**SU** — Matematyka, która w ciągu ostatnich 2000 lat nie zmieniła się zbyt w swoim formalnym aspekcie, zmienia się teraz. Wielkie odkrycia tego wieku, odkrycia Gödla, mają ogromne filozoficzne znaczenie dla podstaw matematyki. Gödel udowodnił, że istnieją twierdzenia, które są sensowne, ale nie można wykazać czy są one prawdziwe, czy fałszywe przy danym układzie aksjomatów. Hilbert, oczywiście, był wielkim wyznawcą formalnego systemu dla całej matematyki. Powiedział: „Zrozumiemy każdą rzecz, ale wszystko zależy od tego, na jakiej podstawie.” Teraz już tak nie jest. Jak wicie, układy aksjomatów same ulegają zmianie w wyniku tego, czego uczymy się przez doświadczenia fizyczne lub przez doświadczenia myślowe. Myślę, że Mark może mieć inny pogląd.

**MK** — Nie chcę posuwać się za daleko, bo jestem wyznawcą jednego z przykazań Wittgensteina: że o rzeczach, o których nic się nie wie, nie powinno się mówić. Chciałbym, żeby więcej ludzi stosowało się do tego przykazania. No dobrze, komputery odgrywają różne role: są one doskonałe jako narzędzia, ale również oferują pole dla nowego rodzaju eksperymentowania. Mitchell wie o tym najlepiej. Są pewne doświadczenia, których nie





Mitchell Feigenbaum (z lewej) oraz Marek Kac i Stanisław Ulam (z prawej)







Marek Kac



Stanisław Ulam

można przeprowadzić w umyśle. Jest to niemożliwe. Są doświadczenia, które można przeprowadzić w umyśle i są inne, których po prostu nie można, i jeszcze istnieje trzeci rodzaj doświadczeń, kiedy tworzy się swoją własną rzeczywistość. Podam Wam problem z prostej fizyki: gaz złożony z twardych kul. Otóż przyroda nie dostarcza gazu złożonego z twardych kul. Argon jest bliski tego, ale zawsze można argumentować, że z powodu niewielkiego przyciągającego „ogona” coś może się zmienić. Nie ma takiej substancji — przyroda jest taka złośliwa, że nie ma gazu twardych kul. A wiąże się z nim bardzo wiele interesujących problemów. Jest dziecinną igraszką stworzenie na komputerze gazu twardych kul. To prawda, pamięć jest ograniczona, a więc w rezultacie nie możemy mieć  $10^{23}$  twardych kul, ale możemy mieć ich tysiące, a w istocie czułość na liczbę Avogadro nie jest znowu taka wielka. Można rzeczywiście dowiedzieć się czegoś o rzeczywistości tworząc imitację rzeczywistości, co może zrobić tylko komputer. To jest zupełnie nowy wymiar w eksperymentowaniu. W końcu, bardzo sławny współczesny biolog, Sidney Brenner, który wygłosił wykład na Uniwersytecie Rockefellera, gdy tam jeszcze byłem, powiedział (może go źle cytuję), że być może teoria w biologii nie będzie taka jak teoria fizyczna. Zamiast być wprost dedukcyjną, czysto matematyczną, analityczną teorią, może być bardziej podobna do odpowiedzi na następujące pytanie. Mamy komputer i nie znamy jego schematu, ale możemy zadawać mu różnego rodzaju pytania. Na podstawie tego dialogu mamy odkryć schemat. W pewnym sensie Brenner czuł, że informatyka — języki, teoria programowania i co tam jeszcze jest — może być lepszym modelem dla teoretyzowania w biologii niż zapisywanie analitycznych równań i ich rozwiązywanie.

MF — Pojęcie bardziej syntetyczne?

MK — Tak. W istocie, myślę, że pójdziemy nawet dalej w tym kierunku, jeśli wprowadzimy jakoś możliwość ewolucji w maszynach, bo nie można zrozumieć biologii bez ewolucji. Rzeczywiście, mój kolega, Gerry Edelman, którego bardzo dobrze znacie i który jest laureatem Nobla z biochemii, obecnie „wszedł w mózg” i próbuje zbudować komputer, który miałby wbudowany w sobie proces ewolucji, tak by programy mogły ewoluować: zaczynasz od jakiegoś programu, który przekształca się w inny, itd. Jest to próba oderwania się od statycznego, nadającego się do wszystkiego Craya<sup>6</sup>, lub czegoś podobnego i do wyposażenia komputera w ten wyjątkowy, ważny element życia jakim jest ewolucja. Ja też tak czuję, jak Stan; gdybym był młodszy — *Si la jeunesse savait; si la vieillesse pouvait*<sup>7</sup> — jak się mówi po francusku, ja też zająłbym się biologią.

To jest fantastyczne wyzwanie. I są to problemy, które wymagają sformułowania, nie tylko rozwiązania. Być obecnym przy tworzeniu, formułować problem, to też jest podniecające.

SU — Mogę coś do tego dodać. Rzeczywiście, do pewnego stopnia różnice między matematykami i fizykami, o których mówiliśmy, czy skłonności umysłu, są tego rodzaju. Opisałem też z grubsza obraz następującego układu: matematycy zaczynają od aksjomatów i wyprowadzają wnioski, twierdzenia. Fizycy mają twierdzenia lub fakty zaobserwowane w doświadczeniu i poszukują aksjomatów, że tak powiem, praw fizyki, od tyłu.

<sup>6</sup> Cray — nazwa amerykańskiego superszybkiego komputera (przyp. Red.).

<sup>7</sup> „Gdyby tylko młodość potrafiła; gdyby tylko starość mogła”.

Tak właśnie, jak powiedziałeś, idea polega na wykryciu takiego układu praw czy aksjomatów, z których wynikałyby zaobserwowane fakty. W istocie tak zwana metoda Monte Carlo jest trochę tego typu, nawet w bardzo prozaicznych zagadnieniach, bardzo przyziemnej natury. Tworzysz swój własny świat, jak mówisz, twardej kul, lub co tam masz.

MF — Marku, chciałbym wrócić do czegoś, o czym wspomniałeś wczoraj. Przytoczyłeś cytat, że „Aksjomatyzacja to nekrolog wielkiej idei”. Mówiłeś to w kontekście tego, jak to czasem można zamęczyć matematykę i porzucić martwą zamiast pozwolić jej mówić za siebie i być żywą. Czy rozwinąłbyś myśl o duszy matematyki?

MK — Spróbuję. Oczywiście, jest aksjomatyzacja i aksjomatyzacja. Jeśli istotnie myślimy o rozwoju nauk przyrodniczych jako o odkrywaniu tego, co nazywamy prawami natury, o których można powiedzieć, że są jej aksjomatami, to wtedy przeciwnie, takie odkrycie jest zawiadomieniem o narodzinach. Ale weź, np., geometrię: jest to jedna z najstarszych, najlepiej znanych gałęzi ludzkiej wiedzy i w rzeczy samej jedno z wielkich osiągnięć Greków. Najwięcej zasług przypisuje się chyba Euklidesowi, ale to była sprawa zespołowa, ta aksjomatyzacja (aksjomatyzacja w tym sensie, że z małej liczby z wyglądu oczywistych twierdzeń można wyprowadzić cały świat faktów). Okazało się potem, że istnieją pęknięcia w tej budowlu; nagle pojawiły się pewne pojęcia, które nie były w pełni zaksjomatyzowane. Ostateczna aksjomatyzacja geometrii przyszła z Hilbertem w 1895 r., 2000 lat po Euklidesie. W pewnym sensie to był nekrolog, bo wtedy można by to (aksjomatyzację lub geometrię) odesłać w istocie do komputera. Gdy tylko przedmiot staje się tak dobrze zorganizowany, że każda oddzielna rzecz może być zredukowana do programu, nie pozostaje już nic więcej do zrobienia. W rzeczywistości Gödel przywrócił nam nadzieję udowadniając, że ta redukcja jest niemożliwa w ramach w pewnym sensie szerszego systemu matematycznego, że zawsze, bez względu na to jak duży, jak złożony jest ten system, będą istnieć twierdzenia, których prawdziwości lub nieprawdziwości nie będzie można udowodnić. Oznacza to, że zawsze jest możliwość tworzenia, zmiany aksjomatu lub czegoś w tym rodzaju. Istnieje taka tendencja wśród matematyków do rozumienia przez aksjomatyzację.

SU — A w fizyce jest to nonsens.

MK — Są ludzie, którzy wciąż próbują zaksjomatyzować termodynamikę. Najostateczniejszą rzeczą, którą należałoby zrobić, to aksjomatyzacja termodynamiki. Rozumiem przez to, przede wszystkim, że większość teorii fizycznych, jest tylko przejściowa, aczkolwiek muszę przyznać, że termodynamika jest jedną z teorii trwalszych. Zmieniają się one, ewoluują. Po co więc, do licha, aksjomatyzować coś, co następnego dnia stanie się przestarzałe? Ale z drugiej strony, wielu matematyków, którzy zostali wykształceni formalnie, czuje, że nie ma innego sposobu rozumienia przedmiotu niż przez ścisłą aksjomatyzację. I co gorsza, próbują oni w ten sposób uczyć małe dzieci w szkołach. Uczenie geometrii przez pełny układ aksjomatów jest głupotą. Nauczanie geometrii polega na drażnieniu wyobraźni młodych ludzi przez rozwiązywanie tych wszystkich cudownych problemów. Nie powinno to polegać na dowodzeniu, że jeżeli  $A$  leży pomiędzy  $B$  i  $C$ , a  $D$  między  $A$  i  $C$ , to wtedy  $D$  leży między  $B$  i  $C$ . Robisz po prostu rysunek i to jest trywialnie oczywiste.

SU — Weźmy, np. tzw. nową matematykę.

MK — Mógłbym godzinami przemawiać przeciwko nowej matematyce.

SU — Ona już zamiera, prawda?

MK — Tak, to już jest młócenie słomy.

MF — Jak myślicie, czy to, że ludzie są kształceni z czysto aksjomatycznego punktu widzenia, jest zjawiskiem zataczającym coraz szersze kręgi, czy też zawsze tak było wśród matematyków i przyrodników?

MK — Naprawdę nie wiem. Znam tylko bardzo niewielu ludzi.

MF — Zrobiłeś aluzję do tej sytuacji mówiąc, że naucza się teraz w duchu nowej matematyki, wspomniłeś jednakże, że nowa matematyka zamiera.

MK — Przez jakiś czas to było aktualne, gdyż grupie matematyków udało się sprzedać tę ideę biednym nauczycielom szkół średnich, którzy nie rozumieli nawet, o co tu w ogóle chodzi i którzy uczyli wtedy geometrii i innych przedmiotów wyłącznie poprzez aksjomaty. Są dwie zasady pedagogiczne, których trzeba się trzymać. Jedna głosi: „Mów prawdę, wyłącznie prawdę, ale nie całą prawdę”. Tę znam od byłego kolegi, który niestety już nie żyje. Druga brzmi: „Nie próbuj nigdy nikogo uczyć, jak unikać błędów, których prawdopodobnie i tak nigdy by nie popełnił.” Otóż, żeby dać przykład. Nowa matematyka zużywa okropnie dużo czasu w drugiej klasie, Boże ucho, na próbach wyjaśnienia małym dzieciom, że gdy piszemy małą trójkę i gdy piszemy dużą trójkę, to jednak mała trójka i duża trójka symbolizują to samo, gdyż jest to liczba kardynalna zbioru trzech elementów. Czy tak? To jest czysty idiotyzm. Jeśli dziecko jest logicznie wyrafinowane, i sprawa ta niepokoi je, to wziąłbym je na bok i zajął się nim specjalnie, ale żeby stwarzać zamieszanie w umyśle dziecka, które bardzo chce na razie wierzyć, że ta trójka i tamta reprezentują to samo, nawet jeśli jedna wygląda na większą od drugiej — to pozwólmy mu na to! Wiem, że to brzmi trochę zabawnie, ale ja mam na ten temat bardzo zdecydowaną opinię. Potrzeba precyzji, logiki nie może być narzucona z zewnątrz. Musi przychodzić od wewnątrz. Jeśli kogoś naprawdę to niepokoi, to znaczy, że on lub ona ma niezwykle wysoko rozwiniętą wrażliwość na subtelne logiczne aspekty.

SU — Próbuje wymyślać o tym dowcipy. Jeśli zadrukuje się stronę matematyką, lub czymś innym, to nie jest ona niezmiennicza, bo jak się na nią patrzy do góry nogami, to wygląda inaczej. A więc ideałem w nowej matematyce byłoby pisać w taki sposób, żeby to wyglądało tak samo, bez względu na to, pod jakim kątem się patrzy. Jest to ultramatematyczny punkt widzenia.

MF — Inne pytanie, nad którym zastanawiałem się wracając myślą do kawiarni „Szkockiej”, to: co było podniecające w matematyce? Czy było w tym czasie jakieś poczucie, że istnieje schemat rozumienia rzeczy, który przetrwa w przyszłości?

MK — Stan, jesteś dużo silniej związany z kawiarnią „Szkocką”.

SU — Nie sądzę, żeby tak naprawdę było. Ludzie byli tak przecież zatopieni w bieżących zagadnieniach. Od czasu do czasu mogły się zdarzyć jakieś spekulacje na temat dalszej przyszłości. Na przykład we Lwowie, moim mieście rodzinnym, Banach, ów sławny matematyk, o którym zdaje się wcześniej wspomniłeś, postanowił trzymać duży notatnik w kawiarni „Szkockiej”, gdzie zbieraliśmy się każdego dnia. Była to księga, do której wpisywane były zagadnienia do rozwiązania, uwagi i pomysły. Przechowywana była w kawiarni i kelner przynosił ją, gdy przychodziliśmy. Mnóstwo interesujących zagadnień zostało tam wpisane. Wspomnieć można, że tę księgę wydaje teraz Birkhäuser. Zdaje się, że zacząłem mówić o tym, że od czasu do czasu mogły pojawiać się pewne spekulacje.

Matematyk Mazur powiedział raz, np. : „Musi istnieć sposób wyprodukowania automatycznych urządzeń, które by się odtwarzały.” To było na długo przed tym, zanim von Neumann wszedł rzeczywiście w ten cały kompleks problemów i znalazł jeden sposób, żeby to zrobić. Spekulacje tego typu pojawiały się sporadycznie, ale na ogół był to bardziej przyziemny, matematycznie określony zbiór interesujących nas problemów z różnych dziedzin, takich jak analiza funkcjonalna i teoria mnogości, dziedzin, które w tamtych czasach były jeszcze młode.

**MK** — Ale już starzejące się.

**SU** — Być może.

**MK** — To trudno powiedzieć. Analiza funkcjonalna była, oczywiście, dziełem Banacha i częściowo Steinhausa. Pod koniec mojej studenckiej kariery, to jednak właśnie sam Banach, jak mi się zdawało, i również Mazur zaczęli rozglądać się za nowymi światami do podboju.

**SU** — Nieliniowy program badań.

**MK** — Masz rację. Banach także czytał. Pamiętam, bo raz byłem w jego pokoju w jakiejś błażej sprawie, a on czytał wczesne prace Wienera o całkach po drogach. Zgadza się ze Stanem, choć byłem w mniejszym stopniu bywalcem kawiarni „Szkockiej”. Przede wszystkim, mój nauczyciel Steinhaus uczęszczał do bardziej eleganckiego lokalu, gdzie były specjalne rzeczy do jedzenia i w ogóle. Po drugie, byłem mniej zasobny finansowo niż Stan — byłem, jak mawia Michael Cohen, jeden z naszych wspólnych przyjaciół, niezależnie biedny. A wizyty w kawiarni nieco kosztowały. Przede wszystkim odbywało się to tak, że ludzie omawiali interesujące zagadnienia, a potem nad nimi myśleli. Jeśli nic nie wyszło natychmiast z tego problemu, nic, co by wyglądało na interesujące i obiecujące, wtedy notowało się to w księdze. Rzeczywiście, bardzo mało zagadnień z książki okazało się zupełnie trywialnych. Wiele z nich ma bardzo szacowną historię. Pisano artykuły o wielu z nich, a niektóre wciąż są nierozwiązane. W rzeczy samej, chciałbym umieścić tu pewnego rodzaju przypisek. Jest godne uwagi, że Polacy nie wydali tej książki. Została ona za to wydana w Stanach Zjednoczonych, w rzeczywistości dzięki wysiłkom naszego bardzo wybitnego młodego przyjaciela o nazwisku Dan Mauldin, który jest profesorem matematyki w zupełnie nieprawdopodobnym miejscu, w stanowym Uniwersytecie Północnego Teksasu w Denton w Teksasie. Jest on pierwszorzędnym matematykiem i w stosunku do problemów matematycznych ma polską duszę. Wywiad z nim byłby ciekawy, gdyż był on na drodze do kariery najlepszego amerykańskiego obrońcy grając w sławnej teksaskiej drużynie Longhorns i porzucił to dla matematyki.

**SU** — Tak, był on w teksaskiej drużynie piłki nożnej i grał w mistrzostwach.

**MK** — I wtedy ku niezadowoleniu swojego trenera na ostatnim roku studiów, gdy mógł rzeczywiście dokonać wielkich rzeczy, porzucił piłkę nożną i zaczął myśleć o teorii mnogości.

**SU** — Ofiarowywano mu samochód i pieniądze.

**MK** — Dom i wszystko. To ciekawe, jaką pasję może zrodzić matematyka.

**SU** — Zapomniałeś powiedzieć o jednym — jednym z motywów w matematyce jest poczucie, że możesz zrobić coś sam. Myślę, że tkwi ono we wszystkich matematykach. Jedną z pobudek zajmowania się matematyką jest to, że nagle czujesz, że jesteś w czymś dobry. To bardzo ludzkie. To uczucie nie ma w sobie nic złego.



**MK** — Rzeczywiście, bardzo ludzkie. Istotnie, myślę, że to ani nie jest dobrze rozumiane, ani może nawet w ogóle nie jest do zrozumienia, w jaki sposób niektóre zagadnienia generują namiętności. Niektóre z nich, swoją drogą, okazują się w końcu względnie mało znaczące. Pamiętam takie jedno w związku ze Stanem. Stan wymyśla zagadnienia i hipotezy w najszybszym chyba tempie na świecie. Trudno jest znaleźć w tym kogoś tej samej klasy. Wiele z nich omawiamy wspólnie. Z jednym przyszedł raz i powiedział: „Popatrz, wymyśliłem następującą modyfikację liczb Fibonacciego.” Przy zwykłych liczbach Fibonacciego zaczynasz od 1 i 1, następnie je dodajesz otrzymując 2 jako trzeci wyraz ciągu. Potem dodajesz 2 i 1 otrzymując 3, potem 3 i 2, co daje 5, *etc.* Innymi słowy,  $(n+1)$ -szy wyraz ciągu jest sumą  $n$ -tego wyrazu i  $(n-1)$ -go. Symbolicznie,  $a_{n+1} = a_n + a_{n-1}$  przy  $a_1 = a_2 = 1$ . Ale według pomysłu Stana, wzór na  $a_{n+1}$  byłby teraz:  $a_{n+1} = a_n +$  któryś z  $a_1, a_2, \dots, a_{n-1}$  wzięty z prawdopodobieństwem  $1/n$ . Mój Boże, to jest ciekawe jako rozmowa przy kawie, ale z jakiegoś dziwnego powodu to mnie tak wzięło, że zacząłem nad tym pracować. Znalazłem nawet średnie  $a_n$  i nawet wariancję. A wariancja dana jest straszliwym wzorem zawierającym pierwiastek kwadratowy z 17. To się nawet ukazało jako raporcik wydany w Los Alamos. Spędziłem nad tym prawdopodobnie najmniej tydzień ciężkiej pracy. Dlaczego? Nie mam pojęcia, poza tym, że nie mogłem zostawić w spokoju tej przekłętej rzeczy.

**SU** — To, co zrobiłeś z regułą typu Fibonacciego, jest piękną robotą i ma pewną prostotę, tak jak i sam problem. A rozwiązanie było nieoczekiwane, bo  $a_n$  rośnie wykładniczo nie z  $n$ , lecz z pierwiastkiem kwadratowym z  $n$ .

**MK** — Z pierwiastkiem kwadratowym z  $n$  ze skomplikowanym współczynnikiem. Jest w tym pewna myśl, gdyż budując ciąg na każdym etapie musisz znać wszystkie poprzedzające wyrazy — wysoce niemarkowskie zagadnienie. W tym czasie, gdy się tym zabawiałem, to było tak jakbym był alkoholikiem. A jak wiesz, to niezdrowo.

**SU** — Inny interesujący problem wciąż nie jest rozwiązany — zagadnienie Fermata. Suma dwóch kwadratów może być kwadratem, ale suma dwóch sześciątów nie może być sześcianiem i tak dalej. Nikt nie może tego udowodnić dla dowolnej potęgi. Można, oczywiście, dla kwadratów, sześciątów, czwartych potęg i tak dalej, ale ogólnie nikt nie był w stanie tego dokonać. Wygląda to jak mała głupia zagadka, a jednak tak dużo ludzi nad nią pracowało, że w istocie rzeczy próby rozwiązania jej przyczyniły się w dużej mierze do rozwoju znacznej części nowoczesnej algebry. Dziwna to sprawa. Matematyczna teoria ideałów i inne teorie algebraiczne powstały z prób rozwiązania tej głupiej zagadki.

**MK** — A więc nie można przewidzieć. Nigdy nie można przewidzieć. Zwykle zagadki, te dobre, generują potem niektóre ogromne rzeczy, podczas gdy inne obumierają. Przypomina to bardzo przeżywanie osobników najlepiej przystosowanych.

**SU** — Albo jakiś rodzaj tajemniczego czynnika, który tkwi w problemach i czyni je ważnymi w przyszłości. Nie można tego logicznie przewidzieć.

**MF** — Powiedziałeś niemal, że zagadnienia mają jakiegoś teleologicznego ducha i że nie zawsze zdajemy sobie sprawę z ich wyjątkowego znaczenia w tym czasie, gdy się je rozwiązuje.

**SU** — Nie, nie powinniśmy być takimi mistykami, ale kiedyś może trochę się to zrozumie. Musi być jakieś...

**MK** — Oh, co Ci zależy, bądźmy mistykami! Czemu nie?

SU — Jak dotąd jesteście.

MF — Ostatnie pytanie. Czy kiedykolwiek mieliście sięgającą daleko w przyszłość nadzieję znalezienia właściwego sposobu analizy jakiegoś zagadnienia, a potem obserwowaliście, jak te nadzieje ziszczają się z biegiem lat? Zdaje mi się, że w fizyce bardzo często ustala się programy. Ktoś ma pewien pomysł, jest metoda podejścia do tego zagadnienia i wielu ludzi będzie nad tym pracowało może ponad dziesięć lat; czasem to zawodzi, czasem nie.

MK — Myślę, że najlepszym przykładem na to jest najnowsze rozwiązanie problemu klasyfikacji wszystkich grup prostych, grup skończonych. Jest to istotnie jedno z niezliczonych zespołowych dzieł w matematyce wykorzystujące, nawiasem mówiąc, komputer. I to był również program, gdyż zdarzały się różne przełomy, zrozumienie przychodziło z różnych stron. Otóż, gdy stało się jasnym, że zagadnienie klasyfikacji grup prostych prawdopodobnie może być rozwiązane, wtedy stworzono ogromną ludzką maszynę do jego rozwiązania. Na ogół, matematycy dużo nawet bardziej niż fizycy teoretycy, mają skłonności do samotnictwa. Są oni zdolni do współpracy, ale zasadniczo jest bardzo mało publikacji więcej niż powiedzmy trzech autorów. Ciekawe byłoby, gdyby narysować wykres: przy pięciu autorach krzywa osiąga zero.

SU — W matematyce to jest zero. W fizyce to nie jest takie wyjątkowe. Odpowiadając na Twoje pytanie, Mitch, Newton powiedział coś takiego — muszę to sparafrazować — „Jeśli osiągnąłem coś w nauce w moim życiu, to dlatego, że tak długo i tak wiele myślałem o tych zagadnieniach.”

MF — On też powiedział, że jeśli był w stanie widzieć dalej niż inni ludzie, to dlatego, że stał na ramionach olbrzymów.

MK — Sidney Coleman sparafrazował to tak: „Byłem w stanie widzieć dalej, gdyż otoczony byłem karłami.”

MF — W stosunku do jakich rzeczy, które zrobiliście, życie najcieplejsze uczucia?

MK — Należy zacząć od tego, że zawsze bardziej interesowały mnie problemy niż teorie. W retrospekcji, rzeczą, z której jestem najbardziej zadowolony, a zrobiona była ona przy współpracy z Erdősem, który też bywa czasem w Los Alamos, było wprowadzenie metod probabilistycznych do teorii liczb. Żeby ująć to poetycznie: liczby pierwsze uprawiają hazard. Także niektóre moje prace z fizyki matematycznej. Niektóre rzeczy mnie bawią. Czy można usłyszeć kształt bębna? Mam też w sobie, wiecie, żylkę dziennikarską; lubię dobry tytuł, czemu nie? Zadowolony jestem z tego, co zrobiłem próbując trochę lepiej zrozumieć teorię przejść fazowych. Fascynują mnie też matematyczne problemy, a w szczególności, jak wiesz równie dobrze albo lepiej niż ja, rola wymiarowości; dlaczego niektóre rzeczy zdarzają się od trzech wymiarów w górę, a inne nie. Zawsze czuję, że to właśnie tam związek między przyrodą i matematyką jest najgłębszy. Wiedzieć, dlaczego tylko pewne rzeczy obserwowane w przyrodzie mogą mieć miejsce w przestrzeni o pewnym wymiarze. Wszystko, co pomaga zrozumieć tę zagadkę jest ważne. Cieszę się, że i ja, w drobny sposób, trochę się do tego przyczyniłem. A Ty, profesorze?

SU — Nie wiem. Myślę, że w wielu wypadkach miałem pewnego rodzaju szczęście, a nie byłem znów taki bystry. Głupim szczęście sprzyja. Początkowo pracowałem w teorii mnogości i niektóre z tych problemów są wciąż intensywnie badane. To jest za bardzo techniczne do opisanie: mierzalne kardynały, miara w teorii mnogości, miary abstrakcyjne.

Potem miałem trochę wyników w topologii. Niektóre można sformułować popularnie, ale nie mamy na to czasu. Potem pracowałem trochę w teorii ergodycznej. Wspólnie z Oxtobym rozwiązałyśmy pewien stary problem i kilka innych problemów rozwiązanych zostało później w innych dziedzinach. Powiedziałbym ogólnie, że szczęście gra rolę, przynajmniej w moim przypadku. Miałem też szczęście do doskonałych współpracowników w teorii mnogości, w teorii grup, w topologii, w fizyce matematycznej i w innych dziedzinach. Szczęście sprzyjało mi również w przypadku pewnych podejść opartych na zdrowym rozsądku, jak metoda Monte Carlo, która nie jest ogromnym intelektualnym osiągnięciem, ale jest bardzo użyteczna. Parę takich rzeczy.

**MK** — Muszę przerwać, bo czas na popołudniową sesję, ale chciałbym zakończyć stwierdzeniem, że szczęście spotyka tylko tych, którzy na to zasługują.

Tłumaczyła  
*Zofia Białynicka-Birula*

Institut Fizyki PAN  
Warszawa

Autorka przekładu serdecznie dziękuje za pomoc profesorom Tadeuszowi Skalińskiemu i Iwo Białynickiemu-Biruli.

*Dodane przy korekcie:* W czasie druku niniejszego wywiadu nadeszła wiadomość o śmierci prof. Stanisława Ulama. Zmarł na atak serca 13 maja br. w Santa Fe gdzie od dawna mieszkał, niedaleko Los Alamos, gdzie przez wiele lat pracował. (Red.).



## ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH

*Franciszek Kaczmarek*

Instytut Fizyki  
Uniwersytet Adama Mickiewicza  
Poznań

### **Nauczanie fizyki w Uniwersytecie w Lund**

#### **Teaching of Physics at the Lund University**

W okresie od 1 września do końca października 1983 r. przebywałem w Uniwersytecie w Lund w ramach programu EPS pt. „Teaching Abroad”. Programowi temu patronuje komitet doradczy EPS pod nazwą Advisory Committee on Physics Education (ACPE). Celem tej wizyty — złożonej na zaproszenie Uniwersytetu w Lund — było zapoznanie się z nauczaniem fizyki oraz wzięcie bezpośredniego udziału w wybranych zajęciach dydaktycznych.

Uniwersytet w Lund jest trzecim co do wielkości Uniwersytetem w Szwecji, po Uppsali i Sztokholmie. Liczba studentów (łącznie z filią w Malmö) wynosi 23 tysiące. Skupia on wszystkie kierunki nauczania wyższego, a więc artystyczne, humanistyczne, nauki ścisłe, techniczne itp. Uczelnią kieruje rektor z pomocą jednego prorektora. Ważniejsze sprawy uczelni rozstrzyga Rada Uniwersytetu, która składa się z 18 osób: rektora, dyrektora administracyjnego, 6 przedstawicieli władz lokalnych i centralnych (tzw. polityków), 4 reprezentantów ciała nauczającego, 3 reprezentantów pracowników i 3 studentów.

Wydział fizyki ma w tym układzie stosunkowo dużą autonomię; w szczególności odnosi się to do finansów i zakupu aparatury. W czasie mojego pobytu w Lund związany byłem głównie z zespołem dydaktycznym kierowanym przez doc. Ingmara Johanssona. Miałem jednakże możliwości zapoznania się z interesującymi mnie badaniami naukowymi, a mianowicie: z zespołem prof. Sune Svanberga, który ulokowany jest w Instytucie Technologicznym oraz zespołem prof. Indreka Martinssona (pod nieobecność jego zespołem tym kierował dr Ulf Litzen). Pierwszy z nich zajmuje się zaawansowaną spektroskopią atomową (spektroskopia polaryzacyjna i nasyceniowa, metoda zdudnień kwantowych, metody CARS, spektroskopia bezdoplerowska, badanie zanieczyszczeń powietrza oraz próby leczenia nowotworów za pomocą laserowych wiązek światła). Zespół drugi kontynuuje badania zapoczątkowane przez Rydberga, który był profesorem Uniwersytetu w Lund.

Jest to spektroskopia dużej zdolności rozdzielczej atomów i jonów wielokrotnie zjonizowanych z zastosowaniem wzbudzeń iskrowych, plazmowych (plazma wywołana przebiegiem z silnej wiązki lasera) oraz metody wiązka-tarcza (*beam foil spectroscopy*). Oba zespoły są doskonale wyposażone w aparaturę. Przede wszystkim należy wymienić tu akcelerator liniowy, wiele bardzo dobrych spektrografów, dziesiątki laserów barwnikowych, optyczne analizatory wielokanałowe oraz wspaniałe zaplecze komputerowe.

W zasadzie wszyscy pracownicy naukowcy zobowiązani są do prowadzenia zajęć dydaktycznych, z tym, że członkowie zespołu dydaktycznego zajmują się głównie, a niekiedy wyłącznie, nauczaniem. Studia fizyki nie cieszą się popularnością w Szwecji. Na pierwszym roku studiów było zaledwie 30 studentów, z których nie każdy był zdecydowany od razu wybrać fizykę jako kierunek główny. Student ma bowiem stosunkowo dużą swobodę w wyborze przedmiotów do zaliczenia. Studia są trzyletnie (system magisterski został zlikwidowany). Mają one charakter dość ogólny, ze znacznie okrojonym programem fizyki teoretycznej i wykładów monograficznych. Rok akademicki podzielony jest na dwumiesięczne okresy. Zaliczenia roku uzyskuje się po zdobyciu odpowiedniej liczby punktów. Studenci są bardzo zdyscyplinowani. Obecność na wykładzie (na którym nie sprawdza się oczywiście obecności) jest w zasadzie stuprocentowa. Wiele uwagi poświęca się wykładom kursowym i uzupełniającym ćwiczeniom laboratoryjnym. Wykłady te są prowadzone przez najbardziej doświadczonych profesorów i lektorów i z reguły bogato ilustrowane doświadczeniami. Studenci I roku od początku uczą się intensywnie obsługi komputerów, mając do dyspozycji zarówno tzw. komputery personalne (typu PET Commadore), jak również końcówki dużego komputera. Do wykładu kursowego z fizyki zalecany był podręcznik amerykański *Physics for Scientists and Engineers* F. Buecke'a. Ćwiczenia laboratoryjne mają charakter trzystopniowy. Pierwszy stopień składa się z 16 ćwiczeń wstępnych (*Introductory Course*), które odrabia się w ciągu czterech pełnych dni. Zestaw tych ćwiczeń jest następujący: pomiar natężenia i napięcia, pomiar charakterystyki diody półprzewodnikowej, zestawienie obwodu omomierza i jego wycechowanie, zbadanie charakterystyki termistora, mostek Wheatstone'a, kalibracja osi x i y oscylografu, kalibracja podstawy czasu oscylografu za pomocą wzorcowego generatora i prądu z sieci, figury Lissajoux, badanie drgań piezoelektrycznych (kalibracja widełek stroikowych), pomiary długości, komparator, rozwiązanie trójkąta triangulacyjnego, ważenie i barometr.

Drugi stopień ćwiczeń odpowiada mniej więcej programowi naszej I Pracowni Fizycznej. Większość zestawów laboratoryjnych to gotowe urządzenia zakupione w znanych fabrykach sprzętu dydaktycznego, jak np. firma Leybold. Jednym z piękniejszych ćwiczeń było wahadło Cavendisha (6 pełnych zestawów, co umożliwiło jednoczesne wykonanie tego ćwiczenia przez całą grupę). Dzięki niezwykle stabilnej podłodze, wahania małych kuleczek (okres drgań wynosił około 15 minut!) nie były w ogóle zakłócanie przez czynniki zewnętrzne. Pomiar stałej grawitacji w warunkach pracowni studenckiej był imponująco dobry. We własnym zakresie wykonano natomiast interesujące zestawy do ćwiczeń z elektromagnetyzmu. W zasadzie ćwiczenia wykonuje się parami. Studenci otrzymują bardzo dokładne opisy ćwiczeń wraz z gotowymi niemal opracowaniami, w które wpisuje się wartości numeryczne i wszystkie obliczenia. Obliczenia te wykonuje się w pracowni pod nadzorem prowadzącego asystenta. Zakończenie ćwiczenia następuje po wykonaniu prawidłowych pomiarów i obliczeń. Pracownie studenckie zasadniczo wyposażone są tylko

w ruchome stoły i gniazda zasilające. W większości przypadków zestawy ćwiczeń znajdują się w szafach. Określone zestawy ćwiczeń przygotowuje się zwykle na krótko przed zajęciami. Bardziej zaawansowane ćwiczenia laboratoryjne to: badanie pełnej charakterystyki transformatora, cechowanie manometru Piraniego dla powietrza i gazów szlachetnych, cechowanie termometru gazowego, pomiar przewodnictwa cieplnego, galwanometr, zastosowanie nowoczesnego oscylografu do badania charakterystyki rozmaitych obwodów elektrycznych, badanie zdolności rozdzielczej mikroskopu, badanie efektów dyfrakcyjno-interferencyjnych za pomocą wiązki lasera, zjawisko odbicia i dyfrakcji w akustyce, charakterystyka głośnika itp.

W pracowni fizycznej na III roku studiów wykonuje się zadanie o wyraźnym profilu naukowym. Oto zestaw tych zadań w roku akademickim 83/84: zbadanie widma atomów Ca (w tym również wysokozjonizowanych) za pomocą spektrografu siatkowego o dużej zdolności rozdzielczej, pompowanie optyczne, spektroskopia wiązka-tarcza (*beam foil spectroscopy*), spektrometr scyntylacyjny, efekt Comptona, własności promieni  $\beta$ , komora pęcherzykowa, detektory półprzewodnikowe. Zadania te wykonuje się w pracowniach naukowych. W zasadzie tylko materiały pomocnicze napisane są po szwedzku. Zalecane podręczniki i monografie są z reguły w języku angielskim. Stąd wynika m. in. dobra, a niekiedy wręcz doskonała znajomość języka angielskiego wśród szwedzkich studentów. Biblioteki podręczne pracowni, jak również biblioteka Instytutu Fizyki są typu samoobsługowego. Pracownicy i studenci sami wybierają potrzebne im książki i zostawiają rewers w określonym miejscu. Nie ma dyżurujących bibliotekarek! Tylko biblioteka główna, jak również biblioteka centralna nauk ścisłych zorganizowane są nieco inaczej. Każdy ma oczywiście dostęp do całych zbiorów, ale przy wyjściu znajduje się kontroler magnetyczny.

W czasie mojego pobytu w Lund wygłosiłem kilka odczytów na temat fizyki laserów, brałem udział w wielu seminariach oraz uczestniczyłem bezpośrednio w realizacji nauczania, głównie na I roku studiów. Duże wrażenie wywarło na mnie wielkie zaangażowanie i zamiłowanie pracowników zespołu do pracy dydaktycznej. Studentów traktowało się z wielką wyrozumiałością i cierpliwością. Na przykład, przed rozpoczęciem określonego zadania prowadzący omawiał dokładnie cel ćwiczenia, jego przebieg, sposób obliczeń itp. Następnie służył pomocą w czasie jego realizacji. Po zakończeniu części eksperymentalnej i obliczeniowej, ponownie dyskutowało się w całej grupie (sześćoosobowej) przebieg ćwiczenia, jego cele, wskazywało dokładność poszczególnych pomiarów, błąd końcowy itp. Nie było przy tym, typowego w naszych warunkach, dość rygorystycznego sprawdzania przygotowania własnego studentów.

Bardzo dobre były doświadczenia przygotowane do wykładów. Przy znikomej lub najczęściej żadnej pomocy ze strony laborantów (w całym zespole dydaktycznym była tylko jedna laborantka, która głównie zajmowała się parzeniem kawy i herbaty), wykładowcy przygotowywali w godzinach popołudniowych demonstracje do swoich wykładów. Status pracowników uniwersytetu jest dość skomplikowany. W zasadzie tylko profesoria i rektorzy są ustabilizowani. Większość młodszych pracowników nauki korzysta z różnych form stypendialnych, bądź też jest zatrudniona na określony okres czasu. Kwalifikacje na docenta uzyskuje się nie w wyniku sformalizowanego przewodu habilitacyjnego, ale po uzyskaniu odpowiedniego dorobku naukowego (i dydaktycznego).

Niezwykle interesujący był dla mnie program pozyskiwania energii z ziemi oraz wiatru. Na przykład w Lund pompuje się wodę z głębokości ok. 700 m, w temperaturze zaledwie 25°C. Z wody tej pobiera się ciepło za pomocą rozprężonego i oziębionego freonu. Wielkie ilości ciepła odzyskuje się również z wody morskiej, a nieco mniejsze w procesie schładzania ścieków. W Szwecji rozwijany jest także program wykorzystywania energii wiatrów. Zbudowano kilka potężnych wiatraków, każdy o mocy ok. 2 MW. Nie jest to wiele, ale należy pamiętać, że nie ma w zasadzie ograniczeń co do liczby tych urządzeń.

Na zakończenie chciałbym wyrazić serdeczne podziękowanie dziekanowi Wydziału prof. Hansowi Ryde, a także kierownikowi zespołu dydaktyki — doc. Ingmarowi Johanssonowi za stworzenie mi doskonałych warunków w czasie mojego pobytu w Lund.

## ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

### II Wiosenna Szkoła Akustooptyki i jej Zastosowań

Szkoła odbyła się w dniach 24—29 maja 1983 r. w Wieżycy koło Gdańska. Podobnie jak I Szkoła w roku 1980 (zob. *Postępy Fizyki* 32, 311 (1981)) była ona zorganizowana przez Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Gdańskiego przy współudziale Sekcji Akustyki Kwantowej, Molekularnej i Sonochemii Polskiego Towarzystwa Akustycznego i poparciu Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN.

Program Szkoły obejmował fizyczne, techniczne i technologiczne problemy związane z oddziaływaniem światła i ultradźwięków w cieczech i ciałach stałych. Ogółem wygłoszono 28 wykładów, z których część stanowiła przygotowane na zaproszenie referaty szkoleniowe, a część oryginalne prace własne. Prócz tego 12 prac przedstawiono w formie plakatowej.

Tematykę Szkoły pogrupowano w kilka problemów: od podstawowych teorii ugięcia światła na falach ultradźwiękowych w ośrodkach izotropowych a następnie w ośrodkach anizotropowych, poprzez problemy związane z optyczną interferometrią pola ultradźwiękowego, wykorzystywaną także do badań ciała stałego, do zastosowań technicznych. Osobną grupę stanowiły zagadnienia spektroskopii fotoakustycznej.

Ogólną teorię ugięcia światła na falach ultradźwiękowych w ośrodku izotropowym przy skośnym padaniu światła, w szczególności warunki rozwiązań przy różnych przybliżeniach, przedstawił R. Mertens (Belgia) w swoich dwóch referatach szkoleniowych. Ogólna teoria przewiduje rozwiązania, które w zależności od przybliżenia opisują różne rozkłady natężeń światła wiązek ugiętych, w szczególności w tzw. zakresach Ramana-Natha oraz Bragga. A. Defebvre (Francja) porównał wyniki różnych teorii dyfrakcji światła na ultradźwiękach w przypadku stosunkowo dużych mocy ultradźwięków i dużej grubości wiązek.

Zjawisko ugięcia wygląda inaczej, gdy rozważa się wiązkę światła o dużej mocy. Ostatnio otrzymano bardziej ogólne rozwiązanie równań Maxwella w przypadku, gdy wiązka światła dużej mocy generuje trzecią harmoniczną w ośrodku ciekłym (W. Hereman — Belgia).

Przestrzenna i czasowa modulacja ugiętych wiązek światła zależy nie tylko od częstości i natężeń oddziałujących fal świetlnych i ultradźwiękowych, ale także od kątów padania wiązki światła (I. Gabrielli, P. Ciutti, S. Zugna — Włochy). I. Gabrielli przedstawił analizę kilku możliwości realizacji czasowej modulacji światła za pomocą ultradźwięków. Zaproponował zestaw z dwiema wiązkami ultradźwiękowymi biegnącymi z różnymi prędkościami (dwa różne ośrodki) i tak dopasowanymi, aby spełniony był warunek równości długości fal w obu wiązkach. Taki układ pozwala modulować wiązkę światła z częstością równą różnicy częstości obu wiązek ultradźwiękowych.

W teoretycznym rozważaniu na temat ultradźwiękowych fazowych siatek dyfrakcyjnych K. Patorski (IKPPO PW) pokazał interesujące zależności, szczególnie w polu bliskim wiązki światła oddziałującej z dwiema wiązkami ultradźwiękowymi, gdy odstęp pomiędzy nimi może się zmieniać. Warunki interferencji i modulacji światła w takim przypadku były badane i przedstawione przez P. Kwieka (SLAiS UG).

Oddziaływanie pomiędzy światłem i ultradźwiękami w ośrodkach anizotropowych ma charakter bardziej skomplikowany (A. Śliwiński IFD UG). Ogólna teoria opisująca zjawisko w kryształach i ciekłych kryształach bierze pod uwagę stany polaryzacji światła oraz różne rodzaje (mody) propagacji ultradźwięków. Istnieją szerokie możliwości badań i zastosowań. Zostało to interesująco zilustrowane w referacie (A. Alippi-Włochy) o efektach polaryzacyjnych w zjawisku anizotropowej dyfrakcji światła na ultradźwiękach.

Osobną grupą problemów są oddziaływania akustooptyczne w przypadku akustycznych fal powierz-

chniowych. Charakter propagacji tych fal zależy od anizotropowych własności substratu (W. Pajewski — IPPT PAN) wpływających na warunki dyfrakcyjne i odbiciowe. W przypadku, gdy odbicie zachodzi od periodycznego układu metalicznych pasków można było opracować odpowiednią teorię (E. Danicki — PIT). Zmiany prędkości rozchodzenia się fal powierzchniowych można kontrolować optycznie, elektrycznie lub magnetycznie (A. Milewski ITE PW). Dogodną metodę analizy fal powierzchniowych w ośrodkach niejednorodnych zaproponował M. Baszun (ITE PW). W technice falowodów optycznych fale powierzchniowe odgrywają ważną rolę w tzw. akustooptyce planarnej. A. Opilski (IF PŚI) w swoim referacie przedstawił aktualny stan technologii światłowodów planarnych i metody takich układów.

Zastosowanie oddziaływań akustooptycznych do badania pól i przetworników ultradźwiękowych było przedmiotem kilku prac. Polaryzacyjna interferometria laserowa jest narzędziem bardzo precyzyjnym do takich badań (R. Reibold — RFN). Istnieją bardzo obiecujące wyniki zastosowania do wizualizacji oraz bezwzględnych pomiarów rozkładów pól ultradźwiękowych (S. Ait Amer — W. Brytania, J. Kozłowski, J. Szarpeł — IKPPO-PW). Przez pomiar rozkładów amplitud drgań na powierzchni drgających przetworników za pomocą holografii optycznej można bardzo precyzyjnie określać rzeczywiste rozkłady bliskiego i dalekiego pola promieniowania przetworników (I. Wojciechowska, A. Markiewicz — IFD UG). Metody akustooptyczne są szczególnie użyteczne dla określania charakterystyk promieniowania przetworników ultradźwiękowych o dużej zdolności rozdzielczej (S. Ait Amer — W. Brytania).

Metody akustooptyczne są bardzo dogodne przy badaniu kryształów i ciekłych kryształów. Możliwe jest precyzyjne określenie lokalnych własności sprężystych ciała stałego (F. Michard — Francja), co jest szczególnie ważne w przypadku ośrodków niejednorodnych.

Wiele materiałów, które znajdują zastosowania akustooptyczne jest szeroko badanych, np.  $\text{TeO}_2$  (L. Kovacs — Węgry). Bardzo efektywną metodą badania ciał stałych jest rozpraszanie Brillouina, które J. Sapriel (Francja) zastosował do badania dynamiki siatki krystalicznej i tzw. efektów nadsiatkowych w stopach półprzewodników III—V. Efekty akustooptyczne w ciekłych kryształach badał W. F. Nozdriew (ZSRR).

Kilka interesujących prac w grupie zastosowań akustooptycznych przedstawiono na temat czujników światłowodowych. M. Szustakowski (WAT) scharakteryzował działanie takich czujników i przedstawił miernik skonstruowany przez grupę swych współpracowników. Czulość takiego przetwornika (B. Kiżlik — WAT) jest dwa rzędy wielkości wyższa niż tradycyjnych hydrofonów. Omówiono również konstrukcję akustooptycznego analizatora widma (W. Ciurapiński, M. Szustakowski — WAT) oraz akustooptycznego modulatora z falą stojącą (I. Merta, J. Rata — WAT).

Jako przykład bardzo praktycznych zastosowań zademonstrowano próby wizualizacji pola kawitacji wytworzonego przez śrubę okrętową (E. Kozaczka, C. Cwalina — WSMW) oraz przepływu powietrza w pobliżu śmigła i końcówek rotorów helikoptera (A. Chyla, W. Kamiński — IL).

W sesji plakatowej były również przedstawione prace na temat nowego algorytmu opisującego propagację fal akustycznych (M. Dozio — Włochy), aberracji mikroskopu akustycznego (J. Litniewski — IPPT PAN) oraz tłumienia średniego pola akustycznego w ośrodku stochastycznym (E. Soczkiewicz — IF PŚI).

Zagadnieniom spektroskopii fotoakustycznej poświęcone były trzy referaty. O badaniach na ten temat w Polsce mówili J. Ranachowski i J. Motylewski (IPPT PAN) oraz S. Komorowski i W. Zielenkiewicz (IChF PAN). Intensywnie rozwijane są badania we Francji (G. Louis). Udoskonalono aparaturę i osiągnięto nowe wyniki pozwalające na interpretację wibracyjnych i rotacyjnych widm optycznych.

Obrodam towarzyszyły interesujące dyskusje. Odbyła się też osobna dyskusja okrągłego stołu na temat kryteriów rozróżniania zakresów Ramana-Natha i Bragga w zjawisku ugięcia światła na fali ultradźwiękowej.

Materiały II Szkoły zstały wydane jako osobny tom przez Dział Wydawniczy Uniwersytetu Gdańskiego w styczniu br.

Następna, III Wiosenna Szkoła Akustooptyki, ma odbyć się w r. 1986.

*Antoni Śliwiński*

Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Uniwersytet Gdański  
Gdańsk



## Konferencja dydaktyczna w Kielcach

W dniach 27 i 28 stycznia 1984 r. odbyła się w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach Ogólnopolska Konferencja Dydaktyczna „Dni Wymiany Doświadczeń”, której tematem były zagadnienia nauczania fizyki w uczelniach technicznych w Polsce. Konferencję otworzył Rektor Politechniki Świętokrzyskiej doc. Ryszard Sobociński okolicznościowym wystąpieniem, w którym podkreślił znaczenie dobrej kadry dydaktycznej, nauczającej przedmiotów podstawowych, w procesie kształcenia współczesnego inżyniera.

Doc. Marian Kargol jako główny organizator konferencji (kierownik Katedry Fizyki Politechniki Świętokrzyskiej, a zarazem Przewodniczący Kieleckiego Oddziału PTF), mówiąc o celach i zadaniach Konferencji, poinformował też zebranych o dotychczasowych zorganizowanych wysiłkach, zmierzających do przeciwdziałania wielce niekorzystnej tendencji zmniejszania w uczelniach technicznych liczby godzin przeznaczonych na nauczanie fizyki. Wskazał też na potrzebę dyskusji na te tematy, zwłaszcza w kontekście omawiania na Konferencji programów nauczania fizyki i możliwości ich praktycznej realizacji.

Do zagadnienia tego wracali również w swoich wystąpieniach m. in. prof. Kazimierz Przewłocki (AGH), prof. Bogdan Dziunikowski (AGH), prof. Stanisław Przystański (AR — Wrocław), prof. Bolesław Wysocki (Politechnika Częstochowska), dr Ireneusz Strzałkowski (Politechnika Warszawska) i inni.

W trakcie czterech kolejnych sesji Konferencji wygłoszono 12 referatów dotyczących: dydaktyki prowadzenia zajęć z fizyki w uczelniach technicznych, ze szczególnym uwzględnieniem wykładów; stanu liczbowego i jakościowego podręczników fizyki przydatnych w uczelniach technicznych; programów nauczania fizyki w uczelniach technicznych i możliwości ich realizacji; niektórych zagadnień dotyczących ćwiczeń laboratoryjnych.

Referat inauguracyjny pt. „Rola wykładu fizyki w wyższej szkole technicznej” wygłosił prof. Zbigniew Sidorski (Uniwersytet Wrocławski).

Wszyscy uczestnicy Konferencji, podkreślając silną potrzebę doskonalenia procesu nauczania fizyki w uczelniach technicznych, wyrażali jednocześnie niepokój w związku z istnieniem stałej tendencji zmniejszania liczby godzin, przeznaczonych na nauczanie tego przedmiotu. Sytuacja ta rzutuje nie tylko na poziom kształcenia przyszłej kadry technicznej, ale również zubaża kulturę narodową. Skutki tego w przyszłości mogą okazać się bardzo negatywne.

Uczestnicy Konferencji uważają za celowe, aby, oprócz nauczania podstaw fizyki w początkowych semestrach kształcenia inżynierów, pilnie wprowadzono na starszych latach studiów wykład monograficzny fizyki, który wypełniłby lukę między fizyką jako przedmiotem podstawowym a jej zastosowaniem w technice. Uczestnicy Konferencji w podsumowaniu uchwalili następujące wnioski:

1. Istnieje wielka potrzeba wprowadzenia w uczelniach technicznych wykładu monograficznego z najnowszych osiągnięć fizyki i zastosowania ich w technice. Wykład taki powinien być prowadzony na wyższych latach studiów.
2. Dyrektorzy niektórych Instytutów Fizyki uczelni technicznych winni wykazać większe zainteresowanie konferencją „Dni Wymiany Doświadczeń”, organizowaną cyklicznie.
3. Proponuje się, aby następna konferencja „Dni Wymiany Doświadczeń” odbyła się w czerwcu 1985 r. w Politechnice Częstochowskiej.
4. Istnieje potrzeba wydawania drukiem materiałów, obejmujących problematykę prezentowaną na konferencjach „Dni Wymiany Doświadczeń”.
5. Zarząd Główny PTF winien informować Instytuty Fizyki i Katedry Fizyki uczelni technicznych o organizowanych przez Instytut Kształcenia Nauczycieli konferencjach dydaktycznych, dotyczących nauczania fizyki.
6. Proponuje się wystąpić do prof. Andrzeja Olesia z AGH, aby w ramach PTF można było sprowadzić 5 egzemplarzy *European Journal of Physics*.
7. Zarząd Główny PTF winien podjąć starania o wydanie w języku polskim trzech tomów podręcznika fizyki Sowieliewa oraz podręcznika fizyki współczesnej Resnicka — Eisberga.
8. Gospodarze obecnej Konferencji wyślą specjalne sprawozdanie z obrad do Zarządu Głównego PTF z prośbą o zamieszczenie go w *Postęпах Fizyki*, w *Przeglądzie Technicznym* i w *Życiu Szkoły Wyższej*.

9. Bardzo celowe byłoby wydanie uzupełnionego i poprawionego podręcznika *Ćwiczenia pokazowe z fizyki* T. Dryńskiego.
10. Proponuje się, aby w programie przyszłej konferencji „Dni Wymiany Doświadczeń” znalazły się m. in. takie tematy, jak termodynamika czy dydaktyka zajęć w laboratoriach fizycznych.

*Stanisław Kałuża, Kazimierz Stachulec*

Katedra Fizyki  
Politechnika Świętokrzyska  
Kielce



## RECENZJE

**Encyklopedia Fizyki Współczesnej, PWN, Warszawa 1983, s. 1007, nakład 60 000 egz., cena zł 1300.—**

*Encyklopedia Fizyki Współczesnej*, którą dalej będę nazywał krótko *Encyklopedią*, jest zbiorem artykułów przeglądowych na tematy przyrodoznawcze i techniczne interesujące współczesnych fizyków. Fakt, że pokaźny nakład rozszedł się szybko mimo dość wysokiej ceny egzemplarza potwierdza, że krąg ludzi zainteresowanych takimi zagadnieniami jest znacznie szerszy niż krąg fizyków.

Dzieło jest imponujące: ponad stu autorów, ponad tysiąc stron druku (drobnego, w dwu szpaltach), tysiące rysunków i ponadto przeszło dwieście fotografii na wkładkach, w tym dwadzieścia parę barwnych. Nie jest to encyklopedia w zwykłym tego słowa znaczeniu. Nie pretenduje do przedstawienia całokształtu naszej wiedzy i nie korzysta z wielkiego wynalazku francuskich encyklopedystów — alfabetycznego układu haseł. Trudno tu w ogóle mówić o hasłach. Encyklopedycznych definicji prawie nie ma. Wystarczy przejrzeć skorowidz, żeby się przekonać, że jedne pojęcia występują wielokrotnie, a inne wcale. Na przykład, można znaleźć pięć odnośników do efektu Zeemana, jeżeli się wpadnie na pomysł, żeby go szukać pod „zjawisko”, ale nie ma odnośników do efektu Starka, o którym zresztą jest mowa w tekście (np. str. 330). Tak więc *Encyklopedia* uzupełnia raczej niż zastępuje tradycyjne encyklopedie i poradniki encyklopedyczne z zakresu fizyki.

Przewodniczący Redakcji Naukowej Andrzej Kajetan Wróblewski, w krótkiej przedmowie zgadza się, że omawiane dzieło nie jest encyklopedią w tradycyjnym tego słowa znaczeniu. Obstaje natomiast przy tym, że materiał zawarty w *Encyklopedii* jest szeroko rozumianą fizyką. Popiera to pięknym cytatem z podręcznika fizyki wydanego w Wilnie w roku 1825.

Bardzo ważny jest przymiotnik „współczesnej” w tytule. W *Encyklopedii* są zredukowane do minimum lub pominięte wielkie działy, które stanowią łącznie przeszło połowę materiału w typowym poradniku fizyka. Jako przykład mogą służyć mechanika z hydrodynamiką (z wyjątkiem drgań omawianych wielokrotnie) czy klasyczna chemia fizyczna (roztwory, reakcje chemiczne itd.). Z punktu widzenia fizyka jest to znakomita decyzja, znacznie zwiększająca atrakcyjność książki. Z rezerwą traktowałbym zapewnienie Wróblewskiego, że do korzystania z *Encyklopedii* wystarcza znajomość fizyki i matematyki w zakresie szkoły średniej. Częstkowe równania różniczkowe, całki wielokrotne i operatory, które spotykałem w tekście, zdają się temu przeczyć. Niemniej, wysiłek włożony w uproszczenie wykładu przyniósł widoczne skutki. Obciążenie formalizmem jest zredukowane, przez co teksty lżej się czyta. Ceną było pominięcie wielu żywo rozwijających się działów, poczynając od matematycznych metod fizyki, ale trudno wymagać żeby wszystko zmieściło się w jednym tomie. I tak myślę, że poczynając od ucznia szkolnego, a kończąc na doświadczonym fizyku każdy, kto się interesuje budową otaczającego nas świata, znajdzie w *Encyklopedii* niejedno, co będzie dla niego nowe, ciekawe i zrozumiałe opisane.

Materiał zawarty w *Encyklopedii* jest podzielony na dziesięć rozdziałów. Rozdziały nie są ponumerowane, zapewne żeby nie sugerować, że powinny być czytane kolejno. Krótki rozdział „Czym jest fizyka” dotyczy zagadnień metodologicznych, historycznych i filozoficznych. W artykule o historii autor interesująco argumentuje, że współczesna metodologia fizyki wywodzi się od Kopernika, a nie tylko, jak to się zwykle pisze, od Galileusza.

Rozdział „Podstawowe pojęcia i teorie” zawiera to trochę ogólnej fizyki teoretycznej, które redaktorzy uznali za konieczne wprowadzić. Rozkład długości artykułów świadczy o swobodzie pozostawianej autorom. Bardzo niekompletny artykuł o zasadach zachowania zajmuje więcej miejsca niż artykuł o elektrodynamice (klasycznej i kwantowej!) czy artykuł o termodynamice fenomenologicznej. Ważny artykuł

o przejściach fazowych i zjawiskach krytycznych niezbyt tu pasuje, ale trudno wskazać, dokąd można by go przenieść. Szczególnie ciekawy jest artykuł pierwszy, poświęcony mechanice i teorii względności.

W rozdziale „Cząstki elementarne i fizyka wielkich energii” są omówione cząstki „elementarne”, ich silne, elektromagnetyczne i słabe oddziaływania, podstawowe detektory i akceleratory cząstek oraz atomy egzotyczne. Tu może najbardziej zaszkodził długi cykl wydawniczy. Książkę oddano do składania w styczniu 1979, a druk ukończono w styczniu 1983. Zamieszczona tablica cząstek wymagałaby wielu uzupełnień. Dyskusja multipletów SU(4) straciła na znaczeniu po odkryciu kwarka *b* itd. Ten dział fizyki jest tak atrakcyjny i „współczesny”, że rozdział na pewno znajdzie wielu czytelników, nawet jeśli nie jest całkiem aktualny.

Rozdział „Fizyka jądra atomowego”, oprócz standardowej fizyki jądrowej (modele, spektroskopia, zderzenia, rozpady) zawiera artykuły o hiperjadrach, o energii jądrowej (reaktory), o energii termojądrowej (reakcje w gwiazdach, plazma) i o radioizotopach. Znowu tematyka bardzo aktualna i ciekawa. Szkoda, że nie znalazłem w tym rozdziale nic o tak szeroko dyskutowanej bombie neutronowej.

Rozdział „Fizyka atomu, cząsteczki i ciała stałego” ma przeszło 350 stron. Obok pewnej ilości klasycznego materiału (cząsteczka H<sub>2</sub>, sieć krystaliczna, gaz elektronowy w metalu) i słynnych już układów i zjawisk (lasery, holografia, ciekłe kryształy) można tam znaleźć opisy mniej znanych, a też ważnych i ciekawych układów, jak artykuł o krystalografii białek czy o pamięci magnetycznej. Mimo swej długości ten rozdział jest tak nasycony ciekawą fizyką, że trudno jest wskazać coś, co bez szkody można by usunąć. Może klasycznej krystalografii jest trochę za dużo.

Rozdział „Elektronika współczesna” zawiera siedem artykułów. Zaczyna się od interesującego wstępu „Co to jest współczesna elektronika”, a kończy się artykułem o komputerach. Duże fragmenty czyta się jak dobrą powieść fantastyczno-naukową.

Kolejny rozdział dotyczy akustyki, rozumianej bardzo szeroko jako nauka o rozchodzeniu się drgań sprężystych w dowolnych ośrodkach. Artykuły „Infra dźwięki” i „Hałas” w tym rozdziale są chyba najbliższe ekologii ze wszystkich artykułów w *Encyklopedii*. Szkoda, że w artykule o hałasie nie podano więcej informacji o obowiązujących u nas i na świecie normach w tej dziedzinie.

Rozdział „Biofizyka i fizyka medyczna” zaczyna się od sześciu artykułów z biofizyki molekularnej. Opisana jest budowa i rola w procesach życiowych różnych cząsteczek od względnie prostych do DNA i RNA. Obok fascynujących, ale często popularyzowanych, problemów genetyki można tu znaleźć również ciekawe, ale znacznie mniej znane fizykom, wyniki dotyczące błon komórkowych czy pracy mięśni. Ostatnie trzy artykuły w tym rozdziale: „Biocybernetyka”, „Fizyka medyczna” i „Matematyczne modelowanie procesów biologicznych” dotyczą już metod bliższych standardowej fizyki.

Rozdział „Fizyka Ziemi” zawiera artykuły o fizyce skorupy i wnętrza Ziemi, atmosfery, przestrzeni okołozemskiej, morza i wód śródlądowych. Osobne artykuły poświęcone są magnetyzmowi ziemskiemu i geofizyce poszukiwawczej. Te zagadnienia są rzadko popularyzowane wśród fizyków, ale jak się okazuje bardzo ciekawe. Na początek lektury polecam fragmenty o trzęsieniach ziemi i o paleomagnetyzmie.

Ostatni rozdział jest zatytułowany „Astrofizyka i kosmochemia”. Ta problematyka ma już ustaloną pozycję wśród najciekawszych zagadnień fizyki współczesnej. Ograniczę się więc do informacji, że wśród szesnastu artykułów składających się na ten rozdział nie ma artykułu o astronomii w świetle widzialnym, co dobrze charakteryzuje politykę Redakcji Naukowej.

Druk *Encyklopedii* jest dobrze czytelny. Liczne dwukolorowe rysunki i niebieskie podtytuły na marginesach znacznie zwiększają przejrzystość tekstu. Poziom korekty niestety odbiega od światowych standardów. Nie szukając specjalnie znalazłem „nowy system” (str. 25), „równanie Shródingera” (str. 39), „kął abibbo” (str. 162), moc „440 WM” (str. 227), dolną granicę dla hiperdźwięków „109 Hz” (str. 652) i wiele innych. Estetyka płóciennej oprawy jest może do obrony, ale sreberko z napisów niewątpliwie tandetne, bo już po paru dniach używania książki obłazi.

Podsumowując: można się spierać, czy recenzowana książka jest encyklopedią i czy naprawdę zawiera nowoczesną fizykę, ale na pewno można ją gorąco polecić każdemu, kto się interesuje budową otaczającego nas świata. Należy też pogratulować Autorom, Redaktorom i Wydawcom doprowadzenia do szczęśliwego końca tak dużego i pożytecznego dzieła.

Kacper Zalewski

Instytut Fizyki Jądrowej  
Kraków

*Encyklopedia Fizyki Współczesnej* jest pozycją na tyle nietypową (wprost precedensową), a jednocześnie pokrewną w swym celu *Postępom Fizyki*, że pragnę dodać kilka słów od siebie.

Wydaje mi się, że jest pozycją bardzo potrzebną i to potrzebną na stałe. Powinna być zatem wznawiana, ale przez wznawianie rozumieć jednocześnie uaktualnienie („Współczesna”) i ulepszenie jej. Przypuszczam, że takie wznawianie co 5—10 lat jest możliwe w naszych warunkach. Dopiero wtedy stanie się ona trwałą pozycją dobrej popularyzacji fizyki w Polsce. Dopiero wtedy też będziemy mogli mówić o pełnym, trwałym wykorzystaniu tej wielkiej pracy, jaka została w nią włożona. Nie powinna w żadnym razie pozostać „akcją jednorazową”.

Wydaje się także, że książka ta ma szanse być wydana za granicą, jeśli będziemy potrafili zainteresować lub choćby uświadomić jej istnienie zagranicznym wydawcom. Głównie pewnie w mniejszych krajach, które, z różnych względów, nie bardzo mogą sobie pozwolić na tworzenie dzieła tego typu od nowa.

*Adam Sobiczewski*

Kazimierz Sobczyk: *Fale stochastyczne*, Biblioteka Mechaniki Stosowanej, PWN, Warszawa 1982, s. 210, nakład 400 egz., cena zł 180.—

Recenzowana książka jest monografią poświęconą badaniu fal w ośrodkach stochastycznych. Zawiera ona jednolite przedstawienie metod opisu takich fal. Ze względu na wysoki poziom zaawansowania, przeznaczona jest przede wszystkim dla doktorantów i studentów wyższych lat fizyki, mechaniki i matematyki stosowanej oraz dla pracowników naukowych i ewentualnie zainteresowanych inżynierów. Jak pisze Autor we Wstępie, książka ta stanowi rezultat jego wieloletnich zainteresowań badawczych (jest on autorem wielu prac z tej dziedziny). Zagadnienia omawiane w książce były przedmiotem wykładów, jakie Autor prowadził od kilku lat w Politechnice Warszawskiej, w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN oraz na uczelniach we Francji i RFN.

Monografia składa się z pięciu rozdziałów. Dwa pierwsze mają charakter wstępny. Rozdział pierwszy, „Preliminaria matematyczne” wprowadza podstawowe pojęcia matematyczne stosowane w dalszej części książki, jak funkcje losowe, równania różniczkowe o stochastycznych współczynnikach itd. Rozdział ten napisany jest bardzo zwięźle, służy raczej jako ustalenie notacji niż jako wykład teorii funkcji losowych. W drugim rozdziale, „Ośrodki stochastyczne, modele i analiza” omówione są podstawowe pojęcia związane z ośrodkami stochastycznymi. Rozdział ten również wymaga od czytelnika pewnego przygotowania, jest jednak dobrym wprowadzeniem do dalszej części.

Rozdziały 3—5 stanowią zasadniczą część książki. Trzeci rozdział, według Autora centralny rozdział monografii, zawiera systematyczny wykład metod i zasadniczych rezultatów dotyczących rozchodzenia się fal w ciągłych ośrodkach stochastycznych. Autor ogranicza się do rozpatrywania fal liniowych w nieograniczonych ośrodkach o stosunkowo prostych własnościach statystycznych. Z takimi ośrodkami mamy najczęściej do czynienia w zastosowaniach. Autor dość szczegółowo omawia podstawowe metody stosowane w tego typu problemach: metodę perturbacyjną (rozwiniecie Borna), przybliżenie bardzo krótkich fal (przybliżenie optyki geometrycznej), przybliżenie Rytowa (będące wariantem przybliżenia optyki geometrycznej), przybliżenie parametrów efektywnych. Omówione są też krótko zjawiska odbicia i załamania fal od granicy ośrodka stochastycznego. W tym jedynym miejscu Autor wychodzi poza omawianie ośrodków nieograniczonych. Cały (długi) paragraf 17 poświęcony jest zastosowaniu metod funkcjonalnych do opisu fal w ośrodkach stochastycznych. Metody funkcjonalne coraz częściej stosowane są w fizyce matematycznej i dobrze się stało, że paragraf taki umieszczony został w monografii.

Rozdział czwarty poświęcony jest analizie rozpraszania fal na statystycznie rozmieszczonych dyskretnych centrach rozpraszających. Mogą to być np. kropelki wody w atmosferze. Stosowane przybliżenia to różne warianty rachunku zaburzeń (rozwiniecie Borna) oraz metody pola samozgodnego. W ostatnim rozdziale Autor rozpatruje odbicie fal od nierównych (stochastycznych) powierzchni. Omówiona jest metoda rachunku zaburzeń, metoda Kirchhoffa, metoda Rayleigha, metoda równania całkowego. Książka kończy się obszernym (255 pozycji) i wyczerpującym spisem literatury.

Jak widać z tego krótkiego przeglądu treści, monografia omawia ważne zagadnienia zarówno z punktu widzenia matematyki stosowanej i fizyki, jak i czysto praktycznych problemów. Dlatego książka ta za-

interesuje zarówno fizyków teoretyków, jak i praktyków zajmujących się fizyką atmosfery, geofizyką itd. Recenzowana książka jest pierwszą pozycją w piśmiennictwie polskim, a zapewne i w światowej literaturze, która omawia szczegółowo i z jednolitego punktu widzenia rozmaite problemy propagacji fal stochastycznych. Wyniki rozrzucone są w pracach oryginalnych oraz w nielicznych książkach, z których najlepiej znana jest monografia Tatarskiego (*Rasprostranienie wołn w turbulentnej atmosferie*, Nauka, Moskwa 1967).

Należy zwrócić uwagę, że recenzowana książka dotyczy metod stosowanych w opisie propagacji fal w ośrodkach stochastycznych. Dlatego też mało uwagi poświęcił Autor zastosowaniom. Żaden przykład nie jest szczegółowo przedyskutowany. Książka przez to trochę traci; rozumiem jednak, że umieszczenie dyskusji przykładów zastosowań spowodowałoby znaczny wzrost objętości.

Monografia Kazimierza Sobczyka nie wyczerpuje zagadnień związanych z propagacją fal w ośrodkach stochastycznych. Nie omówione zostały zagadnienia nieliniowe, również brak jest wzmianki o metodach numerycznych, coraz częściej stosowanych również i w tej dziedzinie. W sumie, recenzowaną książkę należy ocenić bardzo wysoko. W zakresie, którego dotyczy, przedstawia jasno i dokładnie omawiany materiał. Wykład jest jasny i czytelny, a równocześnie wolny od uproszczeń.

Książka należy do serii „Biblioteka Mechaniki Stosowanej”, wydawanej przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN. Jej nakład należy uznać za niski, uwzględniając już fakt jej wysokiego stopnia zaawansowania i związanego z tym wąskiego grona czytelników.

Wydana jest bardzo starannie, w sztywnej oprawie i na przyzwoitym papierze. Znaczna liczba skomplikowanych wzorów została złożona starannie i czytelnie, liczba błędów drukarskich i korektorskich jest znikoma.

*Jan Mostowski*

Instytut Fizyki PAN  
Warszawa

## LIST DO REDAKCJI

### Czy aberracja chromatyczna podłużna i aberracja chromatyczna poprzeczna to właściwe terminy?

W zeszycie 6/1983 *Postępów Fizyki* zamieszczona jest opinia prof. Mirona Gaja o mojej książce *Mikroskopia optyczna*. W końcowej części recenzji znajduje się stwierdzenie, iż „Aberracja chromatyczna powiększenia jest nazywana aberracją poprzeczną, co jest niekonsekwencją. Aberracja poprzeczna jest tą samą aberracją co podłużna, ale rozważaną w innym przekroju. Natomiast aberracja chromatyczna podłużna i aberracja powiększenia są to różne typy aberracji”. Wypowiedź tę przyjąłbym bez zastrzeżeń, gdyby w pierwszym jej zdaniu, zamiast słów „jest nazywana”, znalazło się: „jest niekiedy, może tylko dwa razy, nazywana”. Zresztą ową „niekonsekwencję” świadomie dopuściłem w szczególnym kontekście, co w połączeniu ze wzorami (2.33)—(2.35) nie prowadzi do nieporozumień. Natomiast w ogólności nie utożsamiam aberracji chromatycznej powiększenia z aberracją chromatyczną poprzeczną. Jasno dałem temu wyraz w tekście i na rys. 2.14.

List ten kieruję do Redakcji nie z zamiarem polemicznej odpowiedzi na recenzję, która zresztą takiej odpowiedzi nie wymaga, lecz za pośrednictwem *Postępów Fizyki* adresuję go do wszystkich fizyków, a przy okazji także do Komisji Nazewnictwa PTF.

Otóż w naszej rodzimej nomenklaturze optycznej przyjęły się nazwy: „aberracja chromatyczna położenia” i „aberracja chromatyczna wielkości” lub „aberracja chromatyczna powiększenia”. Są to w gruncie rzeczy nazwy niepełne, gdyż w domyśle pozostaje „obrazu”, a poza tym niezbyt zręczne, ponieważ zawierają rzeczownik w dopełniaczu zamiast przymiotnika. Dlatego to opowiadam się za terminami: „aberracja chromatyczna podłużna” i „aberracja chromatyczna poprzeczna”, które wprowadziłem do *Mikroskopii optycznej*, wiedząc, że spotkają się one z krytyką. Ale czy słuszna?

Aberracja chromatyczna poprzeczna jest pojęciem ogólniejszym (szerszym) niż aberracja chromatyczna powiększenia, co się uwidacznia zwłaszcza wtedy, gdy zechcemy wnikać w subtelności chromatycznego odzworowania pojedynczych punktów świetlnych.

W wielu zagranicznych podręcznikach optyki są stosowane określenia odpowiadające nazwom „aberracja chromatyczna podłużna” i „aberracja chromatyczna poprzeczna”. Ograniczę się tu do przytoczenia tylko kilku najważniejszych dzieł. I tak np. w podstawowym dziele *Principles of Optics* M. Born'a i E. Wolfa (wyd. 6, Pergamon Press, Oxford 1980) są na str. 175 w sposób dobitny określone pojęcia „longitudinal chromatic aberration” i „lateral chromatic aberration”, a na str. 232 „chromatic change in the magnification”. Podobnie w tłumaczeniu na język rosyjski dzieło to zawiera terminy „prodlonajna chromatyczeskaja aberracja” i „popierecznaja chromatyczeskaja aberracja” (str. 204, wyd. z 1970 r.). W specjalistycznej monografii W. T. Welford'a *Aberrations of the Symmetrical Optical Systems* (Academic Press, London 1974) jest na stronach 173 i 183 „longitudinal chromatic aberration” i „transverse chromatic aberration”, natomiast w *The Theory of the Microscope* L. C. Martina (Blackie, Glasgow 1966) — „axial chromatic aberration” i „lateral chromatic aberration” (str. 131 i 134) oraz „chromatic difference of magnification”. Natomiast w nomenklaturze niemieckiej na ogół występują nazwy: „Farblängsfehler” lub „chromatische Längsaberration” i „Farbvergrößerungsfehler” lub „chromatische Vergrößerungsdifferenz” (zob. np. *Handbuch der Mikroskopie* pod red. H. Beyera, VEB Verlag Technik, Berlin 1973).

W językach angielskim, rosyjskim i niemieckim powtarza się więc termin, który należy tłumaczyć jako „aberracja chromatyczna podłużna”. Nie ma natomiast zgodności co do drugiej aberracji chromatycznej. W trzech pierwszych zacytowanych książkach jest „aberracja chromatyczna poprzeczna”, a w czwartej (niemieckiej) — tylko „chromatyczna różnica powiększenia” lub synonimowo „aberracja chromatyczna powiększenia”.

A jak się sprawa przedstawia w nazewnictwie francuskim? Otóż podobnie jak w angielskim. W tym miejscu powołałam się na prof. A. Maréchal'a, zaliczanego do najwybitniejszych współczesnych autoryte-

tów w teorii aberracji układów optycznych. W 24 tomie *Encyclopedia of Physics* (pod red. S. Flüge, Springer-Verlag, Berlin 1956) stosuje on następującą nomenklaturę: „aberration chromatique longitudinale” lub „chromatisme longitudinal”, „aberration chromatique latérale” lub „chromatisme latéral”, „aberration chromatique de grandeur” lub „chromatisme de grandeur” i „chromatisme de position” (str. 95—98).

A zatem opowiadam się za większością i oprócz „aberracji chromatycznej położenia” oraz „aberracji chromatycznej powiększenia” (lub „wielkości”), proponuję również wprowadzić „aberrację chromatyczną podłużną” i „aberrację chromatyczną poprzeczną” do naszego rodzimego słownictwa optycznego — ma się rozumieć z przypisaniem tym terminom właściwego znaczenia.

Na zakończenie przytoczę za Maréchałem następujące zdanie z cytowanej wyżej Encyklopedii Fizyki (str. 98): „Si le chromatisme de position est nul les relations (55.1) montrent que le chromatisme latéral se confond avec le chromatisme de grandeur et ne dépend plus de la position de la pupile”. I jeśli przeczyta się w całości § 2.2.5 *Mikroskopii optycznej*, to niekonsekwencja, którą wskazuje Recenzent, całkowicie nieknie, a przynajmniej staje się nieistotna, w świetle zacytowanego zdania.

*Maksymilian Pluta*

Centralne Laboratorium Optyki  
Warszawa



## KRONIKA

PTF

## Oddział Wrocławski

Dnia 31 stycznia 1984 odbyło się zebranie sprawodawczo-wyborcze, na którym przedstawiono działalność od 20 listopada 1980 r. do dnia zebrania. Wybrano nowe władze Oddziału w następującym składzie: przewodniczący — Kazimierz Łukasiewicz, wiceprzewodniczący — Jan Morzymas, sekretarz — Paweł Tomaszewski, skarbnik — Julia Stępień-Damm, członkowie Zarządu — Cecylia Wesołowska, Stanisław Mięgisz, Zygmunt Petru, Stanisław Przystański.

Oddział Wrocławski liczy 249 członków. W okresie objętym sprawozdaniem przybyło 8 osób.

Główne kierunki działalności Oddziału:

1) W 1981 r. odbył się cykl wykładów poświęconych współczesnej astrofizyce i kosmologii. Referentami byli kolejno: prof. Jerzy Jakimiec (Wrocław), doc. Tadeusz Jarzębowski (Wrocław), doc. Mikołaj Jerzykiewicz (Wrocław), doc. Michał Heller (Kraków), doc. Józef Życiński (Kraków), prof. Włodzimierz Garczyński (Wrocław). Do tej samej tematyki nawiązywał wygłoszony pod koniec 1983 r. wykład dra Stanisława Hałasa (Lublin). Oddział współuczestniczył w organizowaniu razem z Polskim Towarzystwem Chemicznym sesji poświęconej pamięci prof. Włodzimierza Trzebiatowskiego. W dniu zebrania wyborczego prof. Jan Łopuszański i prof. Zbigniew Sidorski podzielili się wspomnieniami o prof. Stanisławie Lorii — współtwórcy wrocławskiej fizyki po II wojnie światowej.

2) W r. akad. 1980/81 podjęto szeroką akcję popularyzacji fizyki wśród uczniów i nauczycieli szkół średnich. Prowadzili ją pracownicy Uniwersytetu i Politechniki Wrocławskiej w ogólnym wymiarze 124 godz. Były to wykłady dla uczniów, prelekcje dla nauczycieli oraz seminarium dla tych uczniów, którzy wykazali się bliższym zainteresowaniem fizyką.

W działalności Oddziału była niemal dwuletnia przerwa, w której nie działo się nic poza rozpro-

wadzeniem *Postępów Fizyki* wśród członków Towarzystwa. Mamy nadzieję, że nowe władze Oddziału przełamią ten impas.

*Bernard Jancewicz*

## IUPAP

Komitet Wykonawczy Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP) spotkał się w końcu września 1983 w Ottawie. Wśród spraw, którymi Komitet się zajmował, były m. in. następujące:

*Argentyna znów w IUPAP* — Argentyńskie Towarzystwo Fizyczne przeszło reorganizację i wystąpiło o ponowne przyjęcie Argentyny do IUPAP. Komitet Wykonawczy wyraził na to zgodę.

*Komisja Astrofizyki* — Po konsultacjach z różnymi Komisjami i z wieloma astrofizykami Komitet Wykonawczy doszedł do wniosku, że należy utworzyć Komisję Astrofizyki i postanowił przedłożyć tę decyzję do akceptacji najbliższemu Zebraniu Ogólnemu IUPAP.

*Fizyka Powierzchni* — Komitet rozważał co zrobić, aby fizyka powierzchni była właściwie reprezentowana w IUPAP. Postanowiono zwrócić się do komisji: C8 Półprzewodników, C10 Materii Skondensowanej i C15 Fizyki i Spektroskopii Atomowej i Molekularnej, aby zwróciły należytą uwagę na działalność w tej dziedzinie.

*CODATA* — Reprezentant IUPAP w CODATA (Committee on Data for Science and Technology) prof. E. R. Cohen wzywa wszystkie komisje, aby zwróciły uwagę na działalność CODATA. Budzi niepokój brak koordynacji w zakresie kompilacji danych.

*Konferencje Międzynarodowe* — IUPAP udzielił patronatu 26 konferencjom międzynarodowym, odbywającym się w 1984 r. Komitet Wykonawczy zdecydował, że opłaty konferencyjne nie mogą w 1984 r. przekraczać 200 dol. (włączając w to materiały konferencji).

*Zebranie Ogólne* — Następne Zebranie Ogólne IUPAP odbędzie się w dniach 8-11 października 1984 w Trieście.

*IUPAP News Bull.* 84—1 (1984)

B. W.

### Nominacje na profesorów

Rada Państwa nadała tytuły profesorów.

Tytuł profesora zwyczajnego nauk fizycznych otrzymali: Andrzej Oleś (AGH, Kraków) i Bronisław Rozenfeld (Uniwersytet Wrocławski).

Tytuł profesora nadzwyczajnego nauk fizycznych otrzymał Witold Gustaw Strupczewski (Instytut Geofizyki PAN, Warszawa).

Wręczenie nominacji profesorskich odbyło się 27 kwietnia 1984.

### Nowa kadencja CKK

Dnia 29 marca 1984 odbyło się posiedzenie inauguracyjne nowego składu Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej ds. Kadr Naukowych, która działa przy Prezesa Rady Ministrów. CKK liczy obecnie 218 członków. Przewodniczącym został mianowany prof. Stefan Slopek (Inst. Immunologii i Terapii Doświadczalnej PAN), wiceprzewodniczącymi — prof. Antoni Czubiński (Inst. Historii UAM), prof. Marian Truszczyński (Inst. Weterynarii w Puławach) i prof. Andrzej Wróblewski (Inst. Fizyki Doświadczalnej UW), a sekretarzem — prof. Gustaw Rakowski (Inst. Mechaniki Konstrukcji Inżynierskich PW).

### Nagroda Hewletta-Packarda

W zeszycie *Europhysics News* ze stycznia 1984 jest wiadomość o przyznaniu przez Europejskie Towarzystwo Fizyczne nagrody Hewletta-Packarda za rok 1984 dwóm fizykom pracującym w Laboratorium Badawczym IBM w Rüschlikon koło Zurychu, G. Binnigowi i H. Rohrerowi, za „skonstruowanie tunelowego mikroskopu skaningowego”.

To bardzo obiecujące urządzenie wykorzystuje fakt, że w złączu tunelowym elektrody mogą być oddzielone od siebie nie tylko cienką kilkudziesięciostremową warstwą stałego izolatora, zazwyczaj

tlenku jednej z elektrod, lecz równie dobrze próżnią, o ile tylko pokona się trudności techniczne związane z drganiami układu. Laureaci nagrody zbudowali układ, w którym jedną elektrodą złącza tunelowego jest badana przewodząca próbka, a drugą bardzo cienkie ostrze wolframowe. Kontrolowanie odległości ostrza od próbki, jak również jego ruch skanujący nad powierzchnią są sterowane za pomocą odpowiednich elementów piezoelektrycznych oraz układu kontrolnego zapewniającego stałość natężenia prądu tunelowego. Ponieważ prąd tunelowy zależy wykładniczo od iloczynu  $s\Phi^{1/2}$ , gdzie  $\Phi$  jest średnicą pracą wyjścia elektronów z elektrod, a  $s$  szerokością bariery potencjału, czyli odległością ostrza od próbki, przeto ruch ostrza w stałej (z dokładnością do 0,2 Å) odległości od powierzchni próbki daje trójwymiarowy kontur tej powierzchni w skali atomowej. Przyrząd pozwala też, przy zastosowaniu modulacji odległości  $s$ , mierzyć niezależnie pracę wyjścia  $\Phi$ .

Publikowane przez laureatów obrazy powierzchni czystych metali oraz krzemu o określonych kierunkach krystalograficznych wyglądają fascynująco i wskazują na duże perspektywy zastosowań tunelowego mikroskopu skaningowego do badań topografii powierzchni w skali atomowej, procesów wzrostu kryształów, utleniania, adsorpcji, nieelastycznej spektroskopii cząsteczek organicznych itp.

*Jerzy Rauluszkiewicz*

### Medal Maxa Plancka

W 1984 r. Medal Maxa Plancka, nadawany przez Niemieckie Towarzystwo Fizyczne, otrzymał R. Jost, emerytowany profesor fizyki teoretycznej w ETH.

Jost urodził się w 1918 r. Studiował na uniwersytetach w Bernie i w Zurychu. Po stażu w Kopenhadze został asystentem Pauliego w Zurychu, w latach 1949-55 pracował w Institute for Advanced Study w Princeton, od 1955 jest profesorem ETH w Zurychu.

W 1947 r. Jost opracował metodę matematyczną pozwalającą na rozwiązywanie problemów rozpraszania w polu siły centralnej w mechanice kwantowej (tzw. funkcje Josta), potem zajmował się wspólnie z Walterem Kohnem zagadnieniem odwrotnym rozpraszania, tzn. wyznaczeniem potencjału z fazy rozpraszania i stanów związanych. Przyczynił się znacznie do rozwoju kwantowej





Uroczystość nadania prof. A. Piekarze doktoratu *h. c.* Uniwersytetu Adama Mickiewicza (fot. Jerzy Poprawski)

teorii pola dając podstawy związków dyspersyjnych dla rozpraszania cząstek elementarnych. Ogromną rolę odegrała jego monografia *The General Theory of Quantized Fields* napisana w 1965 r.

Jest stworzył w ETH wysokiej klasy centrum fizyki matematycznej.

*Phys. Bl.* 40, No 3 (1984)

B. W.

#### Arkadiusz Henryk Piekara doktorem *h. c.* Uniwersytetu A. Mickiewicza

Dnia 18 stycznia 1984 r. odbyła się uroczystość wręczenia prof. Arkadiuszowi H. Piekarze dyplomu doktora *honoris causa* Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu. W Małej Auli Collegium Minus zgromadzili się przyjaciele, znajomi, uczniowie i współpracownicy Profesora, pracownicy poznańskich instytutów fizyki oraz studenci.

Prorektor prof. A. Kwilecki powitał Profesora i gości przybyłych na uroczystość zwracając uwagę zebranych na fakt, że dyplom doktora *honoris causa* zostanie wręczony uczonemu, któremu nauka polska, Uniwersytet i fizyka poznańska szczególnie dużo zawdzięczają. Życiorys Profesora, jego działalność naukową, organizacyjną i popularyzatorską omówił Dziekan Wydziału Matematyki i Fizyki UAM prof. Julian Musielak. Następnie promotor prof. Teodor Krajewski odczytał łaciński tekst dyplomu. Warto przytoczyć przetłumaczone na język polski fragmenty tego dokumentu.

„My, Magnificencja Rektor Uniwersytetu im. A. Mickiewicza, Dziekan Wydziału Matematyki i Fizyki i Promotor na przesławnego uczonego Arkadiusza Henryka Piekare doktora habilitowanego nauk fizycznych, emerytowanego profesora Uniwersytetu Warszawskiego, byłego profesora Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, członka rzeczywistego Polskiej Akademii Nauk, odznaczonego wysokimi odznaczeniami państwowymi, wyróżnionego przez Polskie Towarzystwo Fizyczne Medalem im. Mariana Smoluchowskiego — który jest światowej sławy specjalistą w dziedzinie fizyki dielektryków i elektroniki kwantowej, — który uczynił bardzo wiele dla zorganizowania i sprawnego prowadzenia studiów fizyki na Uniwersytecie Poznańskim, — który jest twórcą szkoły fizyki molekularnej w Poznaniu,

— który bardzo się zasłużył w wyszkoleniu fizyków pełniących obecnie funkcje zarówno profesorów jak i nauczycieli w całej Polsce,

— który swoimi podręcznikami i książkami z wielkim talentem pokazał uczniom i studentom piękno fizyki i popularyzował jej najnowsze osiągnięcia

złożyliśmy tytuł, zaszczyty, prawa i przywileje doktora *honoris causa* ...”

W dalszym ciągu uroczystości głos zabrali przedstawiciele nauki polskiej, uczniowie Profesora. Serdeczne gratulacje i życzenia dalszej owocnej pracy naukowej złożył Profesorowi jego bliski przyjaciel, prof. Marian Mięśowicz z Krakowa. Wiele serdecznych słów pod adresem Profesora wypowiedziała, w pięknym przemówieniu, prof. Bogusława Jeżowska-Trzebiatowska, przewodnicząca Oddziału PAN we Wrocławiu. W imieniu najstarszych uczniów Profesora, byłych rydzyńiaków, przemówił prof. Wincenty Pezacki z Akademii Rolniczej w Poznaniu. Prof. Wojciech Zielenkiewicz, sekretarz Wydziału III PAN przekazał Profesorowi gratulacje i życzenia dalszej owocnej pracy od władz PAN. Serdeczne gratulacje i wyrazy uznania dla działalności Profesora przekazali w swoich wystąpieniach kolejni mówcy: Jerzy Janik (IFJ, Kraków) i doc. Teodor Krupkowski (Wydział Chemii UW). Prof. Jan Stankowski w imieniu Oddziału PAN w Poznaniu złożył Profesorowi gratulacje i odczytał okolicznościowy telegram podpisany przez pracowników Instytutu Fizyki Molekularnej PAN.

Następnie doc. Bogdan Fechner zapoznał zebranych z treścią części telegramów nadesłanych pod adresem Rektora UAM i Profesora od rektorów wyższych uczelni, dyrektorów i pracowników instytutów fizyki z całej Polski, od władz i placówek PAN oraz od osób prywatnych z kraju i zagranicy. Tu szczególnie warto przytoczyć jeden z nich nawiązujący do działalności wojennej prof. Piekary: „Wielce Szanownemu Panu Profesorowi z okazji nadania doktoratu *honoris causa* najserdeczniejsze gratulacje i życzenia, wspominając przy tym Pańską konspiracyjną działalność naukową na odcinku rozpoznawania nowej broni V2 w służbie Armii Krajowej na Kielecczyźnie przeciw hitlerowskiemu okupantowi, przesyła Mieczysław Bieleń, pseudonim „Ramzes”, oficer kieleckiego AK”.

Na zakończenie uroczystości głos zabrał prof. Piekara, dziękując za wyróżnienie go doktoratem *honoris causa* przez Uniwersytet, z którym miał bliskie kontakty naukowe już przed wojną. Wiele słów poświęcił Profesor swoim poznańskim ucz-

niom, którzy razem z nim badali szereg nowych zjawisk optycznych i dielektrycznych. Profesor wyraził radość, że wielu z nich to dzisiaj profesorem, członkowie ważnych korporacji naukowych, członkowie Polskiej Akademii Nauk.

Gorąco przyjęte przez zebranych przemówienie Profesora zakończyło oficjalną część uroczystości, którą uświetnił pięknym śpiewem Chór Akademicki UAM pod dyrekcją doc. Stanisława Kulczyńskiego.

Po zakończeniu części oficjalnej odbierał Profesor gratulacje i życzenia od przyjaciół znajomych, uczniów i studentów obecnych na uroczystości.

Następnego dnia w auli Collegium Chemicum odbyło się spotkanie Profesora z przyjaciółmi, poznańskimi fizykami i studentami. Spotkaniu przewodniczył dyrektor Instytutu Fizyki UAM prof. Teodor Krajewski. O działalności naukowej Profesora, o swoich z nim spotkaniach, o Profesorze jako fascynującym dydaktyku, wspaniałym popularyzatorze, filozofie i poecie mówili: prof. Stanisław Kielich (IF UAM), prof. Jan Stankowski (IF Mol PAN), doc. Andrzej Pilawski (AM Poznań), doc. Adam Kujawski (IF PAN), prof. August Chelkowski (IF UŚ). O swoich kontaktach z książkami Profesora, a później z nim osobiście opowiedział historyk poznański prof. Gerard Łabuda, który był rektorem UAM w czasach pobytu Profesora w Poznaniu.

Na zakończenie spotkania wystąpił Profesor, wyrażając radość z tego, że podczas pobytu w Poznaniu wychował uczniów, od których, jak powiedział, tak wiele się nauczył.

*Wojciech Nawrocik*

### III Międzynarodowe Sympozjum Rezonansu Magnetycznego

Od 29 czerwca do 2 lipca 1983 r. odbyło się w Toruniu III Międzynarodowe Sympozjum na temat rezonansu magnetycznego w koloidach i badaniach zjawisk międzypowierzchniowych. Sympozjum zostało zorganizowane przez Zespół Radiospektroskopii Instytutu Fizyki UMK.

W skład Komitetu Organizacyjnego wchodził doc. A. Gutsze (Toruń) — przewodniczący i mgr E. Derkowska (Toruń) — sekretarz. Przewodniczącym Komitetu Naukowego był prof. J. Fraissard (Paryż). W Sympozjum wzięło udział 86 uczestników z 13 krajów. Program naukowy zawierał 22 referaty



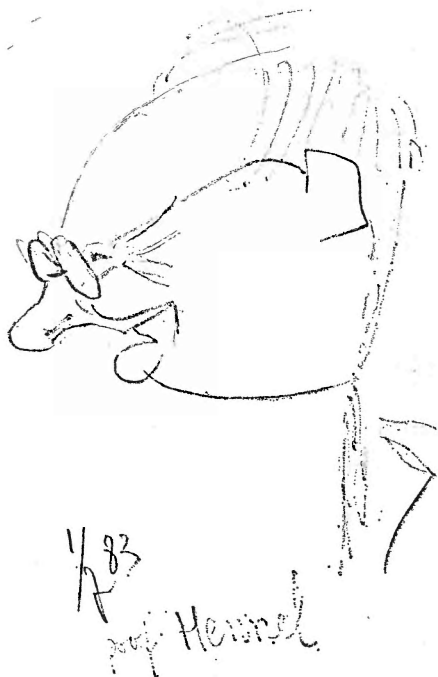
Aleksander Gutsze



Ewa Derkowska



Zdzisław Pajak



Jacek Hennel

przeładowe oraz 30 komunikatów w sekcji plakatowej i był przeglądem najnowszych osiągnięć w zastosowaniu rezonansu magnetycznego do badania procesów katalizy, szczególnie w zeolitach i układach biologicznych.

B. Gerstein (USA) przedstawił bardzo ciekawe wyniki dla zeolitów typu ZSM-5 otrzymane metodą impulsowego rezonansu magnetycznego i metodą Magic Angle-Spinning. W. Basler (RFN) omówił zagadnienie lokalizacji jonów  $\text{Na}^+$  w zeolitach, a L. Ress (Anglia) wymianę jonów  $\text{Fe}^{2+}$  i  $\text{Na}^+$  badaną za pomocą spektroskopii Mössbauera. Tematem referatu H. Pfeifera (NRD) była adsorpcja pirydyny i jonów pirydyny w zeolitach, a referatu J. Fraissarda (Francja) adsorpcja ksenonu.

Uczestnicy Sympozjum wzięli udział w wycieczce statkiem do Ciechocinka, a miła atmosfera sprzyjała bezpośrednim dyskusjom. Po wycieczce wszyscy spotkali się na uroczystej kolacji, podczas której dziekan Wydziału Mat. Fiz. Chem. prof. L. Jeśmanowicz rysował karykatury uczestników (załączam cztery przykłady), a wypisany cytat biblijny przypominał: „Nie wychwalaj człowieka za jego piękność i nie miej do niego odrazy z powodu jego zewnętrznego wyglądu”.

Następne IV Sympozjum, jak ustalono na zakończenie, odbędzie się w Münster w 1986 r.

Sympozjum Toruńskie było poprzedzone Letnią Szkołą (na ten sam temat) w Bachotku.

*Hanna Męczyńska*

## XI Międzynarodowa Szkoła Optyki Kwantowej

W dniach 19-25 września 1983 w Wieżycy koło Gdańska odbyła się kolejna Międzynarodowa Szkoła Optyki Kwantowej.

Szkoły Optyki Kwantowej odbywają się co roku i są organizowane na przemian przez Uniwersytet Gdański i Uniwersytet Toruński. Gdańszczanie organizują Szkołę we wrześniu na Pojezierzu Kaszubskim lub na Wybrzeżu, toruńczycy natomiast w czerwcu i zawsze w Bachotku koło Brodnicy. Z biegiem czasu w nazwie Szkoły nastąpiła zmiana i Letnia Szkoła została zastąpiona Międzynarodową. Stało się tak, ponieważ z jednej strony w okresie trwania Szkoły pogoda często nie odpowiadała takiej, jaką zwykliśmy kojarzyć z latem, z drugiej zaś coraz więcej wykładowców przyjeżdżało spoza granic Polski. Szkoda, że słuchacze rekrutują się niemal wyłącznie z Polaków.

Organizatorzy Szkoły, profesorowie Jan Fiutak i Józef Heldt, zaprosili do Wieżycy znanych i cenionych fizyków, świetnych wykładowców uniwersytetów, profesorów: E. Arimondo z Neapolu, F. Casagrande z Mediolanu, G. Ferrante z Palermo, H. Figgera z Garching, (Max Planck Institut), S. Hultda z Lund, W. Lange z Hanoweru, S. Penselina z Bonn, D. N. Stacey z Oxfordu i H. Telle z Saclay. Ponadto wysłuchaliśmy wykładów fizyków polskich: T. Dohnalika, J. Fiutaka, W. Gawlika, J. Heldta i S. Łęgowskiego oraz V. Mitewa z Instytutu Elektroniki z Sofii. Bogaty i ciekawy zestaw omawianych tematów niewątpliwie przyczynił się do wzbogacenia wiedzy każdego uczestnika Szkoły. W moim odczuciu, przesunięcie środka ciężkości tematyki w kierunku problemów doświadczalnych spowodowało uatrakcyjnienie programu Szkoły. Wszystkie wykłady cieszyły się dużą frekwencją.

Spotkanie w Wieżycy upłynęło w miłej atmosferze w ładnie położonym Ośrodku Wczasowym Gdyńskiej Stoczni im. Komuny Paryskiej. Urok Ziemi Kaszubskiej skutecznie rekompensował kryzysowe niedostatki kuchni. Dla gości zagranicznych ogromną atrakcją była wycieczka do Zamku w Malborku.

*Aleksandra Kopystyńska*

### Imieniny Kopernika

W dniach 6-9 grudnia 1983 r. w Instytucie Fizyki UMK w Toruniu odbyło się XVI Sympozjum Fizyki Matematycznej. „Imieniny Kopernika” — taka jest popularna nazwa tych sympozjów — począwszy od 1968 r. organizowane są corocznie przez redakcję czasopisma *Reports on Mathematical Physics (ROMP)* i Instytut Fizyki UMK przy wydatnej pomocy finansowej Komitetu Fizyki PAN oraz Towarzystwa Naukowego w Toruniu. Ich geneza związana jest ściśle z inicjatywą utworzenia międzynarodowego czasopisma *Reports on Mathematical Physics*, z którą wystąpił prof. R. S. Ingarden. Uczestnikami pierwszych sympozjów byli tylko członkowie Rady Redakcyjnej *ROMP* oraz pracownicy naukowcy Instytutu Fizyki UMK zajmujący się fizyką matematyczną. W następnych latach jednak, w miarę wzrastania popularności międzynarodowej *ROMP* w sympozjach zaczęli brać udział fizycy i matematycy z różnych ośrodków naukowych w kraju i za granicą. Tym co wyróżnia toruńskie spotkania fizyków matematycznych od innych konferencji jest ich ściśle kameralny charakter oraz to, że nie są poświęcone jednemu,

określone mu tematowi, ale stanowią raczej coroczny przegląd różnych kierunków badań w fizyce matematycznej.

W tegorocznym Sympozjum uczestniczyło ogółem 31 osób, w tym 17 gości zagranicznych reprezentujących ośrodki naukowe w Austrii, Belgii, Czechosłowacji, Finlandii, NRD, RFN i Szwajcarii. Gośćmi Sympozjum byli m. in. D. Aerts (Bruksela), H. J. Borchers (Getynga), P. Bush (Kolonja), H. D. Doebner (Clausthall), P. J. Lahti (Turku), G. Lassner (Lipsk), C. Piron (Genewa), E. Ruch (Berlin Zachodni), A. Wehr (Wiedeń), a z ośrodków krajowych spoza Torunia m. in. R. Allicki (Gdańsk), G. Z. Czajkowski (Bydgoszcz), A. Jadczyk (Wrocław) M. Mączyński (Warszawa) i J. Rayski (Kraków). Wygłoszono 30 referatów, których tematyka dotyczyła m. in. metod geometrycznych w teorii pola i fizyce statystycznej, podstaw mechaniki kwantowej, termodynamiki informacyjnej.

W czasie Sympozjum odbyło się również posiedzenie Rady Redakcyjnej *Reports on Mathematical Physics*, na którym omówiono sprawy związane z przewyżczeniem zaległości i opóźnień w wydawaniu kolejnych zeszytów pisma spowodowanych trudnościami technicznymi w drukarniach.

*Wojciech Daniel*

### Symetrie w fizyce

W dniach 26-30 września 1983 odbyła się w nadmorskiej miejscowości katalońskiej Sant Feliu de Guixols konferencja poświęcona roli, jaką w rozwoju fizyki odgrywały i odgrywają pojęcia symetrii, niezmienniczości względem określonych transformacji i zasady zachowania. Konferencję urządził Autonomiczny Uniwersytet Barceloński przy współpracy M. G. Domela (Barcelona), A. Hermanna (Stuttgart), L. Michela (Paryż) i A. Paisa (Nowy Jork). Było to spotkanie historyków fizyki z fizykami mającymi własne osiągnięcia w dziedzinie koncepcji związanych z symetriami i ich zastosowaniem. Gościem honorowym był Eugene P. Wigner, nazywany często „ojcem symetrii”.

Przedmiotem referatów i dyskusji były m. in. rola pojęcia symetrii w koncepcjach fizyków w okresie XVII i XVIII w. (Galileusz, Leibniz, Euler), wprowadzenie do fizyki matematycznego pojęcia grupy przez Kleina, Liego i Noethera, a dalej postulaty symetrii w teorii względności i w mechanice kwantowej. W szczególności oma-

wiano zasady zachowania, sprzężenie ładunkowe i niezachowanie parzystości. Gell Mann i Ne'eman przedstawili własne wyniki dotyczące zastosowania symetrii i klasyfikacji cząstek elementarnych. Tematem ożywionej dyskusji była rola i zadania historii fizyki. Między innymi fizycy twierdzili, że nie może być zadaniem historyków podejmowanie prób oceniania na nowo uznanych już osiągnięć naukowych, gdyż przekracza to kompetencje historyków nie mających na ogół dostatecznej wiedzy fizycznej.

Materiały konferencji będą opublikowane.

*Phys. Bl.* 40, No 2 (1984)

B. W.

### Przemysł przyczynia się do kształcenia naukowców

Jedna z najsilniej zaangażowanych w badania naukowe instytucji przemysłowych — Laboratoria Bella — ustanowiła fundusz stypendialny dla doktorantów z fizyki, chemii, nauki o komputerach i inżynierii elektronicznej. Co roku przyznaje się stypendia 25 wybranym doktorantom. W bieżącym roku akademickim, pierwszym roku tej działalności, wśród stypendystów jest 7 fizyków. Stypendia są wysokie i pokrywają, poza kosztami utrzymania i mieszkania, czesne, wydatki na książki itp. Studenci otrzymują je aż do uzyskania stopnia doktora, tj. średnio przez 4 lata. Ponadto Bell Labs zapewniają im w okresie wakacji letnich możliwość płatnej pracy pod kierunkiem naukowców zatrudnionych tam i specjalizujących się w tematyce związanej z daną pracą doktorską.

Kandydatów na stypendia typują instytuty uczelniane wyznaczone przez Bell Labs, a ostatecznego ich wyboru dokonuje specjalnie powołana komisja pracowników naukowych tej firmy. W pierwszym roku, kandydatów na stypendia proponowały uniwersytety: Berkeley, Chicago, Cornell, Harvard, Illinois, Stanford oraz MIT.

*Phys. Today* 36, No 12 (1983)

B. W.

### Sir Harrie Massey

(1908—1983)

Dnia 27 listopada 1983 r. zmarł w Londynie Sir Harrie Massey, wybitny fizyk, jeden z twórców podstaw kwantowej teorii zderzeń, profesor University College w Londynie.

Harrie Stewart Wilson Massey urodził się w 1908 r. w pobliżu Melbourne w Australii. Studiował fizykę i matematykę na uniwersytecie w Melbourne. Studia te zakończył z wyróżnieniem. Przyznane mu w 1929 r. stypendium Fundacji Aitchisona pozwoliło na wyjazd na dalsze studia do Wielkiej Brytanii, do Cavendish Laboratory w Cambridge. Spędził tam 4 lata (1929-33) prowadząc pod kierunkiem Rutherforda badania doświadczalne i jednocześnie kontynuując studia matematyczne oraz studia w zakresie fizyki teoretycznej. W Cambridge Massey zetknął się z N. F. Mottem, który zachęcił go do badań w dziedzinie fizyki zderzeniowej. Od tego czasu ta dziedzina, a ściślej mówiąc kwantowa teoria zderzeń, stała się główną domeną jego pracy naukowej.

Massey wspólnie z Mottem napisał w Cambridge kilka fundamentalnych prac z teorii zderzeń. Efektem tej współpracy jest również ich wspólna, słynna książka *Theory of Atomic Collisions*. Nazywana popularnie przez fizyków zderzeniowych *Mottem i Masseyem*, książka ta wywarła ogromny wpływ na rozwój badań zjawisk rozproszonych na świecie. Jest do dziś powszechnie używana jako podstawowa książka w laboratoriach zderzeniowych. Jednym z ostatnich zajęć Masseya przed śmiercią była praca nad poprawkami i uzupełnieniami do czwartego wydania *Motta i Masseya*, w której brał udział jego dawny uczeń P. G. Burke.

W 1933 r. Massey przeniósł się do Belfastu, do Queen's University, gdzie jako „Independent Lecturer” pracował w Zakładzie Fizyki Matematycznej. Napisał tam ważną książkę *Negative Ions* oraz szereg prac dotyczących teorii zderzeń. W tym czasie zaczyna się interesować procesami atomowo-molekularnymi zachodzącymi w górnych warstwach atmosfery ziemskiej. Zainteresowanie to przerodzi się później w pełne pasji pionierskie badania w dziedzinie fizyki atmosfery.

W 1938 r. Massey został mianowany profesorem matematyki stosowanej w University College of London. Na tym stanowisku застаje go wybuch II wojny światowej, w następstwie którego zostaje skierowany do pracy w laboratoriach marynarki brytyjskiej. W r. 1943 zostaje przeniesiony do Stanów Zjednoczonych, gdzie bierze udział w pracach nad bombą atomową.

Po zakończeniu wojny Massey powrócił do Londynu, do University College, gdzie w roku 1950 został mianowany, jako następcą prof. E. N. da C. Andrade, który wówczas odszedł na emeryturę, profesorem fizyki na Quain Chair of Physics. Na tym stanowisku Massey rozpoczął



na — z wielkim rozmachem — badania doświadczalne i teoretyczne w tak odległych od siebie dziedzinach jak fizyka atomowo-molekularna, fizyka cząstek elementarnych, astrofizyka i fizyka atmosfery ziemskiej. Do każdej z tych dziedzin wniósł osobiście ogromny wkład. Szczególnie jednak fascynował się badaniami pozytonów oraz zjawiskami zderzeniowymi w jonosferze, koronie słonecznej i przestrzeni międzyplanetarnej. Z jego inicjatywy brytyjskie Towarzystwo Królewskie przeprowadziło w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych szereg lotów raketowych do jonosfery stosując specjalnie do tych celów skonstruowaną raketę Skylark. Dzięki tym lotom wykonano wiele pionierskich badań widma słonecznego oraz procesów rekombinacji, fotojonizacji i innych efektów zderzeniowych w górnych warstwach atmosfery.

Massey napisał wiele artykułów przeglądowych i książek. Poza wspomnianym wyżej *Mottem* i *Masseym* największą sławę przyniosła mu — napisana wspólnie z E. H. S. Burhopem i H. G. Gilbodem i opublikowana na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych — trzytomowa monografia *Electronic and Ionic Impact Phenomena*. W końcu roku 1978 zakończył pisanie podręcznika *Atomic and Molecular Collisions*, przeznaczonego dla studentów pierwszych lat studiów. Tłumaczenie polskie tego podręcznika zostało wydane przez PWN w 1982 r.

W roku 1940 Massey został wybrany członkiem Towarzystwa Królewskiego, a w roku 1960 królowa Elżbieta II nadała mu tytuł szlachecki.

*Józef Szudy*

## INFORMACJE DLA AUTORÓW

Komitet Redakcyjny w celu skrócenia cyklu wydawniczego 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).

2. Maszynopis pracy (oryginał i jedną pełną — z rysunkami, tablicami itd. — kopię) należy nadsyłać pod adresem: Redakcja Postępów Fizyki, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres do dalszej korespondencji (do przesłania korekty i honorarium autorskiego). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.

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. Pierwsza strona maszynopisu winna zawierać imię i nazwisko autora, miejsce pracy z adresem, tytuł pracy w języku polskim i angielskim oraz streszczenie (do 20 wierszy maszynopisu) w języku angielskim (angielski tytuł i streszczenie nie są potrzebne do recenzji książek, notatek do kroniki i sprawozdań ze zjazdów i konferencji).

5. Rozdziały, paragrafy, wzory, rysunki, tablice i odsyłacze do literatury (te ostatnie w nawiasach kwadratowych) należy numerować kolejno przy użyciu cyfr arabskich. Prosimy używać liter tylko łacińskich i greckich oraz nawiasów okrągłych (a nie pochyłych kresek), kwadratowych czy sześciennych i wpisywać je ręcznie przy braku odpowiednich czcionek.

6. Wzory należy wpisywać czytelnie, a w szczególności bardzo wyraźnie wpisywać wskaźniki i wykładniki potęg. Symbole wielkości wektorowych należy podkreślić czarnym ołówkiem, gdyż będą wydrukowane tłustym drukiem (nie rysować strzałek).

7. 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, tablice (z ich tytułami) i spis literatury winny być napisane na oddzielnych stronach.

8. Wszelkie przypisy i uwagi, numerowane kolejno cyframi arabskimi u góry, winny być zamieszczone nie w spisie literatury, a u dołu strony, na której są odsyłacze.

9. Spis literatury winien być sporządzony według wzoru:

[1] A. Białas, W. Czyż, *Acta Phys. Pol.* **B5**, 523 (1974).

[2] A. Bohr, B. R. Mottelson, *Nuclear Structure*, t. 1, Benjamin, New York 1969, str. 100.

[3] N. N. Bogolyubov, D. V. Shirkov, *Vvedenie v teoryu kvantovannykh polei*, Nauka, Moskva 1973, str. 240.

Skróty nazw czasopism i transliteracja z alfabetów nielacińskich według *Physics Abstracts*. Odsyłacze do literatury w tekście pracy powinny być w nawiasach kwadratowych.

10. Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej, którą należy zwrócić w ciągu 3 dni pod adresem: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Dział Czasopism, ul. Sławkowska 14, 31-014 Kraków. Przetrzymanie korekty może spowodować przesunięcie artykułu do następnego zeszytu.

11. Autor otrzymuje bezpłatnie 25 egz. odbitek pracy. Dodatkowe odbitki można zamówić odpłatnie przy przesyłaniu korekty autorskiej. Cena za 1 egz. odbitki o objętości 1—16 s. wynosi zł 24.—

12. Maszynopisów prac nie zamówionych i nie zakwalifikowanych do druku Redakcja nie zwraca.



**POSTĘPY FIZYKI**  
(dwumiesięcznik)

*Warunki prenumeraty czasopisma:*

Cena prenumeraty: półrocznie zł 240.—  
rocznie zł 480.—

Prenumeratę krajową przyjmuje się:

**do dnia 10 listopada** na I półrocze roku następnego i cały rok następny.  
**do dnia 1 czerwca** na II półrocze roku bieżącego.

Instytucje i zakłady pracy zamawiają prenumeratę w miejscowych Oddziałach RSW „Prasa—Książka—Ruch”, w miejscowościach zaś, w których nie ma Oddziałów RSW — w urzędach pocztowych lub u doręczycieli. Prenumeratorzy indywidualni opłacają prenumeratę wyłącznie w urzędach pocztowych lub u doręczycieli.

Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę (która jest o 50% droższa od prenumeraty krajowej dla zleceniodawców indywidualnych i o 100% dla instytucji i zakładów pracy) pocztą zwykłą przyjmuje RSW „Prasa—Książka—Ruch”, Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto NBP XV OM Warszawa, nr 1153-201045-139-11, w terminach podanych dla prenumeraty krajowej.

Bieżące numery można nabywać lub zamówić we Wzorcowni Ośrodka Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN, Pałac Kultury i Nauki (wysoki parter), 00-901 Warszawa oraz w księgarniach naukowych „Domu Książki”.

**INFORMATION FOR SUBSCRIBERS**

A subscription order can be sent through the local press distributors or directly to the Foreign Trade Enterprise ARS POLONA—RUCH, 00-068 Warszawa, Krakowskie Przedmieście 7, Poland. Our banker: Bank Handlowy S. A., Warszawa, Poland.

**Tylko prenumerata zapewnia regularne otrzymywanie czasopisma**

## SPIS TREŚCI

M. Suffczyński — Powierzchnie półprzewodników . . . . .	461
D. A. Dicus, J. R. Letaw, D. C. Teplitz, V. L. Teplitz — Przyszłość Wszechświata (tłum. L. M. Sokolowski) . . . . .	475
ROZMOWY	
Refleksje polskich mistrzów — wywiad ze Stanisławem Ulamem i Markiem Kacem przeprze- rowadzony przez Mitchella Feigenbauma (tłum. Z. Białynicka-Birula) . . . . .	495
ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH	
F. Kaczmarek — Nauczanie fizyki w Uniwersytecie w Lund . . . . .	515
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI . . . . .	519
RECENZJE . . . . .	523
LIST DO REDAKCJI . . . . .	527
KRONIKA . . . . .	529

## CONTENTS

M. Suffczyński — Semiconductor Surfaces . . . . .	461
D. A. Dicus, J. R. Letaw, D. C. Teplitz, V. L. Teplitz — The Future of the Universe . . . . .	475
DEBATES	
Reflections of the Polish Masters: An Interview with Stan Ulam and Mark Kac by Mitchell Feigenbaum . . . . .	495
PROBLEMS OF TEACHING PHYSICS IN ACADEMIC SCHOOL	
F. Kaczmarek — Teaching of Physics at the Lund University . . . . .	515
MEETINGS AND CONFERENCES . . . . .	519
REVIEWS . . . . .	523
LETTER TO THE EDITOR . . . . .	527
CHRONICLE . . . . .	529