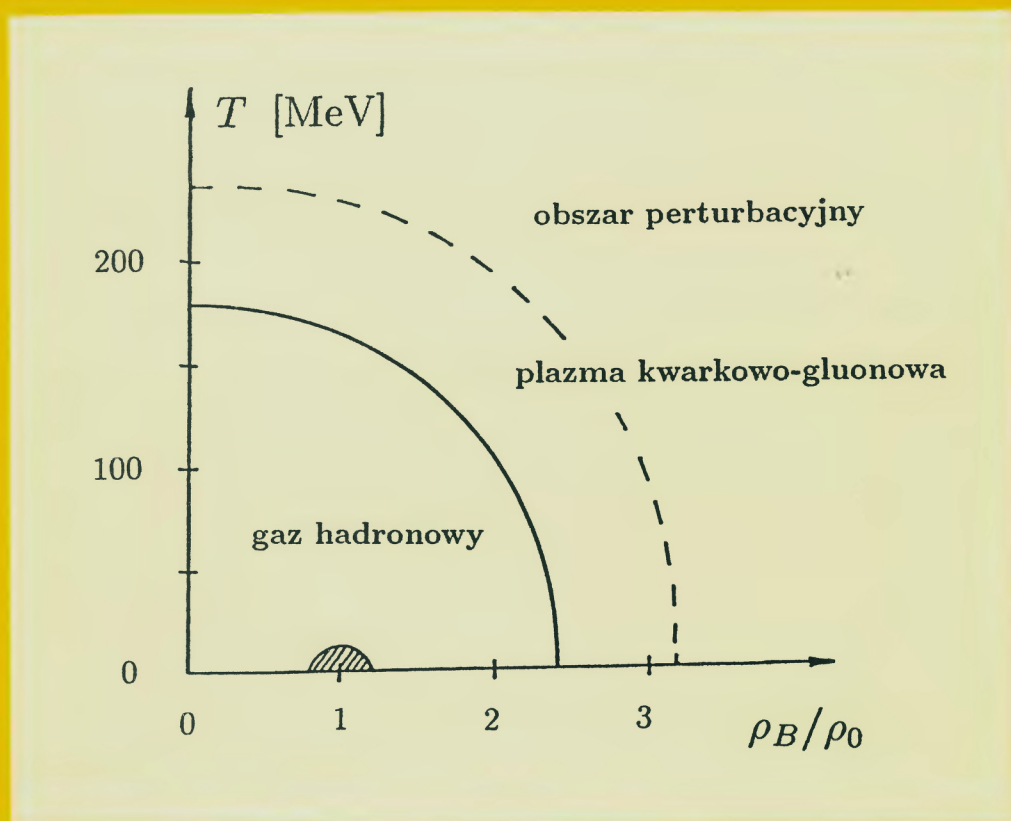


POSTĘPY FIZYKI

TOM **50** ZESZYT **5** ROK **1999**



DWUMIESIĘCZNIK
POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



PLAZMA KWARKOWO-GLUONOWA

SYNTEZA PIERWIASTKÓW 116 I 118 W BERKELEY

PRZYBLIŻENIA ADAPTACYJNE SYGNAŁÓW EEG

FIZYKA SZYB SAMOCHODOWYCH

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

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

REDAKTORZY NACZELNI CZASOPISM PTF

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

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

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

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

POSTĘPY FIZYKI

RADA REDAKCYJNA

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

KOMITET REDAKCYJNY

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

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Mgr Maciej Piętka (Białystok)
Prof. Jerzy J. Wysocki (Częstochowa)
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)
Dr Roman Bukowski (Gliwice)
Prof. Wiktor Zipper (Katowice)
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)
Dr Jacek Bieroń (Kraków)
Dr Tomasz Durakiewicz (Lublin)
Dr Urszula Garuska (Łódź)
Dr Ryszard Czajka (Poznań)
Dr Małgorzata Klisowska (Rzeszów)
Mgr Małgorzata Kuzio (Słupsk)
Dr Ewa Weinert-Rączka (Szczecin)
Dr Józefina Turło (Toruń)
Dr Ewa Jędryka (Warszawa)
Prof. Bernard Jancewicz (Wrocław)

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

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

Plazma kwarkowo-gluonowa*

Stanisław Mrówczyński

*Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Warszawa
oraz Instytut Fizyki, Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Kielce*

Quark-gluon plasma

Abstract: An elementary introduction to the physics of quark-gluon plasma is given. We start with a sketchy presentation of the Quantum Chromodynamics which is the fundamental theory of strong interactions. The structure of hadrons built up of quarks and gluons is briefly discussed with a special emphasis on the confinement hypothesis. Then, we explain what is the quark-gluon plasma and consider why and when the hadrons can dissolve liberating the quarks and gluons. The heavy-ion collisions at high energies, which provide a unique opportunity to get a droplet of the quark-gluon plasma in the terrestrial conditions, are described. We also consider the most promising experimental signatures of the quark-gluon plasma produced in nucleus-nucleus collisions. At the end, the perspectives of the quark-gluon plasma studies at the future accelerators are mentioned.

1. Wstęp

Plazma kwarkowo-gluonowa jest stanem materii o niezwykle wysokiej gęstości energii; tworzą ją kwarki i gluony. Wkrótce po Wielkim Wybuchu materia wypełniająca kosmos była właśnie w takim stanie. Gdy Wszechświat rozszerzał się stygnąc, plazma kwarkowo-gluonowa zamieniła się w pewnym momencie w hadrony, w szczególności protony i neutrony, które później utworzyły jądra atomowe. Plazma nie jest obecnie obserwowana w przyrodzie, choć pewne obiekty astrofizyczne, takie jak gwiazdy neutronowe, kryją być może w swoich gęstych centrach jej zarodki. W ostatnich latach powstała możliwość wytworzenia plazmy kwarkowo-gluonowej w eksperymentach laboratoryjnych. Z wielkim rozmachem realizowany jest program badania zderzeń ciężkich jąder ato-

mowych przy wysokich energiach. Kwestia, czy plazma powstaje w zderzeniach jonów przy dostępnych już teraz energiach, nie jest rozstrzygnięta. Mało kto natomiast zdaje się mieć wątpliwości, że w ciągu najbliższych kilku lat będziemy mieli niepodważalne dowody, że plazma jest rzeczywiście produkowana w zderzeniach jądrowych przy odpowiednio wysokich energiach. W tym czasie zostaną ukończone i rozpoczną pracę akceleratorzy nowej generacji: Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) w Brookhaven National Laboratory (USA) oraz Large Hadron Collider w CERN-ie w Genewie.

Celem tego artykułu jest wprowadzenie Czytelnika w problematykę badań plazmy kwarkowo-gluonowej. Zaczniemy od kilku słów o chromodynamice kwantowej, będącej fundamentalną teo-

*Wykład przedstawiony na XXXVIII Krakowskiej Szkole Fizyki Teoretycznej, Zakopane, 1–10 czerwca 1998 r. W wersji angielskiej artykuł ukazał się w *Acta Phys. Pol. B* 29, 3711 (1998).

rią oddziaływań silnych. Dalej krótko omówimy strukturę hadronów tworzonych przez kwarki i gluony, przy czym szczególnie nacisk położymy na problem uwięzienia kwarków. W następnym rozdziale wyjaśnimy, kiedy i dlaczego hadrony mogą się rozpuszczać, uwalniając ze swych wnętrz kwarki i gluony. W końcu rozważymy możliwość wytworzenia plazmy kwarkowo-gluonowej w zderzeniach ciężkich jonów przy wysokich energiach.

Każdemu z poruszonych w tym artykule problemów poświęcona jest niezwykle bogata literatura. Zamiast cytować wiele oryginalnych prac, polecamy Czytelnikom szczególnie zainteresowanym problematyką plazmy kwarkowo-gluonowej dwa zbiory artykułów przeglądowych [1,2]. Najnowsze postępy można śledzić dzięki sprawozdaniom z regularnie odbywających się konferencji „Quark Matter” [3-5].

W artykule tym stosujemy naturalny układ jednostek, w którym prędkość światła c , stała Plancka \hbar i Boltzmanna k równe są jedności. Masa, pęd, temperatura mają zatem wymiar energii, wyrażanej zwykle w MeV. Odległości w przestrzeni czy czasie podajemy w jednostkach długości, najczęściej w femtometrach ($1 \text{ fm} = 10^{-13} \text{ cm}$) lub w odwrotnych jednostkach energii. Łatwo przeliczyć jedne jednostki na drugie, mając w pamięci, że $\hbar c = 197,3 \text{ MeV fm}$.

2. Chromodynamika kwantowa

Chromodynamika kwantowa (QCD) bardzo przypomina elektrodynamikę kwantową (QED). Podczas gdy elektrodynamika opisuje oddziaływania ładunków elektrycznych – zwykle elektronów i pozytonów – z polem elektromagnetycznym reprezentowanym przez fotony, chromodynamika określa zachowanie kwarków, będących odpowiednikami elektronów, i gluonów, pełniących rolę taką, jak fotony. Kwarki, podobnie jak elektrony, mają masę spoczynkową różną od zera i niosą specyficzny ładunek, który w odróżnieniu od ładunku elektrycznego jest nie jednego, lecz trzech typów („kolorów”), które nazywamy: czerwony, niebieski i zielony. Gluony, tak jak fotony, są bezmasowe, lecz w przeciwieństwie do kwantów pola elektromagnetycznego są obdarzone ładunkiem „kolorowym”, będącym kombinacją kolorów kwarków. Kombinacji takich jest osiem. Oddziaływanie elektromagnetyczne następuje na skutek wymiany

fotonów między oddziałującymi ładunkami, natomiast występowanie sił kolorowych spowodowane jest wymianą gluonów. Pomiedzy elektrodynamiką a chromodynamiką występuje jednak i istotna różnica: fotony, jako obiekty elektrycznie neutralne, nie mogą bezpośrednio oddziaływać ze sobą, podczas gdy między gluonami działają siły „kolorowe”.

Chromodynamika zrodziła się jako teoria kwarków i gluonów tworzących hadrony (cząstki oddziałujące silnie), takie jak protony i neutrony. Jednak dotychczas nie wypracowano w ramach chromodynamiki spójnego obrazu hadronu. Trudności wiążą się z samą naturą oddziaływań silnych, a więc z ich dużą intensywnością. Jedyną uniwersalną i skuteczną metodą obliczeniową kwantowej teorii pola jest rachunek zaburzeń (zwany też perturbacyjnym), w którym punktem wyjścia czy zerowym przybliżeniem jest układ nieoddziałujący. Duża wartość stałej sprzężenia QCD uniemożliwia zastosowanie tej metody dla kwarków i gluonów. Chromodynamika posiada jednak zdumiewającą własność, zwaną asymptotyczną swobodą. Efektywna stała sprzężenia α_s zależy od czteropędu Q przekazywanego w oddziaływaniu. A mianowicie,

$$\alpha_s = \frac{12\pi}{(33 - 2N_f) \ln(Q^2/\Lambda_{\text{QCD}}^2)}, \quad (1)$$

gdzie N_f jest liczbą typów kwarków, zaś $\Lambda_{\text{QCD}} \approx 200 \text{ MeV}$ jest tzw. parametrem skali QCD. Równanie (1) pokazuje, że stała sprzężenia staje się mała, jeśli $Q^2 \gg \Lambda_{\text{QCD}}^2$. Tak więc oddziaływania, w których następuje dostatecznie duży przekaz pędu, mogą być traktowane perturbacyjnie. Chromodynamika rzeczywiście prawidłowo opisuje procesy „twarde”, czyli zachodzące z dużą wartością Q^2 , takie jak produkcja pęków cząstek („jetów”) w zderzeniach hadronów.

3. Struktura hadronów

Opis procesów miękkich w ramach QCD, w szczególności tych, które decydują o strukturze hadronów, pozostaje wielkim nie rozwiązany problemem teorii silnych oddziaływań. Musimy więc w tym wypadku odwoływać się do modeli fenomenologicznych, których poprawność możemy stwierdzić jedynie konfrontując ich przewidywania z danymi doświadczalnymi. Rozważając

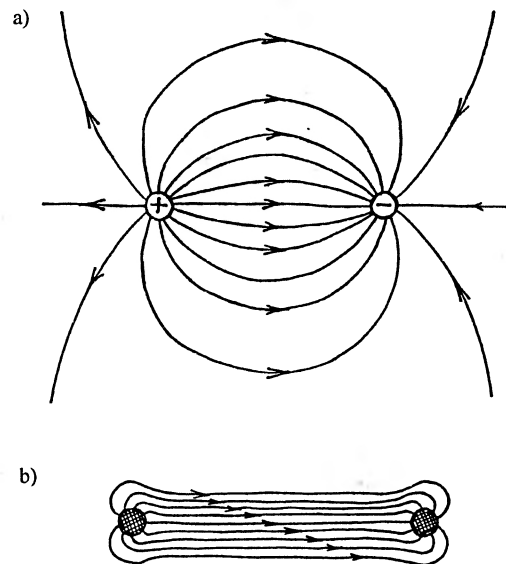
procesy miękkie posługujemy się często pojęciem kwarków składnikowych. Należy je odróżniać od kwarków prądowych, które są fundamentalnymi cząstkami o spinie $1/2$, występującymi w lagranżjanie QCD. Masy kwarków prądowych górnego (u) i dolnego (d) są niewielkie i wynoszą zaledwie kilka MeV. Kwarki składnikowe górny i dolny są ciężkimi kwazicząstkami, których masy, wynoszące ok. 300 MeV ($1/3$ masy nukleonu), są generowane na skutek oddziaływania. Masy dziwnego (s) kwarku prądowego i składnikowego wynoszą, odpowiednio, ok. 150 i 450 MeV. W tym wypadku więc różnica między kwarkiem prądowym i składnikowym jest mniej dramatyczna. Gdy mamy do czynienia z kwarkami ciężkimi – powabnym (c), pięknym (b) i prawdziwym (t) – wspomniane rozróżnienie traci sens.

W ramach modelu, który zakłada istnienie kwarków składnikowych, barion jest układem trzech związanych kwarków, natomiast mezon tworzy para kwark-antykwar. Gdy myślimy o strukturze hadronów w kategoriach kwarków prądowych, hadron jest obłokiem wielu kwarków, antykwarków i gluonów, z tym że liczby kwantowe (ładunek, spin itp.) barionu odpowiadają trzem kwarkom, zaś mezonu – parze kwark-antykwar. A zatem hadron tworzą kwarki walencyjne – określające jego liczby kwantowe – oraz morze gluonów i par kwark-antykwar.

Gluony są z pewnością odpowiedzialne za „sklejanie” kwarków w hadrony, lecz dotychczas nie udało się sformułować w pełni satysfakcjonującego modelu czy teorii wiązania hadronu. Teoria taka winna wyjaśnić hipotezę uwięzienia, która jest podstawowym elementem naszej wiedzy o świecie hadronów. Ładunki elektryczne wykazują skłonność do tworzenia neutralnych atomów czy molekuł. W przypadku oddziaływań chromodynamicznych mamy przypuszczalnie do czynienia nie ze „skłonnością”, lecz raczej ze ścisłą regułą, która pozwala występować ładunkom kolorowym jedynie w „białych” konfiguracjach (tzn. kojarzących kolory do białego). Istnienie wydzielonych ładunków kolorowych, jak te niesione przez kwarki czy gluony, jest wykluczone. Są one zatem uwięzione w układach obojętnych kolorowo, takich jak hadrony. Trzy kwarki tworzące barion są obdarzone trzema podstawowymi kolorami i razem dają obiekt biały. W mezonie kolory kwarka

i antykwarka są komplementarne i również wzajemnie się znoszą. Hipoteza uwięzienia dopuszcza istnienie poza barionami i mezonami innych jeszcze białych konfiguracji, takich jak np. układ 6 kwarków zwany dibarionem. Jednak takich egzotycznych hadronów mimo wielkich wysiłków eksperymentatorów zaobserwować się nie udało.

Zaproponowano wiele fenomenologicznych podejść do opisu zjawiska uwięzienia. Zaprezentujemy tutaj pokrótce model kolorowej struny, zainspirowany zjawiskiem Meissnera, polegającym na wypychaniu pola magnetycznego z nadprzewodnika. W modelu tym zakłada się, że próżnia zachowuje się jak ośrodek dielektryczny, w którym pole chromodynamiczne nie może się rozchodzić, lecz jest skoncentrowane w cienkich rurkach – strunach – łączących źródła pola. Na rys. 1 pokazujemy pole elektryczne wytworzone przez dwa przeciwne ładunki w zwykłej próżni (a) i w ośrodku dielektrycznym (b). Obliczmy potencjał działający mię-



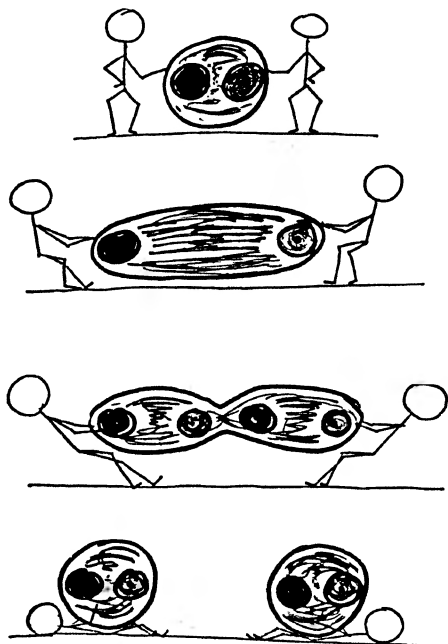
Rys. 1. Linie pola elektrycznego w próżni (a) i ośrodku dielektrycznym (b).

dzy ładunkami w tym drugim przypadku. Dzięki twierdzeniu Gaussa natychmiast stwierdzamy, że pole elektryczne $E = q/\sigma$, gdzie q jest ładunkiem, a σ polem przekroju poprzecznego struny. Jeśli przekrój ten nie zmienia się wraz z odległością między ładunkami r , szukany potencjał równy jest

$$V(r) = \frac{q^2}{\sigma} r. \quad (2)$$

Potencjał rośnie więc liniowo z odległością, jeśli ładunki znajdują się w ośrodku dielektrycznym.

Mając na uwadze ten wynik, hipotezę uwięzienia, zilustrowaną na rys. 2, można zrozumieć w następujący sposób. Gdy próbujemy rozerwać kwarki tworzące mezon, dostarczamy energię do układu. Jeśli ta energia jest dostatecznie duża, aby powstała para kwark-antykwar, struna pęka i zamiast jednego mezonu mamy dwa.



Rys. 2. Uwięzienie kwarka i antykwarka w mezonie.

Na końcu tego rozdziału wspomnimy o jeszcze jednym często stosowanym modelu hadronów, a mianowicie o modelu worka. Zakłada się w nim, że próżnia wytwarza rodzaj ciśnienia na kwarki i gluony, oznaczanego literą B . W efekcie hadron jest kwarkowo-gluonowym workiem, który przypomina bąbełek pary znajdujący się w cieczy. Bąbełek jest zwykle sferyczny, lecz deformacje są możliwe. Model worka, w którym stała B pełni rolę swobodnego parametru, dobrze opisuje niezwykle bogate widmo hadronów.

4. Plazma kwarkowo-gluonowa

Plazma kwarkowo-gluonowa jest układem kwarków i gluonów, które nie są uwięzione we wnętrzach hadronów, lecz mogą się poruszać w całej objętości zajmowanej przez układ. Plazma ta przypomina zjonizowany gaz atomowy; atomy są odpowiednikami hadronów, jony i elektrony zaś kwarków i gluonów. Pojawia się wątpliwość, czy

istnienie plazmy kwarkowo-gluonowej nie przeczy hipotezie uwięzienia. Zauważmy jednak, że plazma jako całość jest biała, więc kwarki i gluony są nadal uwięzione w układzie kolorowo obojętnym. A zatem hipoteza nie jest bynajmniej naruszona. Niejasne jest natomiast, kiedy i dlaczego hadrony rozpuszczają się, uwalniając tworzące je kwarki i gluony. Tę kwestię rozważymy w następnym rozdziale, tutaj natomiast omówimy nieco nieoczekiwaną konsekwencję asymptotycznej swobody.

Ze względu na wspomniane już trudności z opisem w ramach QCD procesów miękkich, własności silnie oddziałującej materii, zbudowanej czy to z hadronów, czy też z kwarków i gluonów, są słabo znane, jeśli temperatura T jest mniejsza lub porównywalna z parametrem skali QCD, tj. Λ_{QCD} . Sytuacja zmienia się radykalnie, gdy $T \gg \Lambda_{\text{QCD}}$. Wówczas jedynym parametrem wymiarowym, opisującym nasz układ, jest T . Określa on w szczególności średni przekaz pędu w oddziaływaniach kwarków i gluonów, który równy jest $\langle Q^2 \rangle = cT^2$, gdzie c jest stałą bezwymiarową. Ten wymiarowy argument zastosowany do wzoru (1) prowadzi do wniosku, że uśredniona stała sprzężenia jest mała, gdy $T \gg \Lambda_{\text{QCD}}$. A zatem w granicy dostatecznie dużych temperatur plazma kwarkowo-gluonowa jest prawie idealnym gazem bezmasowych kwarków i gluonów.

Szczegółowe obliczenia wykonane w ramach tzw. skończonotemperaturowej QCD pokazują, że asymptotyczna swoboda jest rzeczywiście osiągnięta w granicy wysokich temperatur. Nie będziemy tutaj tych obliczeń omawiać, dodamy natomiast prosty, intuicyjny argument do przedstawionego powyżej argumentu wymiarowego. Przekaz pędu występujący w równaniu (1), opisującym biegnącą stałą sprzężenia, odpowiada (dzięki transformacji Fouriera) odległości między oddziałującymi partonami. Odległość ta jest proporcjonalna do odwrotności przekazu pędu. Gdy temperatura plazmy rośnie, gęstość partonów wzrasta jak T^3 przy dostatecznie wysokich temperaturach (można się tutaj znów odwołać do argumentu wymiarowego, bądź wykonać proste rachunki, które przedstawiamy w następnym rozdziale). Ponieważ średnia odległość między cząstkami w gazie o gęstości ρ wynosi $\rho^{-1/3}$, średnia odległość w plazmie kwarkowo-gluonowej maleje z temperaturą jak T^{-1} . W konsekwencji, uśredniona stała sprzężenia znika w granicy $T \rightarrow \infty$.

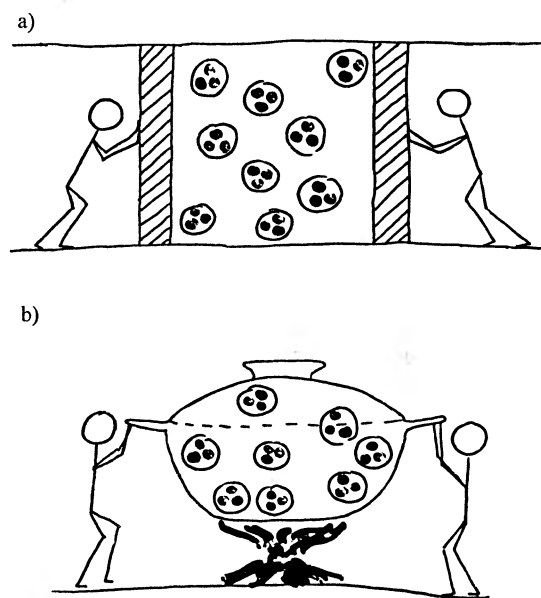
5. Przejście fazowe uwolnienia

Zamiana gazu hadronowego w plazmę kwarkowo-gluonową nosi nazwę przejścia fazowego uwolnienia. Choć nie dysponujemy w pełni satysfakcjonującą teorią opisującą to przejście, jest wiele niezależnych wskazań, że uwolnienie kwarków i gluonów z wnętrza hadronów rzeczywiście następuje, gdy materia osiągnie dostatecznie dużą gęstość energii. W pierwszej kolejności należałoby tutaj wspomnieć tzw. sieciowe sformułowanie QCD, w którym ciągłą przestrzeń zastępuje się siecią dyskretnych punktów i łączących je odcinków. Symulacje Monte Carlo pokazują, że w sieciowej QCD mamy dwie fazy, które identyfikujemy jako występujący poniżej temperatury krytycznej gaz hadronowy i obecnie powyżej tej temperatury plazmę kwarkowo-gluonową. Nie będziemy się tutaj zajmować rachunkami sieciowymi, przedstawimy natomiast proste fizyczne argumenty na rzecz istnienia plazmy.

Zacniemy od obserwacji, że hadrony nie są obiektami punktowymi, lecz mają skończone rozmiary. Promień hadronu wynosi ok. 1 fm. Rozważmy zatem gaz hadronowy, który jest tak gęsty, że średnia odległość między hadronami równa jest ok. 1 fm. Nie ma powodów, aby przypuszczać, że potencjał, który więzi kwarki i gluony w hadronach, działa w tak gęstym ośrodku na odległościach większych niż 1 fm. Gdy odsuwamy od siebie kwark i antykwark tworzące mezon, wokół nie ma próżni, lecz są liczne hadrony. Spodziewamy się zatem, że potencjał uwięzienia będzie ekranowany na odległościach porównywalnych ze średnią odległością między cząstkami gazu.

Jak pokazuje rys. 3, mamy dwa sposoby otrzymania gęstej materii hadronowej. Pierwszy jest oczywisty – ściskanie materii jądrowej. Ponieważ ładunek barionowy niesiony przez protony i neutrony jest zachowywany, nukleony nie mogą zniknąć, lecz zaczną się przekrywać, gdy średnia odległość między nimi będzie mniejsza niż średnica nukleonu. Pamiętając, że promień nukleonu wynosi ok. 0,5 fm, stwierdzamy, że odległości między nukleonami stają się mniejsze niż średnica nukleonu przy gęstości $\rho = (2r_N)^{-3} = 1 \text{ fm}^{-3} \approx 6\rho_0$, gdzie $\rho_0 = 0,16 \text{ fm}^{-3}$ jest tzw. normalną gęstością jądrową, równą gęstości nukleonów w centrach ciężkich jąder atomowych.

Drugą metodą otrzymania gęstej materii hadronowej jest podgrzewanie materii jądrowej lub gazu hadronowego. Rzecz w tym, że w przeciwieństwie do ładunku barionowego czy leptonowego, które są wielkościami zachowywanymi, liczba cząstek nie jest taką wielkością. A zatem, jeśli temperatura układu (mierzona w jednostkach energii) staje się porównywalna z masą cząstek gazu, dalsze podgrzewanie prowadzi nie tylko do wzrostu średniej energii kinetycznej, lecz również rośnie wtedy średnia liczba cząstek. Oczywiście wzrost liczby cząstek nie może naruszać zasad zachowania, więc cząstki niosące zachowywane ładunki są produkowane parami cząstka-antycząstka. Na przykład, ładunek barionowy układu nie ulega zmianie, gdy pojawia się para barion-antybarion. Cząstki prawdziwie neutralne, takie jak γ czy π^0 , które nie niosą żadnego zachowywanego ładunku, mogą być dodawane do układu bez żadnych ograniczeń, jednak ich średnia liczba jest określona przez warunki równowagi. Dokładniej, liczbę tę wyznacza minimum energii swobodnej, gdy objętość i temperatura układu są ustalone.



Rys. 3. Dwie metody produkcji plazmy: ściskanie (a) i podgrzewanie (b).

Rozważmy idealny gaz pionów. Zakładamy, że temperatura jest tak duża, że piony można traktować jako cząstki bezmasowe (przybliżenie to okazuje się niezłe nawet dla temperatur bliskich masy pionu, wynoszącej 140 MeV). Gęstość pio-

nów dana jest wzorem

$$\rho_\pi = \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} \frac{g_\pi}{e^{E/T} - 1} = \frac{g_\pi \zeta(3)}{\pi^2} T^3 \approx 0,73 T^3, \quad (3)$$

gdzie E jest energią cząstki bezmasowej, $\zeta(z)$ – funkcją Riemanna ($\zeta(3) \approx 1,202$), g_π – liczbą wewnętrznych stopni swobody, równą 3 dla gazu składającego się z π^+ , π^0 i π^- . Na podstawie równania (3) stwierdzamy, że odległość między pionami staje się mniejsza niż 1 fm, gdy $T > 219$ MeV.

Przejście fazowe uwolnienia było badane w różnych modelach fenomenologicznych. Przedstawimy tutaj najprostszy z takich modeli, w którym zakłada się, że przejście to jest pierwszego rodzaju. Wówczas można wykorzystać kryterium Gibbsa przy konstrukcji diagramu fazowego. Jako fazę hadronową przyjmujemy idealny gaz bezmasowych pionów o trzech ładunkach ($g_\pi = 3$), natomiast plazmę kwarkowo-gluonową reprezentuje idealny gaz kwarków, antykwarków i gluonów o zerowym całkowitym ładunku barionowym. Ten ostatni warunek oznacza, że liczba kwarków jest równa liczbie antykwarków. Uwzględniamy w naszym modelu tylko najlżejsze kwarki u i d. Obliczymy liczbę wewnętrznych stopni swobody gazu kwarkowo-gluonowego. Musimy rozróżnić fermionowe stopnie swobody kwarków (g_q) i bozonowe gluonów (g_g). Mamy dwa typy kwarków, kwarki i antykwarki, każdy kwark może występować w dwóch stanach spinowych i trzech kolorowych. A zatem $g_q = 2 \times 2 \times 2 \times 3 = 24$. W przypadku gluonów mamy również dwa stany spinowe, lecz aż osiem kolorowych, co daje $g_g = 2 \times 8 = 16$.

Ponieważ ciśnienie idealnego gazu cząstek bezmasowych równe jest jednej trzeciej gęstości energii, więc gaz pionów wytwarza ciśnienie

$$p_\pi = \frac{1}{3} \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} \frac{g_\pi E}{e^{E/T} - 1} = \frac{g_\pi \pi^2}{90} T^4 \approx 0,33 T^4, \quad (4)$$

natomiast plazma kwarkowo-gluonowa

$$p_{qg} = \frac{1}{3} \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} \left(\frac{g_g E}{e^{E/T} - 1} + \frac{g_q E}{e^{E/T} + 1} \right) = \left(g_g + \frac{7}{9} g_q \right) \frac{\pi^2}{90} T^4 \approx 4,1 T^4. \quad (5)$$

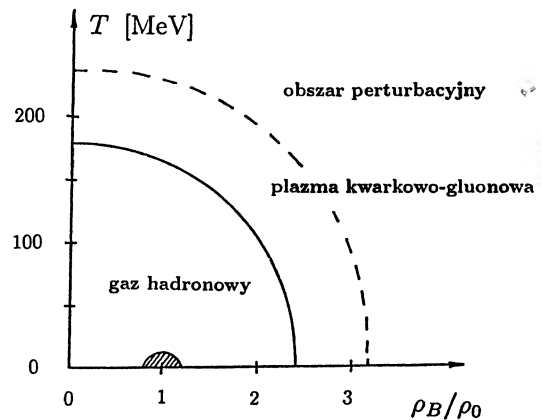
Zgodnie z kryterium Gibbsa, realizowana jest ta faza, która wytwarza większe ciśnienie. Równania (4) i (5) zaś orzekają, że ciśnienie plazmy

kwarkowo-gluonowej jest przy dowolnej temperaturze większe niż ciśnienie gazu pionów. Oznaczałoby to, wbrew faktom doświadczalnym, że zawsze występuje plazma kwarkowo-gluonowa. Jednakże nie uwzględniliśmy w dotychczasowych rozważaniach dodatkowego ciśnienia, wywieranego przez próżnię na kwarki i gluony. Odejmując, jak w modelu worka, stałą B od prawej strony równania (5), stwierdzamy, że poniżej temperatury krytycznej T_c mamy gaz pionów, natomiast powyżej tej temperatury realizowana jest faza plazmy kwarkowo-gluonowej. Temperatura krytyczna dana jest wzorem

$$T_c = \left(\frac{90 B}{\pi^2 (g_g + \frac{7}{9} g_q - g_\pi)} \right)^{1/4} \approx 0,72 B^{1/4}.$$

Przyjmując, że $B^{1/4} = 200$ MeV, dostajemy $T_c = 144$ MeV.

Na rysunku 4 przedstawiony został diagram fazowy silnie oddziałującej materii. Gęstość materii mierzona jest w jednostkach, w których gęstość normalna równa jest jedności. Punkt na diagramie



Rys. 4. Diagram fazowy silnie oddziałującej materii.

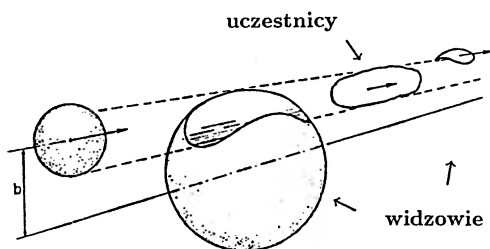
mie, odpowiadający $\rho = \rho_0$ i $T = 0$, reprezentuje zwykle jądra atomowe. W istocie jest to jedyny punkt diagramu, który naprawdę dobrze znamy i rozumiemy. Przy $\rho > \rho_0$ i $T = 0$ rozciąga się obszar gęstej materii jądrowej z kilkoma możliwymi egzotycznymi jej formami. Gdy gęstość przekracza (2–3) ρ_0 , spodziewamy się, że następuje przejście fazowe uwolnienia. Przy jeszcze wyższych gęstościach plazma kwarkowo-gluonowa staje się perturbacyjna, tzn. jest układem słabo oddziałującym. Wówczas mamy do czynienia z kwazi-idealnym, silnie zdegenerowanym gazem kwarków.

Materia jądrowa o temperaturze wyższej niż kilka MeV jest tradycyjnie nazywana gazem hadronowym. Gdy gęstość barionowa spada do zera, gaz ów tworzony jest głównie przez piony. Takiej sytuacji odpowiadają wyniki uzyskane w ramach sieciowej QCD, które mówią, że przy $T \approx 180$ MeV następuje przejście fazowe uwolnienia. Dla znacznie wyższych temperatur osiągamy obszar perturbacyjny, gdzie plazma jest słabo oddziaływającym gazem kwarków i gluonów. W następnym rozdziale omówimy, jak można przebadac diagram fazowy dzięki zderzeniom ciężkich jonów.

6. Zderzenia ciężkich jonów

Jak już wspomnieliśmy na wstępie, zderzenia ciężkich jonów stwarzają jedyną w swoim rodzaju możliwość badania plazmy kwarkowo-gluonowej w warunkach laboratoryjnych. Dokładniej, zderzenia takie prowadzą do powstania kropli gęstej, silnie oddziałującej materii; kwestia, czy występuje ona w fazie hadronowej, czy też kwarkowo-gluonowej, jest oddzielnym problemem.

Fizyka zderzeń ciężkich jonów zależy zasadniczo od energii zderzenia. Właściwą miarą tej energii nie jest pełna energia niesiona przez jądro, lecz energia przypadająca na jeden nukleon. Rzecz w tym, że już przy energii kilku GeV na nukleon, która jest najniższą energią ciekawą z punktu widzenia poszukiwań plazmy kwarkowo-gluonowej, zderzające się jądra nie oddziałują jako całości. Znaczące oddziaływanie następuje jedynie między przekrywającymi się częściami zderzających się jąder, jak to pokazano na rys. 5. Nukleony znajdujące się w owych częściach nazywa się uczestnikami, pozostałe zaś



Rys. 5. Geometria wysokoenergetycznego zderzenia jąder atomowych.

widzami. Rozróżnia się zderzenia centralne i peryferyjne. W tych drugich, zachodzących z dużymi wartościami parametru zderzenia, więk-

szość nukleonów to widzowie. Podczas zderzeń centralnych niemal wszystkie nukleony z mniejszego z jąder uczestniczących w zderzeniu (tarczy czy pocisku) są uczestnikami, obszar oddziaływania zaś jest w tych zderzeniach największy. Oczywiście zderzenia centralne są najbardziej ciekawe w kontekście poszukiwań plazmy kwarkowo-gluonowej. Niestety przekrój czynny na oddziaływanie dwóch jąder jest zdominowany przez zderzenia peryferyjne. Wkład do przekroju czynnego od zderzeń zachodzących z parametrem zderzenia b wynosi $2\pi b db$. Wkład ów znika więc, gdy $b \rightarrow 0$.

Nieco wyidealizowany scenariusz wysokoenergetycznego zderzenia jąder atomowych wygląda następująco. Przekrywające się części zderzających się jonów silnie oddziałują, w rezultacie czego powstaje kropla gęstej i gorącej materii zwana „fireballem”. Początkowo tworzą ją kwarki i gluony bądź hadrony. Układ rozszerza się i oziębia. Jeśli materia była na początku w fazie plazmy, układ doświadcza hadronizacji, tzn. kwarki i gluony zamieniają się w hadrony. Obniżanie się gęstości fireballu postępuje dalej aż do momentu, gdy średnia droga swobodna hadronu staje się porównywalna z rozmiarami układu, bądź dotąd, kiedy prędkość rozszerzania się zrównuje się z prędkościami pojedynczych cząstek. Wtedy cały układ rozpada się na hadrony, które już więcej ze sobą nie oddziałują. Tylko niestabilne cząstki rozpadają się jeszcze na hadrony stanu końcowego zderzenia. Moment rozerwania się fireballu określa się jako zamrażanie, gdyż od tej chwili pędy hadronów (wyłączywszy z tego cząstki niestabilne) już się nie zmieniają. A zatem hadrony stanu końcowego charakteryzują fireball w momencie zamrażania.

Jak już mówiliśmy w rozdz. 5, gęstą materię można uzyskać zarówno ją zgniatając, jak podgrzewając. Okazuje się, że znaczący efekt kompresji, niestety nie wystarczający do otrzymania plazmy kwarkowo-gluonowej, występuje przy stosunkowo niskich energiach zderzeń, nie przekraczających 1 GeV na nukleon. W tym obszarze energii można badać własności gęstej, lecz stosunkowo chłodnej materii jądrowej. Przy wyższych energiach jądra atomowe stają się coraz bardziej przezroczyste, tzn. zderzające się jądra przelatują przez siebie. Trajektorie lotu uczestników jedynie nieznacznie się odchylają w rezultacie oddziaływania. Jednakże uczestnicy tracą na skutek

tego oddziaływania znaczącą część swojej energii, która później ujawnia się postaci wyprodukowanych w zderzeniu cząstek, głównie pionów. W efekcie gęstość barionowa układu nie wzrasta istotnie nawet we wczesnej fazie zderzenia. Gdy powstały układ ewoluuje rozszerzając się, gęstość barionowa szybko staje się mniejsza od normalnej gęstości jądrowej. Jednakże dzięki energii wytracanej przez oddziałujące nukleony układ silnie się nagrzewa, a więc rośnie jego gęstość energii. Jeśli początkowa temperatura fireballu przekracza temperaturę fazowego przejścia uwolnienia, materia występuje w fazie plazmy kwarkowo-gluonowej.

W tym miejscu trzeba jednak poczynić pewne zastrzeżenie. Używanie pojęcia temperatury oznacza przyjęcie założenia, że układ znajduje się w stanie równowagi termodynamicznej. Nie jest zaś wcale oczywiste, że z taką sytuacją mamy rzeczywiście do czynienia w zderzeniach ciężkich jonów. Jak wiadomo, każdy układ fizyczny potrzebuje pewnego czasu, aby osiągnąć stan równowagi. Kropla materii powstała w zderzeniu jądrowym nie może osiągnąć stanu równowagi globalnej. Dysponujemy natomiast poważnymi argumentami teoretycznymi i doświadczalnymi, że osiągnięta jest równowaga lokalna. W warunkach równowagi globalnej wartości parametrów termodynamicznych – temperatury, gęstości, prędkości hydrodynamicznej – są jednakowe dla całego układu. Nim stan równowagi globalnej zostanie osiągnięty, układ przez pewien czas znajduje się zwykle w równowadze lokalnej. Części układu osiągnęły już wtedy równowagę, lecz parametry termodynamiczne płynnie zmieniają się od jednej do innej części układu. Ponieważ kropla materii powstała w zderzeniu nie jest utrzymywana w żadnym naczyniu, więc natychmiast rozszerza się, głównie w kierunku wiązki padających jąder. W konsekwencji hydrodynamiczna prędkość w tym kierunku jest bardzo różna dla różnych części układu i nigdy nie wyrównuje się. Natomiast gęstość i temperatura mogą osiągnąć zbliżone wartości w całym rozlatującym się układzie.

7. Oznaki plazmy

Powstanie plazmy jest oczekiwane we wczesnej fazie zderzenia. Później, gdy układ rozsze-

rza się stygnąc, musi nastąpić hadronizacja. A zatem w stanie końcowym zderzenia zawsze obserwujemy hadrony. Powstaje więc problem, jak stwierdzić, czy początkowo plazma była obecna, czy nie. Chociaż trudno sobie wyobrazić zupełnie jednoznaczny dowód, wskazano kilka możliwych pośrednich oznak występowania plazmy. Poniżej omawiamy dwie z nich, które wydają się najbardziej obiecujące.

Oczekuje się, że obecność plazmy we wczesnej fazie zderzenia prowadzi do wzrostu liczby cząstek dziwnych w stanie końcowym. Rzecz w tym, że masa kwarka dziwnego jest znacząco mniejsza niż masa cząstek dziwnych. Ponieważ masa tego kwarka wynosi ok. 150 MeV, więc kwark i antykwark muszą mieć energię 300 MeV w układzie środka masy, aby wytworzyć kwark s i antykwark \bar{s} w reakcji $q + \bar{q} \rightarrow s + \bar{s}$. Dziwne kwarki muszą być oczywiście wytwarzane parami, gdyż dziwność jest zachowywana w oddziaływaniach silnych. Najkorzystniejszym energetycznie procesem wytwarzania cząstek dziwnych na poziomie hadronowym jest reakcja $\pi + N \rightarrow K + \Lambda$, przy czym pion i nukleon muszą nieść energię w środku masy przekraczającą 500 MeV. A zatem łatwiej jest wytworzyć dziwność na poziomie kwarkowym niż hadronowym. Jeśli już dziwne kwarki pojawiają się w plazmie, nie mogą zniknąć (pomijamy tutaj dosyć rzadki proces anihilacji pary $s\bar{s}$), więc znajdą się one w hadronach stanu końcowego. Iluściowe porównanie dwóch scenariuszy: z i bez plazmy, rzeczywiście pokazuje, że obecność plazmy kwarkowo-gluonowej prowadzi do wzmoczonej produkcji cząstek dziwnych.

Druga ważna oznaka powstania plazmy wiąże się z zachowaniem cząstki J/ψ , będącej stanem związanym powabnego kwarka c i antykwarka \bar{c} . Oczekuje się, że mezon ten ulega znacznie łatwiej destrukcji w ośrodku złożonym z kwarków i gluonów niż z hadronów. Można to zrozumieć jako efekt ekranowania potencjału, wiążącego kwarki c i \bar{c} , przez kolorowe ładunki cząstek plazmy. Tak więc liczba mezonów J/ψ w stanie końcowym zderzenia jądrowego powinna być znacząco zmniejszona, jeśli we wczesnej fazie tego zderzenia wystąpiła plazma kwarkowo-gluonowa.

Obie przewidywane teoretycznie oznaki plazmy zostały rzeczywiście zaobserwowane w centralnych zderzeniach ciężkich jonów przy energii ok. 200 GeV na nukleon, które były badane w Eu-

ropejskim Laboratorium Fizyki Cząstek (CERN). Jednakże dane doświadczalne, zarówno te dotyczące dziwności, jak i cząstek J/ψ , mogą być opisane przy odpowiednich założeniach bez uciekania się do hipotezy o obecności plazmy we wczesnej fazie zderzenia. Pytanie więc, czy plazma jest wytwarzana przy obecnie dostępnych energiach wiązek jądrowych, jest niezwykle żywo dyskutowane. Powstawanie plazmy przy wyższych energiach wydaje się pewne.

8. Perspektywy

W najbliższej przyszłości rozpocznie się zbieranie danych doświadczalnych dotyczących zderzeń ciężkich jąder atomowych przyspieszonych w akceleratorze nowej generacji. Jest nim Relativistic Heavy-Ion Collider (RHIC), zbudowany w Narodowym Laboratorium w Brookhaven (USA). Energia zderzenia jest o rząd wyższa od energii dostępnej w CERN-ie. W dotychczasowych eksperymentach zderzano rozpędzone w akceleratorach jądra-pociski z jądrami spoczywającej tarczy. RHIC natomiast to układ dwóch przeciwbieżnych wiązek jąder, zderzających się w miejscach, gdzie owe wiązki się przecinają. Energia każdej wiązki wynosi 100 GeV na nukleon, co daje energię zderzenia dwóch nukleonów w ich środku masy równą 200 GeV. Wielkość tę należy porównać z energią 20 GeV, dostępną obecnie w układzie wiązka-tarcza. Za kilka lat rozpocznie pracę jeszcze większy akcelerator, działający na tej samej zasadzie – Large Hadron Collider (LHC), budowany w CERN-ie. Energia jego każdej wiązki będzie wynosiła 3 TeV na nukleon, dzięki czemu osiągnięta zostanie fantastycznie wielka energia zderzenia, równa 6 TeV.

Zderzenia dwóch protonów były już badane doświadczalnie w obszarze energii odpowiadającym akceleratorowi RHIC. Perturbacyjna QCD, która prawie nie ma zastosowania przy niższych energiach, staje się tutaj bardzo użyteczna. Dzieje się tak dlatego, że średni przekaz pędu wzrasta z powiększaniem energii zderzenia, a co za tym idzie stała sprzężenia staje się względnie mała. Paradoksalnie więc teoretyczne podstawy opisu zderzeń jądrowych stają się bardziej solidne wraz ze wzrostem energii zderzenia.

Oczekuje się, że zderzenia jąder przy RHIC czy LHC będą tak gwałtowne, że kwarki i gluony tworzące nukleony będą się z łatwością uwalniać (oczywiście tylko na bardzo krótki czas). Przy tych ogromnych energiach można sobie wyobrazić nukleon jako obłok kwarków i gluonów, zamieniający się w kaskadę partonową podczas zderzenia z innym nukleonem. Powstawanie więc plazmy w zderzeniach przy RHIC czy LHC wydaje się nieuniknione. Otwartym pytaniem pozostaje kwestia, jak doświadczalnie stwierdzić jej obecność.

Chciałbym wyrazić wdzięczność Markowi Gaździckiemu za krytyczne przeczytanie manuskryptu.

Literatura

- [1] *Quark-Gluon Plasma*, red. R. Hwa (World Scientific, Singapore 1990).
- [2] *Quark-Gluon Plasma 2*, red. R. Hwa (World Scientific, Singapore 1995).
- [3] Sprawozdanie z konferencji „Quark Matter '95”, *Nucl. Phys.* **A590** (1995).
- [4] Sprawozdanie z konferencji „Quark Matter '96”, *Nucl. Phys.* **A610** (1996).
- [5] Sprawozdanie z konferencji „Quark Matter '98”, *Nucl. Phys.* **A638** (1998).

Elektroencefalogram i przybliżenia adaptacyjne sygnałów

Piotr J. Durka

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Warszawski

Electroencephalogram and adaptive approximations of signals

Abstract: Research on the electrical activity of the brain (electroencephalogram, EEG) has over a 100 years history – with Polish scientists among the pioneers. In spite of a rapid development of new brain imaging systems, EEG still retains a privileged position. With greatly improved recording techniques, analysis of these data poses nowadays a major challenge. New signal processing techniques (adaptive approximations) are suitable for analysis of non-stationary signals and provide time-frequency resolution, superior to any of the previously known methods. A unified parametrization of transient and stationary phenomena is possible within the presented framework.

1. Elektroencefalogram – historia i terażniejszość

Początki badania bioelektryczności sięgają okresu jedności nauk przyrodniczych. W roku 1786 Luigi Galvani wykonał słynne doświadczenie: jednoczesne dotknięcie mięśnia wypreparowanej kończyny żaby dwoma różnymi, połączonymi ze sobą metalami wywołuje jego skurcz. Mimo błędnej interpretacji doświadczenie to wpłynęło stymulująco na badania elektryczności – prawidłową interpretację podał Alessandro Volta w roku 1796. Minęło 50 lat, nim do istoty „elektryczności zwierzęcej” zbliżył się Emile Du Bois-Reymond, wykazując w 1848 r., że aktywności w nerwie obwodowym towarzyszy nieodłącznie zmiana potencjału na jego powierzchni.

Pierwszy opis czynności elektrycznej mózgu pojawił się w roku 1875 w sprawozdaniu z grantu przyznanego przez British Medical Association [1]. Richard Caton wykazał korelację między prostymi czynnościami (ruch głową, przeżuwanie) a zmianą potencjału w odpowiednich

obszarach kory mózgowej kotów i królików. Zawarte w raporcie zdanie: „gdy w dwóch miejscach na powierzchni zewnętrznej czaszki umieszczono elektrody, przez wzmacniacz płynęły słabe prądy o zmiennych kierunkach” stanowiło ponadto pierwszy opis elektroencefalogramu. Jednak publikacje Catona w czasopiśmie czysto medycznym przeszły nie zauważone.

W roku 1886 Adolf Beck (rys. 1) rozpoczął pracę na wydziale lekarskim Uniwersytetu Jagiellońskiego pod kierunkiem prof. Cybulskiego (rys. 2). W 4 lata później obronił rozprawę doktorską „Oznaczenie lokalizacji w mózgu i rdzeniu za pomocą zjawisk elektrycznych” [2]. Podobnie jak inni badacze zajmujący się podówczas podobną tematyką, nie wiedział o wcześniejszych pracach Catona. Jednak jego rozprawa stanowiła znacznie głębsze studium zarówno problemu lokalizacji funkcji sensorycznych w mózgu, jak i samego elektroencefalogramu (odkrył m.in. jego desynchronizację w odpowiedzi na bodźce). Wyniki te opublikował w najszerzej czytany piśmie fizjologicznym – *Centralblatt für Physiologie* [3].

Jego krótki artykuł rozpętał burzę pretensji do palmy pierwszeństwa; m.in. Ernest Fleischl von Marxow dowodził, że obserwacje czynności elek-



Rys. 1. Adolf Beck (1863–1942) w stroju rektora Uniwersytetu Jana Kazimierza we Lwowie; w rękach trzyma napisaną wspólnie z Cybulskim *Fizjologię Człowieka*, na palcu ma złoty sygnet z napisem „Bene merenti facultas medica”, ofiarowany przez Uniwersytet na 40-lecie pracy naukowej. Portret pędzla S. Batowskiego (1934 r.).

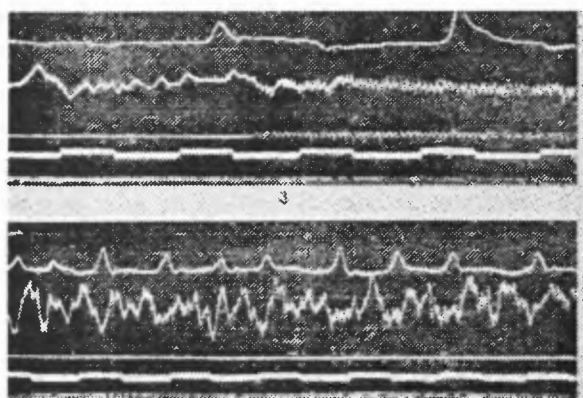
trycznej mózgu spisał wcześniej w liście złożonym w... sejfie Cesarskiej Akademii Nauk w Wiedniu (był to pono zwyczaj podówczas nierzadki na niektórych uniwersytetach Europy, a także we francuskiej Académie des Sciences). Beck odpowiedział skromnie, że technikę badania poten-



Rys. 2. Napoleon Nikodem Cybulski (1854–1919), profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego.

cjałów nerwów i konstrukcję elektrod opracował Du Bois-Reymond, więc zastosowanie znanej techniki do rozwiązania nowego problemu nie zasługuje na miano odkrycia. Stwierdził ponadto, że motywem podjęcia tych eksperymentów był konkurs ogłoszony w październiku 1888 r. przez prof. Cybulskiego, który jest w związku z tym autorem idei. Dyskusję uciął Caton, cytując publikacje swoich wspomnianych prac.

Głównym celem opisywanych dotychczas badań było wykorzystanie elektrofizjologii do lokalizacji funkcji w mózgu. Wróćmy jednak do „ubocznego” ich efektu, czyli elektroencefalogramu, dla którego Beck zaproponował nazwę „aktywny prąd niezależny”, w odróżnieniu od prądów wywołanych stymulacją. Ogromne postępy w zakresie jego badania i interpretacji poczynił wspomniany już prof. Napoleon Nikodem Cybulski, choć wieloletni brak funduszy na sprzęt fotograficzny odebrał mu szansę na pierwszeństwo w opublikowaniu zdjęcia elektroencefalogramu (rys. 3).



Rys. 3. Fotografia zapisu napadu epileptycznego wywołanego drażnieniem kory mózgowej psa. Kolejność odczytu: panel górny, potem dolny, od prawej do lewej. Sygnały (od dołu): znacznik czasu (1 s), bodziec, elektrokortikogram (ECoG, potencjał z powierzchni kory), oddech. Początek napadu widać w ECoG po wyłączeniu bodźca z prawej strony górnego panelu i w panelu dolnym w postaci silnie zwiększonej amplitudy w niskich częstościach. Zdjęcie z pracy [5].

Eksperymenty te prowadzono na odsłoniętych mózgach zwierząt. Pierwszy zapis elektroencefalogramu człowieka (z powierzchni czaszki swego syna) uzyskał w roku 1925 Hans Berger, jednak wyniki trzymał w tajemnicy aż do skompletowania bogatego materiału, który opublikował w 1929 r. [4]. Artykuł ten, stanowiący jedną z najbardziej klasycznych prac z dziedziny elektroen-

cefalografii klinicznej, rozpoczął również serię corocznych (do 1938 r.) publikacji Bergera o niemal jednobrzmiących tytułach. Berger potwierdził występowanie w mózgu człowieka większości efektów opisywanych u zwierząt, odrzucił jednak zaproponowaną przez Włodzimierza Prawdycz-Nie mińskiego (który pierwszy opublikował w 1912 r. zdjęcie elektroencefalogramu) nazwę „elektrocerebrogram” jako barbarzyński zlepek greki i łaciny.

Obecnie, dzięki postępowi fizyki i techniki, dostępnych jest wiele metod obrazowania czynności i struktury mózgu, takich jak: tomografia komputerowa (CT), jądrowy rezonans magnetyczny (strukturalny i funkcjonalny – MRI, fMRI), pozytonowa tomografia emisyjna (PET) i magnetoencefalografia (MEG).

Elektroencefalogram (EEG) wyróżnia się spośród nich, poza najdłuższą historią zastosowań klinicznych, wysoką rozdzielczością czasową, względnie niskim kosztem oraz faktem, że nie obciąża pacjenta napromieniowaniem. Dokładność zapisu EEG zapewnia obecnie wystarczające próbkowanie w czasie i przestrzeni: odpowiednio $10^2 - 10^4$ Hz i do ok. 128 obserwowanych jednocześnie odprowadzeń (elektrod na czaszce). Wiele do zrobienia pozostaje natomiast w dziedzinie analizy i interpretacji otrzymanych w ten sposób danych. Jedną z nadziei na postęp są adaptacyjne przybliżenia sygnałów.

2. Adaptacyjne przybliżenia sygnałów

2.1. Reprezentacja sygnału w nadmiarowym zbiorze funkcji

„Zrozumieć” w kulturze europejskiej znaczy często „powiedzieć własnymi słowami”. Podobnie, analiza funkcji polegać może na jej przedstawieniu – lub przybliżeniu – za pomocą funkcji o znanych właściwościach. Kontynuując tę analogię, zbiór znanych funkcji, za pomocą których będziemy chcieli wytłumaczyć funkcję nieznaną, nazwiemy słownikiem. Szczególnym przypadkiem słownika jest baza ortogonalna – najmniejszy kompletny słownik.

Za pomocą niewielu prostych i podstawowych słów można wytłumaczyć niemal dowolnie skom-

plikowane idee. Jednak opis przy użyciu ubożego słownika nie będzie ani zwięzły, ani elegancki. Dla trafnego wyrażenia subtelnych i nieuchwytnych idei – albo słabych i przejściowych składowych sygnału – potrzebujemy obszerniejszego słownika, wzbogaconego o wyrażenia fachowe lub licencję poetycką. W analizie sygnałów słownik możemy rozszerzać niemal dowolnie – wystarczy sparame tryzować ogólną postać funkcji składowych (przykładowy słownik opisany jest w Uzupełnieniu).

Dokładny opis sygnału (tj. badanej funkcji) w słowniku większym niż baza wprowadza nadmiar informacji (redundancję). Zwięzłość możemy osiągnąć, godząc się na przybliżenie sygnału, ale za to za pomocą możliwie niewielkiej liczby funkcji. Jeśli liczbę wybranych do przedstawienia (reprezentacji) sygnału funkcji słownika nazwiemy rozmiarem reprezentacji, to zwykle dążymy do sytuacji, w której:

$$\text{rozmiar reprezentacji} < \text{wymiar bazy} \ll \ll \text{rozmiar słownika.}$$

Reprezentację optymalną można określić jako taki podzbiór elementów słownika, którego liniowa kombinacja tłumaczy największy procent energii sygnału wśród wszystkich podzbiorów o tej samej liczebności. Wybór takiej reprezentacji jest obliczeniowo NP-trudny¹, toteż w praktyce trzeba się zadowolić iteracyjnym rozwiązaniem suboptymalnym, np. zaproponowanym w 1993 r. przez Mallata i Zhanga [7] algorytmem Matching Pursuit (MP).

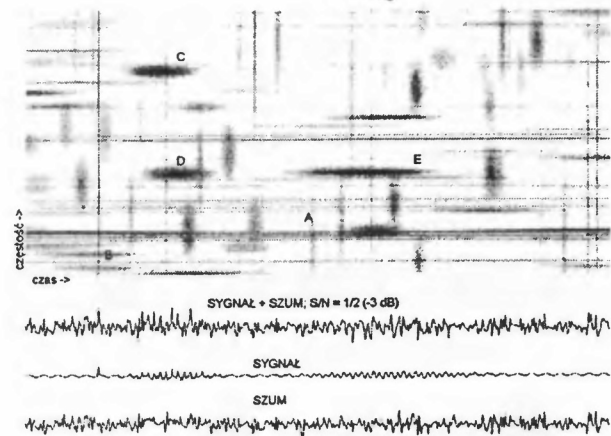
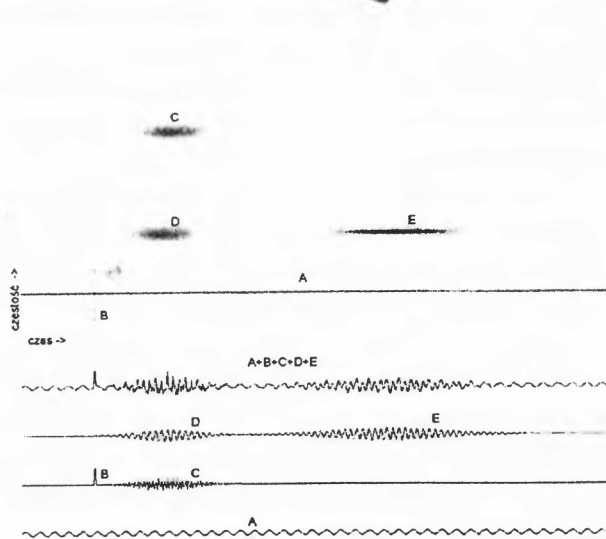
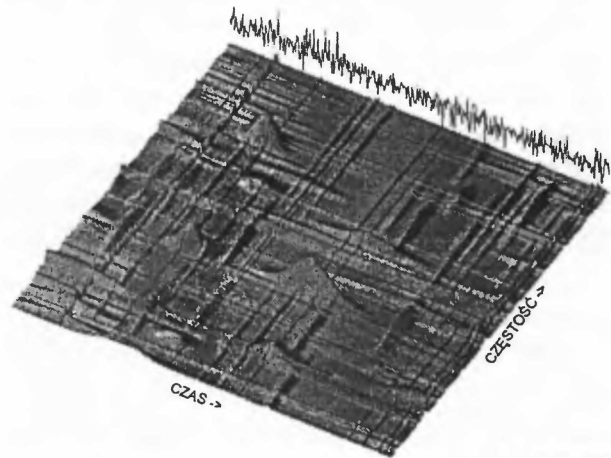
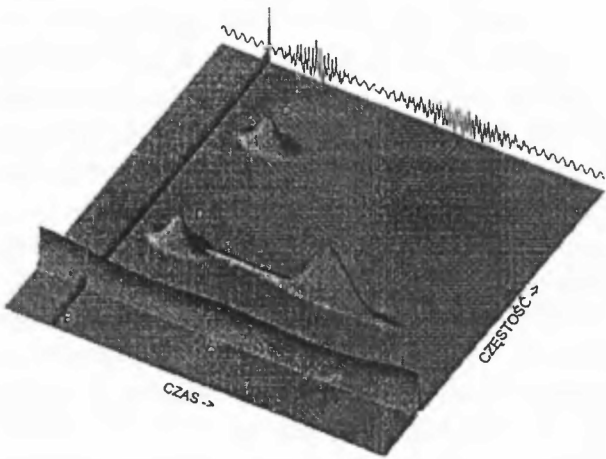
W analizie sygnałów używamy zwykle słowników złożonych z funkcji Gabora (funkcja Gaussa modulowana sinusem) ze względu na ich optymalną lokalizację w przestrzeni czas-częstość. Reprezentacja złożona z funkcji Gabora pozwala również na konstrukcję eleganckiej estymaty gęstości energii sygnału w przestrzeni czas-częstość, z założenia usuwającej problem wyrazów mieszanych, obecny zwykle w tego typu rozkładach (patrz Uzupełnienie).

Wynik działania algorytmu ze słownikiem funkcji Gabora przedstawia rys. 4; sygnał zasy mulowano jako sumę sinusa, delty Diraca (jedno punktowej nieciągłości) i trzech zsynchronizowanych w czasie i częstościach funkcji Gabora. Ry-

¹ Problemy NP- trudne (ang. NP-hard) – klasa problemów, których złożoność obliczeniowa rośnie z rozmiarem problemu szybciej niż dowolny wielomian [6]. Klasycznym przykładem jest problem komiwojażera, polegający na znalezieniu najkrótszej drogi łączącej określoną liczbę miast.

sunek 5 przedstawia rozkład takiego samego sygnału z dodanym liniowo szumem o dwukrotnie większej energii.

również diagnozowaniu jego zaburzeń i badaniom podstawowym. Tradycyjnie sen przedstawiany jest w formie hipnogramu (rys. 6), poka-



Rys. 4. Uzyskana z rozkładu MP gęstość energii w przestrzeni czas-częstość sygnału symulowanego jako suma sinusa (A), delty Diraca (B) i trzech funkcji Gabora dobranych tak, by dwie z nich (C oraz D) były zsynchronizowane w czasie, a dwie (D oraz E) łączyła synchronizacja częstotliwościowa.

Rys. 5. Rozkład sygnału z rys. 4 z liniowym dodatkiem szumu o dwukrotnie większej energii ($S/N = -3$ dB).

2.2. Zastosowania w analizie EEG

Pierwsze zastosowanie opisanej metody w analizie sygnałów biomedycznych dotyczyło zapisów EEG snu.

2.2.1. Elektroencefalogram snu

Całonocny zapis² EEG jest nie tylko obiektywnym wskaźnikiem jakości snu, ale służyć może

zującego podział na stadia snu³. Przypisanie odcinka zapisu do określonego stadium odbywa się przez wykorzystanie m.in. takich parametrów sygnału, jak amplituda, przewaga określonych częstotliwości czy wreszcie obecność wyróżnionych grafologicznych elementów, jak np. wrzeciona snu (występujące w zapisie EEG struktury o wrzecionowatej obwiedni i częstotliwości ok. 11–15 Hz) [8].

2.2.2. Unifikacja opisu przejściowych i stacjonarnych struktur EEG

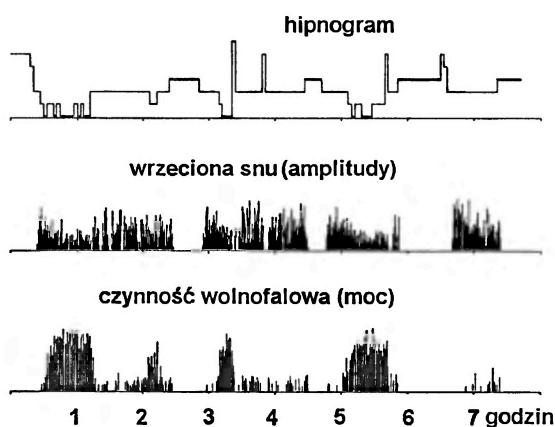
Do celów analizy EEG zastosowano następujący schemat: 1) cyfrowe zapisy EEG poddano rozkładowi za pomocą algorytmu MP; 2) w przestrzeni parametrów dopasowanych do sygnału

² Przedstawione zapisy EEG i hipnogram na rys. 6 pochodzą z pracowni prof. W. Szelenbergera z Akademii Medycznej w Warszawie.

³ Aktualnie przeważa tendencja traktowania snu jako procesu ciągłego i sztywny podział snu na stadia jest krytykowany, niemniej jednak analiza stadiów jest wciąż jedynym powszechnie przyjętym sposobem opisu snu.

funkcji Gabora skonstruowano filtr, wybierający z powyższego zbioru funkcje odpowiadające poszukiwanym strukturom.

Kluczowy dla dalszych analiz jest oczywiście właśnie ten filtr, jednak w większości przypadków jego utworzenie nie nastęrcza zasadniczych trudności. Charakterystyki grafoelementów (struktur) EEG, tworzone dla potrzeb standaryzacji analizy wzrokowej, często odwołują się wręcz bezpośrednio do terminologii z dziedziny czas-częstość, jak np. opis wrzecion snu w klasycznym podręczniku [8]: „Nie należy mówić o występowaniu wrzeciona snu, dopóki nie trwa ono co najmniej 0,5 s; w tym czasie powinniśmy być w stanie rozróżnić 6–7 wyraźnych fal (...) Określenie to powinno być używane tylko do opisu aktywności w zakresie 12–14 Hz”.



Rys. 6. Od góry: hipnogram (głębokość snu), wrzeciona snu (oznaczone liniami o wysokości odpowiadającej amplitudzie), czynność wolnofalowa (SWA, odpowiednik mocy widmowej obliczony z parametrów MP). Skala pozioma (w godzinach) wspólna.

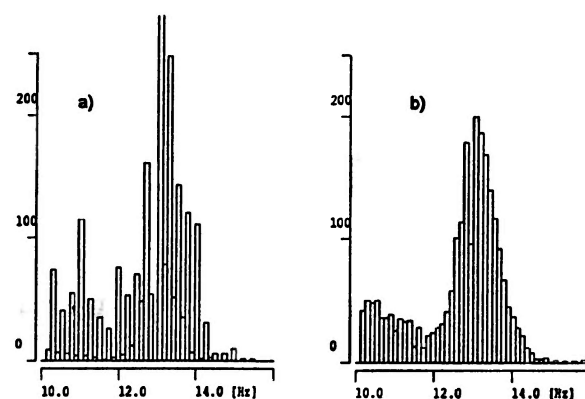
Wysoka rozdzielczość i czułość metody pozwala analizować słabe struktury spoza zasięgu analizy wzrokowej (por. rys. 5). Ponadto możliwy jest jednolity opis zjawisk typu przejściowego („transjentów”) i stacjonarnego. Na przykład, czynność wolnofalowa była dotychczas opisywana ilościowo przez estymaty widma mocy w ustalonym pasmie, natomiast wrzeciona snu – zwykle przez procedury wykrywania, nastawione na odtwarzanie detekcji wzrokowej. W zaproponowanym podejściu parametry obu typów struktur pochodzą z tego samego zbioru, a wybierane są *a priori* na podstawie ich czasowo-częstościowych definicji. Rysunek 6 przedstawia wynik detekcji i parametryzacji wrzecion snu oraz aktyw-

ności (czynności) wolnofalowej w jednej analizie całonocnego zapisu EEG.

2.3. Właściwości statystyczne rozkładu

W tradycyjnej formie zapis EEG jednej nocy to wstęga papieru o długości ok. 0,5 km. Również w analizie zapisów cyfrowych mamy do czynienia ze stosunkowo dużą ilością danych. Natrafiłszy dzięki temu na interesujący problem, wynikający z własności statystycznych procedury MP.

Używane w praktyce słowniki czasowo-częstościowe stanowią dość niewielki („rozrzedzony”) podzbiór przestrzeni dopuszczalnych parametrów funkcji Gabora. W szczególności, zaproponowana przez autorów metody implementacja [7] oparta jest o diadyczny (oparty na potęgach dwójki) schemat wyboru parametrów (patrz Uzupełnienie). Rysunek 7a przedstawia histogram częstości wrzecion snu wybranych z rozkładu zapisu EEG w takim właśnie diadycznym słowniku. Poza szerokim maksimum w pobliżu 13 Hz można zauważyć subtelną strukturę rozkładu, której powtarzalność mogłaby sugerować np. preferencję mózgu dla pewnych częstości. Jest to jednak sztuczny efekt działania metody, związany z faktem, że w użytych słowniku w okolicy tych częstości dostępnych jest więcej funkcji o zbliżonych parametrach. Prowadzi to do powstania swobodnego atraktora dla rozkładu, którego wpływ ujawnia się w sensie statystycznym dopiero przy analizie większej liczby danych.



Rys. 7. Histogram częstości wrzecion wybranych z rozkładu całonocnego zapisu EEG (elektroda pz), uzyskany za pomocą: a) słownika diadycznego, b) słowników stochastycznych.

W tym miejscu pojawia się interesujące pytanie: jeśli diadyczny schemat próbkowania przestrzeni parametrów słownika powoduje tego typu

sztuczne efekty, to jaki jest „właściwy” schemat ich wyboru, dający nie obciążone statystycznie wyniki? Niestety, każdy ustalony schemat będzie wpływał na statystykę wyników. Pozostaje zdać się na... przypadek, i losować parametry funkcji słownika przed każdym rozkładem. Taką właśnie procedurę wprowadziliśmy pod nazwą słowników stochastycznych. Wynik jej działania ilustruje rysunek 7b. Poprawne właściwości statystyczne uzyskujemy kosztem większej liczby obliczeń, gdyż w tej sytuacji musimy zrezygnować z optymalizacji numerycznych, związanych ze szczególną strukturą słownika.

Opisana powyżej metoda może otworzyć nowe możliwości w analizie sygnałów niestacjonarnych również w innych dziedzinach. Zainteresowanych tą tematyką zapraszam na stronę: brain.fuw.edu.pl/~durka, gdzie można znaleźć m.in. interaktywne programy demonstrujące wyniki rozkładu MP.

Dziękuję prof. Katarzynie Blinowskiej za pomoc w przygotowaniu artykułu.

Uzupełnienie

1. Algorytm Matching Pursuit (Dopasowanie Kroczące)⁴ i słowniki czas-częstość

Niech będzie dany zbiór funkcji (słownik) $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$, takich że $\|g_i\| = 1$. Algorytm Matching Pursuit (MP) [7] jest procedurą iteracyjną. W pierwszym kroku wybierana jest funkcja g_{γ_0} , dająca największy iloczyn skalarny z sygnałem f , po czym w każdym następnym kroku funkcja g_{γ_n} jest analogicznie dopasowywana do residuum sygnału $R^n f$, pozostałego po odjęciu wyniku poprzedniej iteracji:

$$\begin{cases} R^0 f = f; \\ R^n f = \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n} + R^{n+1} f; \\ g_{\gamma_n} = \arg \max_{g_{\gamma_i} \in G} |\langle R^n f, g_{\gamma_i} \rangle|. \end{cases}$$

Z ortogonalności $R^{n+1} f$ i g_{γ_n} w każdym kroku procedury wynika zachowanie energii:

$$\|f\|^2 = \sum_{n=0}^{m-1} |\langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle|^2 + \|R^m f\|^2.$$

Jeśli słownik jest kompletny, to procedura zbiega do f :

$$f = \sum_{n=0}^{\infty} \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n}. \quad (1)$$

⁴ Termin „Dopasowanie Kroczące” zaproponował prof. A. Bartnik w recenzji mojej pracy doktorskiej; ja jednak – zgodnie z brzytwą Ockhama – pozostaję przy akronimie MP.

2. Dyskretny słownik funkcji Gabora

Funkcję („atom”) słownika czasowo-częstościowego można wyrazić jako translację (u), rozciągnięcie (s) i modulację (ω) funkcji okna $g(t) \in L^2(\mathbb{R})$:

$$g_{\gamma}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} g\left(\frac{t-u}{s}\right) e^{i\omega t}.$$

Optymalną lokalizację w przestrzeni czas-częstość otrzymujemy dla obwiedni gaussowskiej $g(t)$, co w przypadku analizy sygnałów o wartościach rzeczywistych daje słownik rzeczywistych atomów Gabora:

$$g_{\gamma}(t) = K(\gamma, \phi) e^{-\pi[(t-u)/s]^2} \sin[\omega(t-u) + \phi].$$

Funkcja $K(\gamma, \phi)$ zapewnia normalizację ($\|g_{\gamma}\| = 1$). Pomimo że analizujemy sygnały dyskretne, parametry atomów słownika mogą przyjmować wartości z przedziałów ciągłych. Nawet jeśli w konstrukcji słownika dla sygnału o danej długości (np. rzędu $N = 10^3$ punktów) uwzględnimy tylko całkowite wartości parametrów u , s oraz ωN (faza ϕ jest zazwyczaj przedmiotem osobnej optymalizacji w konkretnych realizacjach procedur obliczeniowych) z zakresu „sensownego” dla sygnału o danej długości, to i tak otrzymany rozmiar słownika oznacza ogromne nakłady obliczeniowe procedury. W praktyce tracimy bardzo niewiele, korzystając z relatywnie małego podzbioru przestrzeni (całkowitych) parametrów $\gamma = \{u, s, \omega\}$. Tak np. w „klasycznej” implementacji, zaproponowanej przez autorów metody [7], dla sygnału o długości $N = 2^L$ punktów mamy

$$g_{\gamma}(n) = K(\gamma, \phi) e^{-\pi[(n-u)/s]^2} \sin[2\pi \frac{\omega}{N}(n-u) + \phi].$$

Wybór parametrów podlega nowemu parametrowi – oktawie $j \in N$. Skala s , odpowiadająca szerokości atomu w czasie, pochodzi z diadycznej sekwencji $s = 2^j$, $0 \leq j \leq L$. Parametry u oraz ω , odpowiadające położeniu w czasie i częstości, są próbkowane dla każdej oktawy z interwałem $s = 2^j$.

3. Gęstość energii w przestrzeni czas-częstość

Z definicji transformaty Wignera:

$$W_f(t, \omega) = \int f(t + \tau/2) \overline{f(t - \tau/2)} e^{-i\omega\tau} d\tau$$

i reprezentacji (1) możemy skonstruować estymatę gęstości energii sygnału w przestrzeni czas-częstość [7]. Transformata Wignera równania (1) daje

$$Wf = \sum_{n=0}^{\infty} |\langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle|^2 W g_{\gamma_n} + \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m \neq n} \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle \overline{\langle R^m f, g_{\gamma_m} \rangle} W[g_{\gamma_n}, g_{\gamma_m}].$$

Podwójna suma zawiera wyrazy mieszane, w dużym stopniu fałszujące obraz rozkładu energii sygnału w klasycznej transformacie Wignera i pochodnych; minimalizacja ich wkładu w tych rozkładach jest przedmiotem zastosowań zaawansowanych metod matematycznych. Dzięki rozkładowi sygnału postaci równania (1), możliwe jest ich bezpośrednie usunięcie – po prostu pomijamy podwójną sumę, definiując wielkość $Ef(t, \omega)$:

$$Ef(t, \omega) \equiv \sum_{n=0}^{\infty} |(R^n f, g_{\gamma_n})|^2 Wg_{\gamma_n}(t, \omega).$$

Dystrybucja Wignera pojedynczego atomu g_{γ} spełnia warunek

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} Wg_{\gamma}(t, \omega) dt d\omega = \|g_{\gamma}\|^2 = 1,$$

co w połączeniu z zachowaniem energii rozwinięcia MP (1) daje

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} Ef(t, \omega) dt d\omega = \|f\|^2.$$

Uzasadnia to interpretację wielkości $Ef(t, \omega)$ jako gęstości energii sygnału $f(t)$ w przestrzeni czas-częstość.

Literatura

- [1] Mary A.B. Brazier, *A History of the Electrical Activity of the Brain, The First Half-Century* (Pitman Medical Publishing, London 1961).
- [2] Adolf Beck, „Oznaczenie lokalizacji w mózgu i rdzeniu za pomocą zjawisk elektrycznych”, *Rozpr. Wydz. mat.-przyr. PAU*, nr I w serii II, 186 (1891) (przedstawiono 20 października 1890 r.).
- [3] Adolf Beck, „Die Ströme der Nervencentren”, *Centralblatt für Physiologie* 4, 572 (1890).
- [4] Hans Berger, „Über das Elektrenkephalogramm des Menschen”, *Arch. f. Psychiat.* 87, 527 (1929).
- [5] Napoleon Cybulski, Jeleńska-Macieszyna, „Prądy czynnościowe kory mózgowej”, *Bull. int. Acad. Cracovie, Seria B* (1914), s. 776.
- [6] David Harel, *Rzecz o istocie informatyki: algorytmika* (Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992).
- [7] Stéphane Mallat, Zhifeng Zhang, „Matching pursuit with time-frequency dictionaries”, *IEEE Trans. Signal Process.* 41, 3397 (1993).
- [8] *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages in human subjects*, red. A. Rechtschaffen, A. Kales (US Government Printing Office, 1968).

Szyby samochodowe: niewidoczne, póki całe*

John Bradshaw

Pilkington Technology Centre, Ormskirk, Wielka Brytania

Windscreens: never seen until damaged

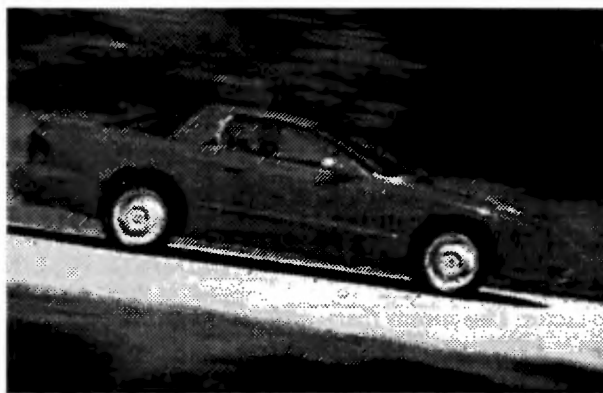
Abstract: Most people take windscreens for granted, but they are carefully designed to prevent damage, provide a clear view of the outside world, and look visually appealing.

1. Wstęp

Co się dzieje, gdy kamyk uderza w przednią szybę? Przeważnie kierowca widzi krótkie mignięcie przed oczami, po czym słyszy głośny stuk towarzyszący odbiciu kamienia. Czasami powstaje przy tym pęknięcie, które w najgorszym razie rozgałęzia się na całą szybę. W obu przypadkach szybę należy wymienić. To spory kłopot, ale przynajmniej szyba spełniła jedno ze swych podstawowych zadań: zatrzymała kamień, chroniąc pasażerów przed zranieniem.

Szyba to jedna z tych rzeczy, które dostrzegamy dopiero wtedy, kiedy ulegają zniszczeniu. Jej powstaniu towarzyszy jednak wielki wysiłek, zmierzający do uzyskania jak najlepszych własności i obniżenia kosztów produkcji. Poza ochroną pasażerów, szyba samochodowa musi też oczywiście zapewniać dobrą, wolną od zniekształceń widoczność pokonywanej drogi. Ostatnio produkowane przednie szyby są coraz bardziej wypukłe, co wymaga dodatkowej troski, by piękno kształtu nie pogarszało widoczności. Dalej zajmiemy się zjawiskami fizycznymi pozwalającymi osiągnąć wyma-

gane własności szyb samochodowych, a zwłaszcza mechanizmami ich reakcji na różne rodzaje uderzeń. Poświęcimy też nieco uwagi przypuszczalnym zmianom w konstrukcji szyb samochodowych, wynikającym na przykład z wymagań współpracy z systemami nawigacji satelitarnej, gdy szyby staną się jednocześnie ekranami wyświetlającymi dodatkowe informacje.



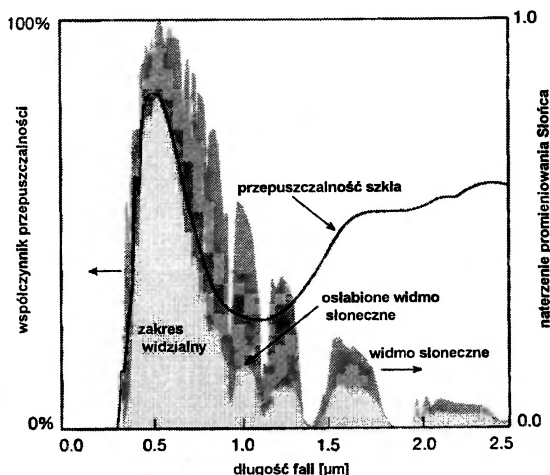
Rys. 1. Pontiac Firebird: oto, jakie formy można dziś nadawać szybom. Przednie i tylne szyby są przyciemnione, silnie pochylone i zaokrąglone, a mimo to dają dobrą widoczność i osłonę przed uderzeniem.

* Artykuł, opublikowany w *Physics World* 10, nr 8, 39 (1997), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy [Translated with permission. Copyright ©1997 by IOP Publishing Ltd.] (przyp. Red.).

2. Jakie zadania spełnia szyba samochodowa?

Po pierwsze, musi chronić pasażerów przed wiatrem i deszczem. Pomaga też utrzymać w środku miłe ciepło – za to w słoneczny dzień wnętrze auta nagrzewa się czasem ponad miarę. Główny wysiłek zmierza do zmniejszania wymiany ciepła przy zachowaniu dobrej przejrzystości i wierności widzianych kolorów.

Połowa docierającej do nas energii słonecznej niesiona jest przez fale o długościach między 0,8 a 2,2 μm spoza widzialnej części widma (rys. 2). Otrzymano barwione szkła pochłaniające (ściemniające) tę część widma bez tłumienia światła widzialnego (0,4 – 0,8 μm). Standardy międzynarodowe wymagają, aby przyciemniane szyby nie zmieniały kolorów sygnalizacji świetlnej, a więc światła czerwonych, żółtych i zielonych, i przepuszczały dość światła dla zapewnienia bezpiecznej jazdy nocą. Przyciemniane szyby dają też inne korzyści: zmniejszając oślepiające odbłaski światła, izolują od otoczenia zwiększając zacisność wnętrza, mogą też dodać elegancji karoserii.



Rys. 2. Widmo promieniowania słonecznego (obszar zacieniony) oraz procent energii przepuszczanej przez typową, barwioną szybę (linia ciągła). Słońce promieniuje w zakresie nadfioletu, światła widzialnego i podczerwieni – szkło przepuszcza niemal całkowicie światło widzialne, jednocześnie redukując przenikanie podczerwieni, a więc i ciepła.

Najważniejszym zadaniem jest jednak zapewnienie bezpieczeństwa ludziom. Najsurowszym testem jakości szyby jest jej zachowanie podczas zderzenia. To, co następuje po zderzeniu z róż-

nymi „pociskami”, decyduje o bezpieczeństwie pasażerów.

Szyby samochodowe składają się głównie z tlenków krzemu. Siła wiązania krzem-tlen (≈ 400 kJ/mol) sugerowałaby wielką odporność szkła. Aby powstało pęknięcie, wiązania krzemowo-tlenowe muszą ulec zerwaniu tworząc dwie powierzchnie: gęstość dwutlenku krzemu wynosi około 2200 kg/m^3 , co przy masie cząsteczkowej 60 g/mol oznacza zerwanie około 8×10^{18} wiązań dla utworzenia każdego metra kwadratowego powierzchni pęknięcia. Po podzieleniu liczby wiązań przez liczbę Avogadra ($6,02 \times 10^{23}$ mol^{-1}) otrzymujemy, że około $1,3 \times 10^{-5}$ moli materiału ulega zniszczeniu podczas pęknięcia, a więc energia potrzebna do utworzenia każdej z powierzchni wynosi około 3 J/m^2 . Teoria przewiduje, że szkło pęka, gdy naprężenie wewnętrzne przekracza $\sigma = \sqrt{EU/8a}$, gdzie E jest modułem Younga (ok. 72 GPa), U energią potrzebną do utworzenia pęknięcia, zaś a odległością międzyatomową (ok. 0,16 nm). Można by na tej podstawie sądzić, że wytrzymałość szkła wynosi około 18 GPa, w rzeczywistości – jak wynika z pomiarów – wynosi ona tylko 0,08 do 0,12 GPa.

Różnica ta spowodowana jest istnieniem drobnych pęknięć, głównie w pobliżu powierzchni materiału. Pojawianie się tych defektów, postulowane po raz pierwszy przez Alana Griffitha w latach dwudziestych naszego stulecia, prowadzi do zwiększenia naprężeń rozciągających w pobliżu ostrza każdego z nich o czynnik $\sqrt{c/r}$, gdzie c jest głębokością defektu, a r promieniem krzywizny jego ostrza, o którym zakłada się, że jest rzędu rozmiarów atomu. Dla ostro zakończonych pęknięć Griffith przyjmował, że naprężenie potrzebne do rozerwania szkła redukuje się do wartości $2/g\sqrt{Er/\pi c}$, gdzie g jest czynnikiem geometrycznym. Oznacza to, że rysy o głębokości kilku mikrometrów prowadzą do wzmocnienia przyłożonych naprężeń kilka tysięcy razy. W ten sposób nawet względnie niewielkie naprężenia mogą prowadzić do przekroczenia wytrzymałości szkła i katastrofalnego rozprzestrzenienia się defektu. Tak właśnie przejawia się tzw. pęknięcie kruche.

Szkło szyb samochodowych jest klasycznym materiałem kruchym, który nie jest w stanie zaabsorbować odkształceń. Odkształcenie rośnie w nim liniowo ze wzrostem przyłożonego naprężenia aż do rozerwania, a powstające pęknięcia roz-

przestrzenia się tak długo, jak długo nie znikają naprężenia. Metale, przeciwnie, mogą absorbować odkształcenia poprzez deformacje plastyczne (płynięcie), polegające na wzajemnym przesuwaniu się płaszczyzn sieciowych i granic ziaren, dzięki czemu zachowana pozostaje ciągłość materiału, chociaż podlega on zniekształceniu. W metalach zależność między naprężeniem a odkształceniem jest nieliniowa dla dużych naprężeń, dzięki czemu rozerwanie następuje przy znacznie większych odkształceniach.

Odporność szkła na uderzenia może być zwiększona przez poddanie go obróbce cieplnej lub laminowanie obszaru między dwiema taflemi szkła warstwami polimerów (jak to opisano w okienku). Laminowanie spotyka się częściej w przednich szybach: rozciągliwa warstwa polimeru rozprasza energię uderzenia zatrzymując rozwój pęknięcia i zapobiegając w ten sposób przebiciu szyby. Szkło może pęknąć, ale warstwa polimerowa zapobiega całkowitemu rozpadowi szyby i zmniejsza tym samym ryzyko dla kierowcy i pasażerów.

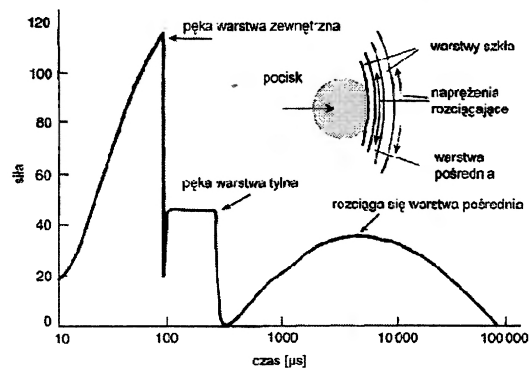
3. Jak przebiega zderzenie?

Co więc dzieje się podczas uderzenia? To zależy, co uderza – czy duży, miękki obiekt, taki jak człowiek, czy mały, twardy pocisk, jak odprysk kamienia. Zarówno kształt, jak i rodzaj przedmiotu mają wpływ na czas, siłę i energię uderzenia. Gdy o szybę uderza człowiek – przechodzień lub pasażer, który nie zapiął pasów – prędkość zderzenia może osiągać do 30 m/s (ok. 110 km/h). Energia kinetyczna wynosi wówczas około 30 kJ, ale ciężar rozkłada się na wystarczająco dużą powierzchnię, by szybka nie pękła. Jednocześnie szybka ugina się pod naciskiem, co prowadzi do powstania w niej naprężeń rozciągających po stronie przeciwnej do uderzającego ciała, silnie zależących od siły uderzenia („obciążenia”) oraz grubości szkła. Szkło pęka, gdy rozciąganie to przewyższa jego wytrzymałość.

W strukturach laminowanych warstwa polimeru pozwala na ruch obu warstw szkła względem siebie, o ile tylko obciążenie nie jest zbyt gwałtowne. Zakres ruchu zależy przy tym od obciążenia, własności materiału warstwy pośredniej i sposobu jej przyklejenia do powierzchni szkła. W porównaniu z pojedynczą warstwą szkła o tej sa-

mej grubości, szybka laminowana pęka przy czterokrotnie mniejszych naprężeniach, bo każda z tworzących ją tafli jest o połowę cieńsza. Z drugiej strony, warstwa pośrednia ulega rozerwaniu pod wpływem dużo większych obciążeń dzięki czemu struktura laminowana jako całość staje się znacznie wytrzymalsza.

Podczas powolnych zderzeń obie warstwy szkła działają jak jedna. Uginają się pod naciskiem, a obie powierzchnie naprzeciw miejsca zderzenia poddawane są rozciąganiu – zarówno zewnętrzna, jak i przylegająca do warstwy pośredniej (rys. 3). Zwykle pierwsza pęka powierzchnia zewnętrzna, silniej narażona na powstawanie drobnych uszkodzeń (wykres na rys. 3). Współ-



Rys. 3. Zachowanie się szyby laminowanej, uderzonej przez duży, miękki przedmiot. Obie warstwy szkła uginają się, czemu towarzyszy powstawanie naprężeń rozciągających powierzchnie leżące po stronie przeciwnej niż uderzenie. Pęknięcie rozpoczyna się na najdalszej i najbardziej rozciągniętej powierzchni poprzez tworzenie promienistych rys. Druga z szyb pęka zaraz potem. Warstwa polimerów rozciąga się wówczas i absorbuje energię uderzenia zapobiegając całkowitemu rozpadowi się szyby.

mniane przez Griffitha defekty powierzchniowe zaczynają rozprzestrzeniać się w kierunku warstwy pośredniej i promieniście rozbiegać od punktu zderzenia tworząc znany obraz zbitej szyby. Mimo że warstwa polimerów uniemożliwia pęknięciu bezpośrednie dotarcie do drugiej warstwy szkła, i ta po chwili pęka pod wpływem rosnących napięć rozciągających. Rysy powstające w obu szybach nie muszą się jednak pokrywać, co zmniejsza ścinanie warstwy pośredniej podczas jej rozciągania absorbującego energię uderzenia. Własności warstwy polimerów muszą być starannie dobrane, by zoptymalizować rozmiary tych zjawisk.

Jak powstają szyby samochodowe

Szko używane do produkcji szyb samochodowych składa się zwykle z tlenku krzemu z domieszkami tlenków sodu, magnezu i wapnia. Szyby wycina się z tafli o grubości od 1,5 do 2,5 mm, a powstające ostre krawędzie gładko szlifuje dla ułatwienia dalszego posługiwania się nimi i dodatkowo również zmniejszenia liczby defektów na brzegach. Dodatki takie jak czarne paski wzdłuż brzegów, ogrzewacze tylnych szyb i znaki identyfikacyjne są naklejane na szkło, utwardzane ciepnie lub przez promieniowanie nadfioletowe i następnie zatapiane.

Ostateczny kształt szyb powstaje w dwóch różnych procesach: osiadania i wytlaczania. Osiadanie stosowane jest w produkcji laminowanych polimerami szyb przednich. Dwie warstwy szkła przełożone warstwą żaroodporną układane są w formie o kształcie identycznym z końcowym kształtem szyby, a następnie przesuwane w piecu, gdzie różne ich części osiągną różne, ściśle kontrolowane temperatury, w wyniku czego szkło „osiada” przybierając wymagany kształt. Następnie szyba jest ostrożnie chłodzona dla uniknięcia naprężeń. W końcu obie warstwy są czyszczone i składane z rozdzielającą je warstwą PVB (skrót od polyvinylo-butérate – maślan poliwinylu). Gotowa szyba jest umieszczana w worku, z którego odpompowywane jest powietrze i podgrzewana, by PVB przywarło do szkła – ma ona potem twardość szkła i wytrzymałość plastiku.

Tłoczenie używane jest częściej przy produkcji szyb tylnych i bocznych – zwykle mających bardziej wygięte kształty i podlegających hartowaniu. Wkrótce jednak może być ono niezbędne i przy produkcji szyb przednich wraz z rozpowszechnianiem się ich bardzo zaokrąglonych kształtów.

Warstwa pośrednia zwiększa drogę, na której następuje wyhamowanie uderzającego ciała i powstrzymuje je od przebiccia szyby. Oba czynniki zmniejszają rozmiary obrażeń; dla osoby znajdującej się w zderzającym się pojeździe jest też zwykle korzystniejsze, by pozostała w jego wnętrzu. Dodatkowo, dzięki warstwie pośredniej, odłamki szkła utrzymywane są razem, co zmniejsza oczywiście ryzyko skaleczeń.

Podczas gwałtowniejszych zderzeń giętkość warstwy polimerowej izoluje od siebie obie warstwy szkła. W tym przypadku rozciągana powierzchnia uderzonej tafli szklanej, tj. powierzchnia stykająca się z warstwą pośrednią, jest odkształcana najsilniej i pęka jako pierwsza. Końcowy rezultat jest jednak w zasadzie taki sam.

Tłoczeniu poddawane są zwykle pojedyncze kawałki szkła o grubościach między 3,2 i 5 mm. Szklany element przesuwany na rolkach w piecu i ulega podgrzaniu. Miękka szyba jest następnie wciskana na wypukłą formę, podczas gdy jej brzeg jest unieruchomiony. Po uzyskaniu właściwego kształtu szkło jest szybko chłodzone, dzięki czemu utwardza się najpierw powierzchnia, co pozwala na odprężenie miękkiego jeszcze rdzenia.

Gdy środek zaczyna twardnieć, szkło jest wolne od naprężeń, a temperatura warstw środkowych wynosi około 590°C, o około 150°C więcej niż na powierzchni. W czasie dalszego stygnięcia środek kurczy się bardziej niż warstwa powierzchniowa, a więc zastyga rozciągnięty, podczas gdy powierzchnia zastyga ściśnięta. Nim taka szyba pęknie, muszą zostać przezwyciężone naprężenia ściskające na powierzchni, co zwiększa wytrzymałość o około 100 MPa. Wewnętrzne naprężenia rozciągające, sięgające 50 MPa, powodują, że każdy defekt osiagający obszar ich występowania rozprzestrzenia się bardzo gwałtownie, powodując rozprysnięcie się szkła na drobne, gładkie i dlatego niegroźne odłamki.

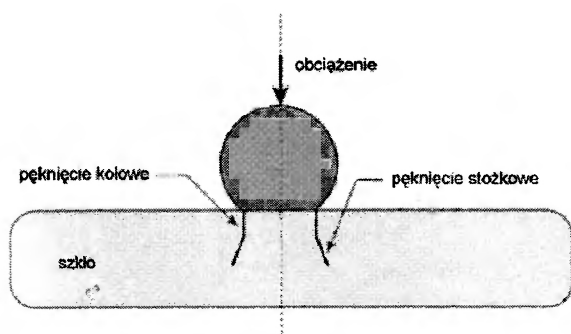
W czasie produkcji szyb szkło jest wielokrotnie czyszczone, usuwane są też wszelkie defekty, a ciągłe pomiary pozwalają kontrolować podstawowe własności, takie jak kształt i przejrzystość. Z tego względu ważne jest użycie szybko działających urządzeń pomiarowych: mechanicznych czujników kształtu, mierników zniekształceń optycznych i wykrywających defekty skanerów laserowych. Ważne jest też odpowiednie oprogramowanie pozwalające na szybkie podjęcie decyzji, czy znalezione błędy nie przekraczają normy, oraz pomagające optymalizować proces produkcyjny.

4. Małe, ostre przedmioty

Bardziej skomplikowany przebieg mają zderzenia z mniejszymi, twardszymi przedmiotami, takimi jak żwir czy odpryski kamienia, poruszającymi się z prędkościami przewyższającymi 15 m/s (ok. 50 km/h). Szyba uderzona kawałkiem drewna lub innym dosyć miękkim i dużym przedmiotem, rozpada się w wyniku ugięcia. Tępe pociski, takie jak gładkie kamyki, prowadzą do powstawania stożkowych pęknięć, podczas gdy ostre odpryski skalne mogą tworzyć głębokie szczeliny. W zależności od typu pocisku działa jeden z tych mechanizmów lub ich mieszanina.

Zderzenie z tępym obiektem może być modelowane w ramach znalezionej przez Hertza roz-

kładu naprężeń w dwóch ściskanych kulach, gdy jedna z nich ma nieskończony promień (rys. 4). Obszar bezpośrednio pod pociskiem podlega ściskaniu, zaś tuż poza krawędzią obszaru styczności materiał jest rozciągany. Gdy naprężenia są dość silne, by spowodować narastanie defektów powierzchniowych (wg scenariusza Griffitha), wzdłuż granicy styku powstaje kołowe pęknięcie rozprzestrzeniające się w głąb szkła jako „stożek Hertza”. Warstwa pośrednia zapobiega przeniknięciu pęknięcia do drugiej tafli szklanej, a stożkowy kształt zwiększa powierzchnię, na którą rozkładają się naprężenia, co zapobiega przebiciu szyby.



Rys. 4. Uderzenie tępogo obiektu. Bezpośrednio pod miejscem uderzonym występują naprężenia ściskające, a tuż za krawędzią obszaru uderzonego szkło jest rozciągane. Może to spowodować rozprzestrzenianie się jednego z defektów Griffitha: rysa powstaje wokół krawędzi styczności z pociskiem i wnika w głąb materiału, tworząc rozszerzający się stożek.

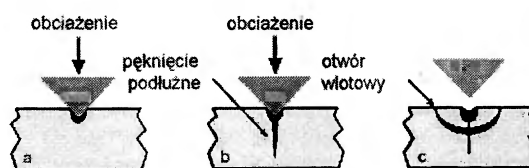
Spiczasty kamień powoduje z kolei plastyczne odkształcenie szkła w pobliżu ostrza pocisku. Pęknięcie rozprzestrzenia się prostopadle do szyby, pogłębiając istniejący już wcześniej lub tworząc nowy defekt, co prowadzi do powstania „otworu wlotu” (rys. 5). O ile nie występują dodatkowe naprężenia, otwór ten ma kształt półkola o średnicy leżącej na powierzchni szyby. Gdy kamień odskakuje, otwór wlotu częściowo się zamyka, czemu towarzyszy powstawanie podłużnych rys. Jeśli sięgają one aż na powierzchnię, to doprowadzają do odprysnięcia od niej niewielkiego kawałka szkła.

W obu tych typach zderzeń obciążenie przyłożone jest do niewielkiej powierzchni zbyt szybko, by reszta szyby zdążyła się ugiąć. Uderzenie wywołuje jednak falę rozchodzącą się w szkło. Fali tej towarzyszy powstawanie naprężeń rozciągających tylną powierzchnie uderzonej warstwy, co może

spowodować jej radialne pęknięcie i w następstwie dalsze ugięcie i rozpad drugiej warstwy szkła poprzez radialne pęknięcia na jej tylnej powierzchni. Im grubsze szkło, tym mniej podatne na pęknięcie pod wpływem ugięcia i dlatego grubość zewnętrznej warstwy szkła przekracza zwykle 2 mm.

Rozważane powyżej scenariusze to tylko przybliżenia sytuacji rzeczywistych, w których zwykle wiele różnych procesów przebiega równolegle. Producenci szkła wspólnie z uniwersytetami, takimi jak Cambridge w Wielkiej Brytanii, czy Pennsylvania State i Rensselaer w Stanach Zjednoczonych, nadal pracują nad lepszym zrozumieniem sposobów reakcji szkła i szyb samochodowych na różne typy uderzeń oraz mechanizmów powstawania i rozwoju uszkodzeń poprzedzających ich pęknięcie.

Szyby boczne i tylne zwykle nie są laminowane. Są za to poddawane hartowaniu w celu uzyskania naprężeń ściskających w pobliżu powierzchni i rozciągających w środku (patrz okienko). Dzięki temu maleje prawdopodobieństwo, że naprężenia powierzchniowe występujące podczas uderzenia doprowadzą do powstania rys, za to silnym zderzeniem towarzyszy tworzenie pęknięć sięgających obszaru poddanego naprężeniom rozciągającym w warstwach środkowych szyby. Naprężenia rozciągające sprzyjają rozprzestrzenianiu i rozgałęzianiu się rys, co doprowadza do rozpadnięcia się szyby na wiele małych i względnie niegroźnych odłamków.



Rys. 5. a) Po uderzeniu ostrym przedmiotem, szkło deformuje się plastycznie w pobliżu ostrza. b) Powstaje półkoliste pęknięcie środkowe, prostopadle do powierzchni. c) To pęknięcie zamyka się, gdy pocisk odskakuje i wtedy powstają boczne rysy mogące prowadzić do odprysnięcia kawałka szkła.

Hartowane szyby nie są przystosowane do zatrzymania pasażera w razie wypadku i dlatego próbuje się zastępować je szybami laminowanymi warstwą polimeru. Szczęśliwie, szyby boczne i tylne są mniej narażone na uczestniczenie w zderzeniu czołowym, co zmniejsza ryzyko, że siła ude-

zenia wystarczy do spowodowania rozprysnięcia szkła.

5. Warunki ekstremalne

Wymagania, którym muszą sprostać szyby w samolotach, są znacznie poważniejsze. Nie tylko powinny być możliwie najlżejsze, ale muszą także wytrzymać zderzenia z ptakami i kamykami następujące przy wielkich prędkościach, często towarzyszące startom i lądowaniom. Co więcej, powinny wytrzymywać wielokrotne, gwałtowne zmiany ciśnienia i temperatury. Ptaki stanowią tu szczególne zagrożenie ze względu na ich dużą masę i wynikające z niej wielkie siły uginające szkło podczas zderzenia. Konieczne jest użycie wielu warstw szkła i plastiku, aby uzyskać dostateczną wytrzymałość, a dosyć cienkie warstwy szkła są przy tym dodatkowo hartowane dla zwiększenia ich odporności na pęknięcie.

Innym skrajnym przykładem jest szkło kuloodporne. W tym przypadku dla zaabsorbowania energii uderzenia potrzeba wielu grubych warstw szkła i polimerów (często są to poliwęglany). Kula najpierw tworzy stożek Hertza biegnący przez całą warstwę zewnętrzną, a jednocześnie zwalnia przekazując swój pęd materiałowi wewnątrz stożka. Powstający stożek zwiększa powierzchnię nacisku na najbliższą warstwę polimerową oraz dalsze warstwy szklane. Przechodzeniu pocisku przez obszar stożka towarzyszy kruшение zewnętrznej warstwy szkła na drobniejsze odłamki, sprzyjające rozbiciu kuli i dodatkowo zwiększające obszar podlegający obciążeniom, zaś leżąca poniżej warstwa polimerów absorbuje energię kinetyczną powstałych fragmentów. Jeśli zewnętrzna para szkło-polimer nie wystarczy do zatrzymania pocisku, to cały proces powtarzany jest w następnych dwóch warstwach itd.

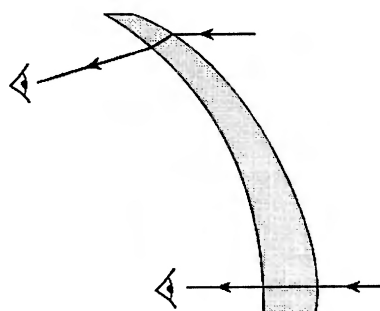
Uderzenie wzbudza fale powierzchniowe (Rayleigha) i fale objętościowe w szkłe. Towarzyszące im odkształcenia mogą być wystarczająco silne, by wytwarzać kołowe pęknięcia na powierzchniach zewnętrznych i odpryski materiału od powierzchni wewnętrznych. Z tego powodu najbardziej wewnętrzna warstwa jest często wykonana z poliwęglanu pokrytego poliuretanem – materiałem odpornym na zarysowanie i samoreperującym się. Ugięcie szkła w wyniku uderzenia może wtedy spowodować pęknięcie nawet wszyst-

kich warstw, a mimo to szyba powinna pozostać cała.

Skoro szkło jest tak kruche, to po co w ogóle używać go do robienia szyb samochodowych (i lotniczych)? Główną zaletą szkła jest jego twardość, dzięki której nie ulega ono zarysowaniu przez drobny pył i piasek. To właśnie odporność na ścieranie, obok wielkiej trwałości i sztywności szkła, czyni je materiałem przydatniejszym na szyby niż twarde polimery, takie jak poliwęglany, i będzie tak jeszcze w dającej się przewidzieć przyszłości.

6. Dalsze problemy warte uwzględnienia

Poza bezpieczeństwem, ważne jest też, by kierowca i pasażerowie mieli wyraźny i nie zniekształcony obraz świata zewnętrznego. Zniekształcenia obrazu zwykle nie stanowią problemu przy patrzeniu na wprost, trudniej jest ich jednak uniknąć w pobliżu skraju pola widzenia lub podczas patrzenia przez szybę pod znacznym kątem (rys. 6).



Rys. 6. Zakrzywione szyby mogą prowadzić do zniekształceń obrazu. Gdy kierowca patrzy na wprost (dół rysunku), światło przechodzi po linii prostej i nie ma zniekształcenia. Gdy jednak spojrzy przez szybę pod kątem (góra), załamania na obu powierzchniach szkła oznacza większe odchylenie dla promieni padających pod większym kątem, co prowadzi do zniekształceń obrazu. Zjawisko to może być zminimalizowane, jeśli zadbamy, aby obie powierzchnie były możliwie jak najbardziej równoległe.

Utrzymanie tej samej jakości obrazu w całym polu widzenia wymaga uzyskania możliwie dobrej równoległości wszystkich warstw składowych szyby wzdłuż całej jej powierzchni. Inżynierowie optycy wykazali się dużą pomysłowością przy opracowywaniu używanych tu metod badania zniekształceń obrazu.

Następnym ważnym zagadnieniem jest wygląd, gdyż to on decyduje o powodzeniu samochodu u klientów. Nowe modele szyb muszą uwzględniać pomysły projektantów – muszą nie tylko dobrze funkcjonować, ale także dobrze wyglądać. Wymagane są coraz wymyślniejsze kształty – „otaczające” kierowcę – i coraz większe nachylenie szyby dla zmniejszenia oporów powietrza oraz uzyskania bardziej opływowego wyglądu. Nowe projekty zwiększają powierzchnię szyb, by uzyskać większą ilość światła i wrażenie przestronności wnętrza, a do tego szkło musi być coraz cieńsze, by samochód był lżejszy.

Nie koniec na tym – szyba musi być też jak najtańsza. Nauka dostarcza trzech sposobów redukcji kosztów: modele komputerowe pomagają skrócić czas projektowania, pomagając podnieść estetykę i poprawiając własności użytkowe; kontrola procesu produkcji pozwala zwiększyć wydajność i podnieść jakość; rozwijane są też prostsze metody montażu szyb w pojazdach.

7. Spojrzenie w przyszłość

Okna samochodowe są nieustannie udoskonalane w celu zwiększenia ich funkcjonalności. Przykładowo, montaż usprawniany jest przez zatapianie krawędzi szyby w listwy z tworzyw sztucznych zawierające np. zawiasy i zamek tylnych drzwi, co zmniejsza liczbę części do złożenia, a więc liczbę czynności podczas montażu. Szyba może być przyklejana wprost do karoserii, albo przykręcana do profilowanych zawiasów, by zmniejszyć koszty produkcji.

Dla zmniejszenia zużycia paliwa, masa samochodu może być zredukowana poprzez użycie na szyby boczne i tylne cienkich warstw szkła przekładanych warstwą polimerów – podobnie, jak to się robi w samolotach. Warstwowe szkło używane jest również w szybach bocznych i tylnych dla zwiększenia bezpieczeństwa pasażerów i odporności na włamanie. Wygodę pasażerów zwiększają szklane dachy o przepuszczalności światła zmieniającej się wraz z pogodą, podwójne szyby boczne redukujące hałas i dające lepszą niż pojedyncze izolację cieplną, oraz pokrywanie szyb warstwami odbłaskowymi zmniejszającymi nagrzewanie wnętrza przez promienie słoneczne.

A co z dodatkowym wyposażeniem? Ogrzewacze tylnych szyb stały się codziennością, a pojawiają się już i przednie szyby ogrzewane cienkimi drucikami. Dodawane są i dalsze funkcje. Ogrzewacz szyby może już spełniać dodatkową rolę anteny radiowej, zastępując antenę zewnętrzną, powiększającą opór powietrza i łatwo ulegającą uszkodzeniom. W następnym kroku dodane zostaną anteny telewizji, telefonii komórkowej, informacji o sytuacji na drogach oraz satelitarnych systemów naprowadzania na ustaloną wcześniej trasę.

Na szybach mogą też znajdować się urządzenia do zdalnego uiszczania opłat za użycie autostrady lub otwierania wjazdu na zastrzeżone parkingi. Już teraz urządzenia takie mogą być mocowane do szyb, a następne generacje szyb okiennych muszą zapewniać niezakłóconą komunikację poprzez wymianę sygnałów radiowych, wiązek podczerwieni i innych.

Patrząc w dalszą przyszłość, możemy spodziewać się przejścia stosowanej już w samolotach techniki używania szyb także jako monitorów zwiększających ilość informacji dostarczanej kierowcy. Najnowsze badania pozwalają sprzęgać takie wyświetlacze z kamerami na podczerwień polepszającymi widzialność o zmroku i podczas mgły.

Jak z tego widać, wyprodukowanie szyby samochodowej jest o wiele trudniejsze niż mogłoby się Wam wydawać. Okna w każdym samochodzie, autobusie, pociągu, czy też samolocie muszą być przyjemne dla oka, wygodne do patrzenia przez nie, a w razie najgorszego, także możliwie najbezpieczniejsze dla pasażerów. Fizyka dostarcza tu kluczowych informacji, które pozwalają zaspokoić sprzeczne nieraz wymagania i zoptymalizować własności szkła.

Tłumaczył *Andrzej Majhofer*

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

Lektura uzupełniająca

- R.H. Doremus, *Glass Science* (Wiley, Chichester 1973).

O błędach fizyków*

Pierre-Gilles de Gennes

Chaire de Physique de la Matière Condensée, Collège de France, Paris, Francja

On physicists' errors

The inaugural lecture of a series delivered in 1971–72 at the Collège de France.

Poniższy tekst oryginalnego wykładu P.-G. de Gennesa (laureata Nagrody Nobla z fizyki w 1991 r.) powstał blisko 30 lat temu. Wydaje się jednak, że niewiele stracił na aktualności i może zainteresować Czytelników. Otrzymaliśmy go od Autora za pośrednictwem Ryszarda Kutnera z Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW.

Redakcja

Panie Przewodniczący,
Szanowni Koledzy,
Panie i Panowie!

Dla alchemików powietrze i ogień były nieuchwytnie i przenikliwe, natomiast ziemia oraz woda były dwoma stosunkowo dobrze znanymi elementami, które można było obrabiać i przekształcać. Dzisiaj gazy oraz ich spalanie są już praktycznie pozbawione aury tajemniczości, natomiast materia skondensowana, ze swą nazwą pachnącą laboratorium, wciąż jeszcze kryje wiele sekretów. Zalicza się do niej kryształy, szkła, ciecze oraz ciała o nowych postaciach, których dopiero zaczynamy się domyślać.

Ich wspólną cechą jest ciężar – zawsze chodzi o obiekty posiadające masę. W każdym kryształku czy każdej kropli wody znajduje się fantastycznie wielka liczba atomów, położonych blisko siebie i silnie oddziałujących z sąsiadami. Fizyka fazy skondensowanej jest więc zasadniczo nauką o zjawiskach kolektywnych. Zmieniła ona głęboko praktyczne strony naszego życia wła-

śnie dlatego, że substancje, którymi się zajmuje, są elastyczne – można je przekształcać. Również dlatego zbierała przesadzone pochwały i podlegała nadmiernie ostrej krytyce, a jej przyszłość stała się wręcz niepewna. Chciałbym skorzystać z zaferowanej okazji i przedyskutować niektóre aspekty tej niepewności.

Aby nabrać odpowiedniej perspektywy, potrzebnej, by docenić prawdziwą wartość gmachu tej nauki, trzeba cofnąć się do końca XIX w. Wznoszono wtedy wieżę Eiffla, lecz zupełnie nie wiadomo, dlaczego metale – np. żelazo – przewodzą prąd elektryczny i są nieprzezroczyste, a inne ciała – jak diament lub sól kamienna – są przezroczystymi izolatorami. Były wówczas tysiące takich zagadek. I tak, od ponad 2 tysięcy lat znano magnetyt, a od 600 lat potrafiono – przynajmniej w naszym zachodnim świecie – robić busole. Od czasów Coulomba, żyjącego o cały wiek wcześniej, dokładnie wiadomo, jak przyciągają się lub odpychają dwa magnesy; czym jednakże jest magnes? Na to pytanie wciąż nie było odpowiedzi.

*Tekst pierwszego z cyklu wykładów, wygłoszonego w Collège de France dnia 10 listopada 1971 r., został przetłumaczony za zgodą Autora [Translated with permission]. Tytuł dodany przez tłumacza (przyp. Red.).

Najbardziej nieprzenikniona tajemnica miała się zresztą pojawić jeszcze nieco później. W roku 1911 holenderski fizyk Kamerlingh Onnes, który jako pierwszy potrafił wytwarzać bardzo niskie temperatury, mierzy opór elektryczny nitki rtęci. Ku swemu wielkiemu zdziwieniu stwierdza, że poniżej pewnej temperatury krytycznej opór ten gwałtownie spada do zera – prąd elektryczny, przepuszczony przez pętlę z rtęci, będzie płynął bez końca. Całkowity brak tarcia wewnętrznego, czy też, jak mówimy dzisiaj – nadciekłość – był faktem niezwykle szokującym dla fizyka klasycznego. A przy tym nie był to przypadek odosobniony. To samo zjawisko zostanie później wykryte w niemal wszystkich metalach, a także w jednej cieczy – helu-4.

W sumie przy końcu okresu klasycznego istnieje już uporządkowany katalog makroskopowych właściwości materii. Jednakże każda pozycja katalogu jest w nim opisana tylko poprzez swoje aspekty zewnętrzne.

Wszystko zmienia się po roku 1895 dzięki przeprowadzonym nowym doświadczeniom w skali mikroskopowej. Zostaje odkryty elektron, zbadana budowa atomu. Na podstawie tych danych powstaje nowa fizyka – mechanika kwantowa, a dzięki niej materia skondensowana z wolna staje się zrozumiała.

Einstein i Debye podają kwantową interpretację ciepła właściwego, A.H. Wilson wyjaśnia różnicę między metalami a izolatorami, a Heisenberg przedstawia pierwszy opis ferromagnetyzmu.

Nadciekłość jest bardziej nieustępliwa. Aliści w proroczej książce, napisanej w 1950 r., Fritz London domyśla się już jej mechanizmu. Fakt, że w pewnych układach w niskiej temperaturze liczne cząstki znajdują się w tym samym stanie, sprawia, że zjawiska kwantowe można obserwować w skali makroskopowej, czyli jakby gołym okiem. Waga przesłania Londona dość wolno dociera do społeczności naukowej. Jednakże wkrótce potem Landau i Feynman na przykładzie helu tworzą pojęcie wzbudzenia elementarnego i podają interpretację szerokiej gamy jego dziwnych właściwości. Wreszcie, w roku 1957, Leon N. Cooper, młody, pełen fantazji uczony zauważa, że w metalach wszelkie przyciąganie między elektronami, choćby najslabsze, powinno prowadzić do ich łączenia się w pary; od-tąd teoretyczne i praktyczne zrozumienie zjawiska

nadprzewodnictwa w metalach czyni błyskawiczne postępy.

We wszystkich tych pracach teoretycznych jest piękno, które trudno opisać. Niektóre strony u Feynmana o tym, co nazywamy wirami w helu, po upływie 15 lat wciąż jeszcze zachowuję w pamięci jak poemat. Myślę także o artykule Landaua i Ginzburga, którzy zupełnie inną drogą niż London dochodzą do fundamentalnej idei nadciekłości wraz z jej wszystkimi najważniejszymi konsekwencjami, uświadomionymi i wykorzystanymi dopiero 10 lat później. Historyczne znaczenie tej pracy, która stworzyła pewną metodę i pewien styl, jest na skromną miarę naszej dyscypliny porównywalne z rolą, spełnianą w historii opery przez *Ariannę* Monteverdiego. Podobnie jak na dworze w Mantui, doświadczamy chwilami boskiego uczucia zaskoczenia, gdy widzimy, jak rodzi się nowa sztuka. Co jeszcze ważniejsze, mamy możliwość być jednocześnie widzami i aktorami. Kwestia składająca się z trzech słów wystarcza, by nas uszczęśliwić, lecz nawet owa najbardziej podrzędna rólka wymaga wielu prób.

Szansą dla naszego pokolenia był fakt, że zaczęliśmy się zajmować fizyką już po wojnie, a więc w stosunkowo spokojnych warunkach, i że mogliśmy cierpliwie wciągać się do lektury prac kogoś takiego, jak Feynman czy Landau. Mieliśmy także szczęście, że znaleźliśmy mistrzów; niektórym z nich, np. Jeanowi Lavalowi, udało się podtrzymać tradycję uprawiania nauki w wyniszczonym kraju. Inni, młodszy i w większości wykształceni za granicą, wracali do kraju, by przynieść ze sobą wiedzę o faktach i metodach. Nazywali się Abrahama, Aigrain, Bloch, Friedel, Herpin, Messiah. W dużej mierze to właśnie im nasza francuska szkoła naukowa zawdzięcza odrodzenie. Jestem głęboko szczęśliwy, że mogę dziś powiedzieć, jak wiele dały mi osobiście studia u nich oraz ich przykład.

Chciałbym zresztą do ich nazwisk dołączyć nazwisko Pani Cécile de Witt, założycielki szkoły w Les Houches. Szkoła ta powstała właśnie w czasach, o których mówię. Pani de Witt sprowadzała do górskich chat w dżdżystych Alpach studentów, takich jak my, i kazała im być razem ze słynnymi uczonymi, takimi jak Pauli, Peierls lub Chew. Trzeba przyznać, że często nie potrafiliśmy przeniknąć ścieżek myślenia kogoś takiego jak Pauli. Ale w końcu sierpnia wyjeżdżaliśmy z Les

Houches z głowami rojącymi się od nowych pomysłów. Powołanie wielu spośród nas skryształowało się właśnie podczas takich letnich miesięcy. Niech Madame de Witt znajdzie tu świadectwo naszej wdzięczności.

Z drugiej jednak strony, przedstawiając tak jak przed chwilą parę wielkich tematów i wielkich nazwisk naszej nauki, stworzyłbym przesadnie harmonijny i ustabilizowany jej obraz, w którym odkrycia układają się w bezkonfliktowy ciąg; powstałoby niebezpieczeństwo postrzegania fizyki jako sielskiego sadu, uprawianego według prostych reguł, dzięki którym drzewo wiedzy regularnie wydaje owoce. A przecież taki obraz jest fałszywy. Jak pisał Bachelard¹:

„Siły psychiczne działające w procesie naukowego poznania są bardziej niejasne, bardziej zadyszane, bardziej chwiejne niż sobie wyobrażamy, gdy je oceniamy z zewnątrz, na podstawie książek, gdzie już gotowe czekają na czytelnika”.

W istocie nie ma ogrodu nauki, jest raczej dżungla, po której błąka się koczownicze plemię, uciekające z polaci, które właśnie samo wypaliło. Warto podkreślać trudności, na jakie napotyka rozwój nauki, opisywać porażki i wylizywać przeskody.

Przede wszystkim trzeba zwrócić uwagę na szczególną słabość naszej fizyki – brak pewnego rodzaju interpretacji ilościowych. Postaram się wyjaśnić to spostrzeżenie na przykładzie metali nadprzewodzących. Dzięki pracom, które już przytaczałem, rozumiemy dość dobrze mechanizm tego niezwyklego stanu nadciekłego. Jednakże mimo odważnych wysiłków nie potrafimy jeszcze wyjaśnić w całości zadowalający sposób, dlaczego taki metal jak cyna jest nadprzewodnikiem, natomiast inny – miedź – „nie chce” się nim stać nawet w najniższych temperaturach. Pamiętam międzynarodową konferencję przed ośmiu laty, na której dwóch ekspertów zawzięcie dyskutowało tę kwestię. Pierwszy (teoretyk) gotów był się założyć, że żaden metal alkaliczny nigdy nie będzie nadprzewodnikiem. Drugi (eksperymentator) utrzymywał – na zasadzie głębokiej wiary – że wszystkie metale bez wyjątku powinny wyka-

zywać nadciekłość, pod warunkiem, że się je wystarczająco ochłodzi. Dzisiaj kwestia ta nie jest jeszcze rozstrzygnięta, lecz nasz eksperymentator zdobył punkt, ponieważ znaleziono metal alkaliczny (cez), który pod wysokim ciśnieniem staje się nadprzewodnikiem. Taką siłę czysto intuicyjnego przekonania spotyka się częściej niż można by przypuszczać; rozwój naszej wiedzy ilościowej jest powolny.

Chociaż niektóre zagadki materii skondensowanej już się wyjaśniły, to jednak inne bronią się uporczywie przed naszymi wysiłkami; przytoczę kilka takich przykładów, wybranych spośród moich ulubionych.

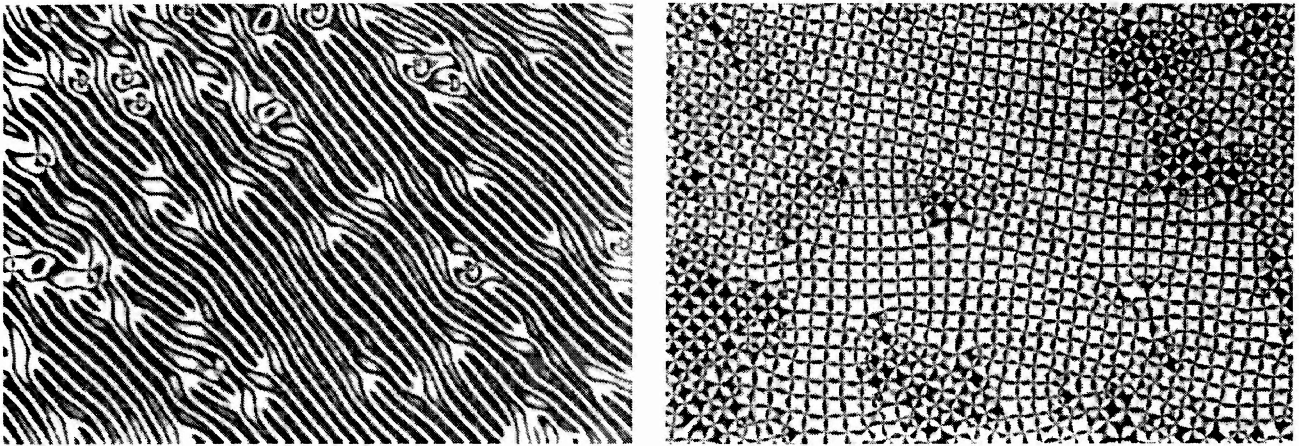
Pierwszy przykład dotyczy przemiany cieczy w gaz. Przed prawie dwoma tysiącami lat zbudowano w Aleksandrii pierwszy parowy kołowrót. Ponad 200 lat temu maszyna Jamesa Watta, oparta na tej samej zasadzie, dała początek rewolucji przemysłowej. Można by zatem pomyśleć, że przemiana wody w parę podlega doskonale znanemu mechanizmowi. Nic podobnego! Szczegóły tego procesu nie są jeszcze zrozumiałe, zwłaszcza w sąsiedztwie tzw. punktu krytycznego, gdy ciecz waha się między dwoma niemal równoważnymi stanami. Pomimo zastosowania niezwykle subtelnych środków doświadczalnych, jak światło laserowe, i znacznych wysiłków teoretycznych problem pozostaje otwarty.

Są i dalsze przykłady. Wszyscy uczyliśmy się w szkole, że dane ciało może istnieć tylko w trzech postaciach: ciała stałego, cieczy i gazu. Jednakże w rzeczywistości w wybranych substancjach stwierdzamy obecnie występowanie nawet czterech nowych faz. Owe „ciekle kryształy”, jak nazwał je Lehmann, są obiektami jednocześnie pasjonującymi i pięknymi. W charakterze przerywników pokażemy kilka ich zdjęć, przede wszystkim gwoli przyjemności dla oczu².

Inną uporczywą tajemnicę można spotkać w hydrodynamice. Wszyscy widzieliśmy za filarami mostu lub w kilwaterze za statkiem skłębione przepływy wody, którym nadano piękną nazwę turbulencji. Odnajdujemy je zresztą w atmosferze Ziemi oraz we wnętrzu gwiazd; mają kluczowe

¹ Gaston Bachelard (1884–1962), francuski filozof i epistemolog. W dziele z 1938 r. *La Formation de l'esprit scientifique* analizował mechanizmy zbierania wiedzy naukowej. Jego dewiza brzmiała: „nie wierzyć własnym oczom” (przyp. tłum.).

² W niniejszym przekładzie reprodukuje zdjęcia wykonane przez Olega D. Lavrentovicha, Mary E. Neubert i L.C. Chiena z Uniwersytetu stanu Kent (<http://www.lci.kent.edu>), wybrane przez tłumacza (przyp. Red.).



Rys. 1. Cienka warstewka nematyka ($0,4 \mu\text{m}$) umieszczona na izotropowym podłożu. Prążkowana struktura jest wynikiem równowagi wewnętrznych sił sprężystych nematyka i sił wiążących go do podłoża. Po lewej: struktura o jednowymiarowej periodyczności. Po prawej: struktura dwuwymiarowa, utworzona wskutek występowania na międzypowierzchni defektów punktowych.

znaczenie w meteorologii i astrofizyce, podobnie jak dla konstrukcji samolotów. A jednak mimo znacznych wysiłków teoretyków, zwłaszcza genialnych prac Kołmogorowa, nie udało się osiągnąć naprawdę zadowalającego zrozumienia turbulencji.

Także chemicy mają swoje tajemnice, szczególnie w badaniach polimerów, substancji utworzonych z długich łańcuchów, które pod nazwą kauczuków lub plastików zmieniają obecnie nasze życie na lepsze i na gorsze. W większości zastosowań łańcuchy są splątane w bezładny sposób. W fazach ciekłych mają ponadto zdolność ślizgania się wzajemnie po sobie. Jednym z kluczowych problemów jest sposób opisu ich ruchów – jak zwija się i rozwija takie ogromne kłębowisko. Nie potrafimy jeszcze podać odpowiedzi na to pytanie. Ostatnio udało się jedynie rozwiązać problem zredukowany: opisać ruch jednego węzła, przemieszczającego się w przypadkowy sposób we wnętrzu nieożywionego, nieruchomego kłębowiska. Ale między tym uproszczonym problemem a zagadnieniem globalnym rozciąga się wielka przepaść.

Te przykłady kwestii odłożonych na później, zaczerpnięte z ograniczonej dziedziny fizyki fazy skondensowanej, zwiastują już pewne słabości i ograniczenia naszej wyobraźni. Można je wykorzystać w nieco głębszy sposób, analizując błędy popełnione w najnowszej historii naszej dyscypliny, które wyraźnie zahamowały rozwój naszej wiedzy lub zmieniły jego kierunek. Nie cho-

dzi oczywiście o to, by rozdzielać tu pochwały lub krytyki. Jednakże nawet bardzo niepełne przypomnienie tych błędów wydaje mi się pod kilkoma względami pouczające: z punktu widzenia rozwoju nauki, ze względów dydaktycznych, wreszcie dla przedstawienia niektórych aktualnych problemów społeczności naukowców.

Pierwszy typ częstych i stosunkowo banalnych błędów wiąże się z mylnym bilansem poczynionych założeń. Tak oto widzimy, jak lord Rayleigh w skądinąd wspaniałym traktacie o akustyce dowodzi, że fale uderzeniowe nie istnieją. Ci spośród nas, którzy mają wątpliwy przywilej mieszkać w pobliżu lotniska, mogą codziennie przekonać się o niewystarczalności tego dowodu. Argumentacja Rayleigha zawierała w rzeczywistości ukrytą hipotezę – zakładała, że zjawiska dyssipacji można zaniedbać, tymczasem w równaniu opisującym fale uderzeniowe odgrywają one zasadniczą rolę.

Inna klasa błędów, których korzenie są głębsze, odpowiada następującemu schematowi: przedstawione zostaje pewne doświadczenie lub pewna teoria. Sugeruje ono (lub ona) – nie stwierdzając jednak tego z całą pewnością – istnienie nieoczekiwanego zjawiska, które zostaje zaakceptowane i nagłośnione, a jego konsekwencje są rozdmuchiwane, podczas gdy jego realność pozostaje w gruncie rzeczy niepewna. Taka deformacja powiększająca zasługuje na miano anamorfozy; oto jej świeży przykład. Przed kilku laty zespół fizykochemików ogłosił, że woda zagełszczona w ul-

tracienkich kapilarach ma anomalne właściwości – temperatura jej syntezy i wszystkie inne cechy fizyczne ulegają zmianie. Wszystko przebiega tak, jak gdybyśmy mieli do czynienia z „superwodą”, gęstszą i trwalszą niż jej faza zwyczajna. Z takiego punktu widzenia cała woda oceanów byłaby cieczą nietrwałą, gotową przekształcić się w „superwodę”, o ile tylko poddamy ją działaniu odpowiednich katalizatorów. Niektórzy chemicy kwantowi, teoretycy, ogłaszają natychmiast, że istnienie tej nowej fazy można wydedukować z ich spekulacji, i proponują odpowiednie wzory. Pojawiają się sugestie całego szeregu biologicznych, medycznych oraz wojskowych implikacji, a wielkie mocarstwa finansują przez kilka lat badania nad „superwodą”.

Dziś jest już rzeczą niemal pewną, że taka anomalna postać wody nie istnieje, a pierwsze obserwacje można było wytłumaczyć klasycznymi zjawiskami rozpuszczania i powierzchni międzyfazowych. Oto więc typowy przykład anamorfozy; pokazuje on, do jakiego stopnia może dzisiaj wykielkować, wyrosnąć i trwale się zakorzenić w łonie społeczności naukowej pewien mit. Pochodzenie takiego mitu jest niejasne. Niemniej jednak w tym konkretnym przypadku należy przytoczyć dość dziwny szczegół historyczny: na kilka lat przed opisanymi faktami pewien amerykański inżynier napisał w wolnych chwilach powieść fantastycznonaukową, której tematem była właśnie trwalsza postać wody o takich samych konsekwencjach. Ta koincydencja nie jest całkowicie przypadkowa. Skłaniam się raczej do wniosku, że „sen o superwodzie” jest nową odmianą snu alchemików o transmutacji, który stale tkwi w naszej podświadomości.

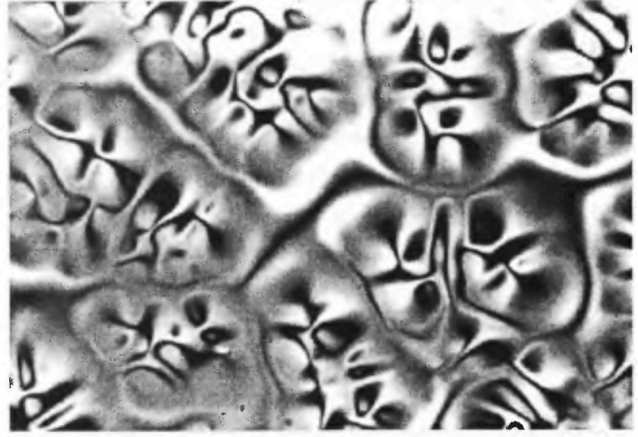
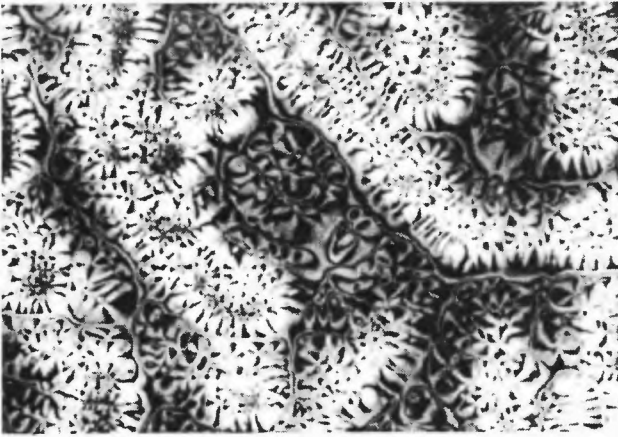
Można do pewnego stopnia powiązać anamorfozy doświadczalne z tym, co Bachelard nazywał barierą pierwszego doświadczenia. Można jednakże spotkać również anamorfozy teoretyczne.

Ogólnie rzecz biorąc, sporządzona przez Bachelarda lista barier epistemologicznych jest dla nas cennym, lecz z konieczności nie wykończonym narzędziem; jeśli chodzi o sposoby popełniania błędów, nasza wyobraźnia jest niestrudzona. Trzeba zwłaszcza dorzucić do tej listy błędy wynikające z nadmiaru erudycji, które spróbuję zdefiniować na przykładzie zapożyczonym z biografii wielkiego fizyka radzieckiego Landaua. Chodzi o problem substancji magnetycz-

nych, w których każdy atom ma własny moment magnetyczny. W niektórych takich materiałach, np. w żelazie, wszystkie momenty są sprzężone i mają tendencję do ustawiania się w tym samym kierunku. Kryształ jest wówczas magnesem, łatwo rozpoznawalnym dzięki swemu dalekosiędnemu działaniu. Jednakże większość kryształów zbudowanych z atomów magnetycznych nie wykazuje spektakularnych właściwości magnesu. Jest rzeczą naturalną wyobrazić sobie, że w takim przypadku momenty sąsiednich atomów układają się w przeciwnych kierunkach, tworząc uporządkowaną strukturę, która w sumie jest magnetycznie obojętna. Hipotezę takiego typu „antyferromagnetycznego” porządku wysunął w roku 1932 Néel; jego istnienie wykazano doświadczalnie znacznie później (ok. 1948 r.) za pomocą neutronów wytworzonych w jednym z pierwszych reaktorów badawczych. Tymczasem, jak się wydaje, Landau wpadł początkowo na ten sam pomysł co Néel, lecz zrezygnował z jego rozwijania, ponieważ dostrzegł poważną przeszkodę teoretyczną: według mechaniki kwantowej stan, w którym jeden moment magnetyczny jest skierowany w dół, a jego sąsiad do góry, nie jest stanem stacjonarnym – może ewoluować do bliźniaczego stanu, w którym pierwszy moment jest skierowany do góry, a drugi w dół. Taki proces wprowadza nieporządek do struktury Néela, więc Landau obawiał się, że koncepcja porządku antyferromagnetycznego jest pozbawiona sensu. Obecnie, po długotrwałych wysiłkach teoretycznych, wiadomo już, że w dużym kryształcie zjawiska kwantowe wprowadzają tylko niewielkie poprawki. Widać, że w tym przypadku erudycja była przeszkodą. Aby w roku 1932 rozwijać doświadczalne badania kryształów magnetycznych, trzeba było po prostu nie znać się na niuansach mechaniki kwantowej.

Inny rodzaj błędów wkrada się czasem wskutek metodycznego pragnienia prostoty. Jest oczywiście prawdą, że w większości przypadków podstawowe prawa przyrody wyrażają się za pomocą niezwykle związanej symboliki. Na przykład, po znalezieniu relatywistycznego równania propagacji elektronów Dirac zawsze powtarzał, że im prostszy i czystszy jest formalny opis zjawiska, tym większe są szanse, że jest on dokładny.

Są jednakże sytuacje, gdy ten aksjomat zawodzi. Tak więc całe pokolenie fizyków twierdziło, że nasz świat nie odróżnia lewej strony od pra-



Rys. 2. Cienka warstewka nematyka ($0,4 \mu\text{m}$) umieszczona na izotropowym podłożu. Po lewej: widoczna tekstura jest związana z tzw. uporządkowaniem homeotropowym. Po prawej: struktura w przypadku tzw. uporządkowania hybrydowego.

wej, nie starając się wcale sprawdzić tej hipotezy za pomocą starannie opracowanych doświadczeń, lecz po prostu ją przyjmując, ponieważ była najprostsza. Potrzeba było 20 lat i wnikliwej analizy Chen Ning Yanga i Tsung-Dao Lee, by zakwestionować taką postawę. Okazało się, że na poziomie tzw. oddziaływań słabych nasz świat – na mocy podstawowych praw fizycznych – różni się od swego obrazu w lustrze, jest więc mniej symetryczny niż sądziliśmy. Przypisywanie mu wyższej symetrii wiązało się z rodzajem intelektualnej wygody.

W dziedzinie fazy skondensowanej Landau dał nam także przykład takiego skrajnie upraszczającego podejścia; myślę o jego modelu przemian fazowych, którym towarzyszy zmiana symetrii. Z koncepcyjnego punktu widzenia model ten jest najoszczędniejszy, najbardziej przejrzysty, jaki można sobie wyobrazić. Niemniej jednak po długich badaniach obecnie już wiemy, że jest w ogólności błędny. Pozostaje wciąż znakomitym narzędziem dydaktycznym – będziemy się do niego często odwoływać podczas tych wykładów – lecz spowodował także szkodliwe skutki. Znam dzieło o doświadczalnej fizyce magnetyzmu, poświęcone w całości sprawdzaniu owego modelu; każdy wynik pomiaru jest interpretowany przez jego pryzmat i w rezultacie na podstawie prawdziwych danych doświadczalnych powstała nieprawdziwa książka. Musimy zatem bez ustanku pamiętać o dobrej radzie Galileusza: „nie pragnąć, by przyroda przystosowywała się do tego, co uważamy za lepiej uporządkowane”. Dla nas, teore-

tyków, te przykłady są szczególnie ważne – pokazują, z jaką ostrożnością winniśmy prowadzić dialog z naszymi kolegami eksperymentatorami. Mamy obowiązek sugerować pomysły doświadczeń, ale nie narzucać naszych sposobów myślenia. Dla mnie jest to jedna z najtrudniejszych stron naszego zawodu.

Mamy zatem pewną estetykę prostoty, która nam wskazuje drogę, a czasem wiedzie na manowce. Trzeba jednakże przyznać, że te manowce także nie są całkiem jałowe; jeśli nawet modele, które z nich wynikają, są nieadekwatne, zasługują na przeżycie i mogą później znaleźć nowe dziedziny zastosowań. Można by rzec, niewiele upraszczając, że sztuka fizyka teoretyka polega na wyczuciu, jak daleko można się posunąć w uproszczeniach.

W sumie nasze błędy spowodowane nadmiarem erudycji i nasze błędy wynikające ze schematyzacji mieszczą się w stosunkowo łatwo zrozumiałych granicach. Są jednakże bardziej tajemnicze i poważniejsze bariery; oto dwa przykłady, związane z niedawnym rozwojem naszej dyscypliny naukowej.

W roku 1938 radziecki fizyk Aleksiej W. Szubnikow odkrywa w niektórych stopach nadprzewodzących anomalne prawa magnesowania. Domyśla się, że chodzi o fundamentalne zjawisko, lecz wkrótce po swym odkryciu pada ofiarą tragicznych czasów, a jego prace – mimo że nie całkowicie umieszczone na indeksie – popadają w zapomnienie. Niektórzy eksperymentatorzy na Zachodzie także badają podówczas analogiczne stopy,

lecz odrzucają interpretację swych wyników jako oznaki nowej fazy. Przypisują je metalurgicznym defektom w próbce, które jakoby więżą strumień magnetyczny. Pojawia się pewne pojęcie – stop jest przedstawiany jako gąbka, we wnętrzu której strumień jest jeńcem. Gąbka ta ma wszelkie cechy, a mówiąc dokładniej – wszelkie wady gąbek: zależnie od swego kaprysu uwalnia lub nie uwalnia strumienia. W ten sposób do stopów nadprzewodzących przyczepia się pejoratywne skojarzenie i temat, uznany za „nieczysty”, zostaje zarzucony na 20 lat. Dopiero wtedy, dzięki Abrikosowowi i Goodmanowi, społeczność naukowa ponownie odkrywa problem i uświadamia sobie, że anomalne prawo magnetyzacji odzwierciedla obecność w metalu układu wirów. Jednakże – w przeciwieństwie do wirów wprowadzanych przez adwersarzy Newtona – chodzi tu o obiekty możliwe do zaobserwowania, które można wykryć za pomocą neutronów oraz mikroskopów elektronowych. Nadaliśmy wprawdzie tej zadziwiającej fazie imię jej odkrywczy, ale z jakim opóźnieniem!

Od tamtego czasu mit gąbki bardzo mnie intrygował. Kilka lat później nasze zainteresowania poszły w zupełnie innym kierunku i zamiast zajmować się metalami w bardzo niskich temperaturach, zaczęliśmy badać substancje organiczne, które są jednocześnie ciekłe i anizotropowe, a które za G. Friedelem nazywa się *nematykami*. W tej tak bardzo odmiennej dziedzinie powstał zupełnie inny mit na podstawie następującej obserwacji: pod mikroskopem nematyk wykazuje często niewielkie obszary, migoczące i fluktuujące z upływem czasu. Już w 1920 r. Grandjean, Mauguin i G. Friedel zauważyli to zjawisko i poprawnie je opisali. Jednakże później interpretacja tej obserwacji uległa zmianie i posłużyła za podstawę koncepcji mitycznej – skupiska; ciecz nematyczną przedstawiało się jako zbiór małych, niezależnych kulek o średnicy równej wielkości obserwowanych rozbłysków. Ta błędna idea paraliżowała interpretację wyników doświadczalnych dla owych „ciekłych kryształów” przez 35 lat! Aby przekonać niektórych eksperymentatorów o subiektywnym charakterze skupisk, trzeba było wielu wysiłków, np. wykazania, że wraz ze zmianą długości fali użytej do obserwacji w takim samym stosunku zmieniały się ich pozorne rozmiary.

Mamy zatem dwa przykłady, gdzie uporczywa blokada naszego procesu poznawania krystalizowała się wokół przeszkody językowej: gąbki, skupiska. Byłem uszczęśliwiony, znalazłszy u Bachelarda wnikliwą analizę takich przeszkód, a w szczególności dowiedziawszy się, że motyw gąbki miał licznych dawniejszych wyznawców. Descartes i Réaumur unaoczniali powietrze w postaci gąbki, by wyjaśnić zarówno jego ściśliwość, jak i rozpuszczalność w wodzie. Inni za gąbkę więżącą strumień magnetyczny uważali żelazo. Widzimy więc, jak do wątku naszych badań powracają mity z przeszłości, a nasza prostoduszność sprawia, że jesteśmy zaskoczeni. Dostrzegamy wszakże, iż przeszkoda językowa podlega ścisłym regułom – rodzi się ze zbyt skrótovej obserwacji: często spotykanej niejednorodności stopów, migotania nematyków. Później na tę obserwację nakłada się dobrze znany obraz: gąbka wydobyta przez poławiacza, ziarnka ze stosu pszenicy. Już sam ów obraz jest tylko odbiciem archetypu w sensie Junga. Skupisko jest być może skojarzeniem z mrowiskiem, fermentacją, życiem. Gąbka jest z pewnością odmianą labiryntu. W twórcy idei nadprzewodzącej gąbki oraz w podświadomości całej społeczności naukowej, która go otacza, tkwi pewien rodzaj lęku Minosa. Wyzwała on siły znacznie potężniejsze, niż zaciekawienie budową stopów ołowiu, oraz tłumy skądinąd prawidłową i fundamentalną obserwację Szubnikowa.

Pozostaliśmy jednakże na płaszczyźnie znanych obrazów, jako że tylko na tym poziomie szczególne świadectwo fizyka może się okazać stosunkowo wiarygodne i użyteczne. Liczba takich obrazów naturalnie rośnie wraz z poszerzaniem zakresu naszej wiedzy. W XVII w. uprawia się *jeu de paume* i ilustruje odbicie światła w zwierciadle tak jak piłki po uderzeniu w ścianę. W XX w. dla społeczności fizyków swojskimi obrazami są radary oraz dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego; służą one zresztą ze swej strony do przyswajania nowych pojęć. Czasem jednakże – i właśnie ten aspekt nas interesuje – obrazy takie służą raczej do „oswajania” zagadki, a nie do jej rozwiązania. Iluż inżynierów, zainspirowanych budowanymi przez siebie maszynami, pragnęło objaśnić strukturę cząstek elementarnych za pomocą układów sprężynek i cewek? Ilu fizyków wciąż jeszcze marzy o odnalezieniu w cząsteczkach biologicznych zjawisk, które im samym i tylko im

udało się ujarzmić? Dla naszej społeczności, często kiepsko zorientowanej w rozwoju biologii molekularnej, materia ożywiona jest zarazem fascynująca i przerażająca. Przypisano jej zatem wszystkie atrybuty, które są dla nas tak drogie: ogłoszono, że kwasy nukleinowe są ferroelektrykami, a nieco później, że są nadciężcami. Wreszcie, bardzo niedawno, pewien słynny fizyk opracował model funkcjonowania życia, wedle którego energia chemiczna poprzez pewien mechanizm pompowania przekształca się w spójne drgania kolektywne. Drgania te, które bada od wielu lat, stanowią dlań składnik swojskich obrazów.

Jednakże takie tezy są często mało owocne, a niekiedy wpędzają całe dziedziny badań w ślepe zaułki. Na dłuższą metę budzą przy tym wśród naszych kolegów biologów zrozumiały sceptycyzm. Uwidaczniają wyraźnie pewną postawę naukowca, którą można by streścić w następujący sposób: „Widzę na sawannie wspaniałe zwierzę, obiekt pożądania i strachu wszystkich. Chcę, muszę je pokonać tą strzałą, którą wykuwam cierpliwie od tylu lat. Niech ta strzała będzie jednocześnie moją bronią i moim talizmanem”. Jednym słowem, przez swe motywacje i swe rytuały badania interdyscyplinarne często przebiegają na początku tak, jak wyprawa z łukiem na lwa. Pomimo to naszą rolą jest zmiana stylu działania, a zwłaszcza zastąpienie broni przez cierpliwe perswazje; wrócimy do tej sprawy nieco później.

Uogólniając, można zdefiniować anamorfozę narzędzia. Czy chodzi o matematyczny formalizm, czy też o metodę pracy, widzimy, jak od czasu do czasu pojawia się nowy instrument, który efektownie wykazuje swą przydatność w konkretnym przypadku. Przechodzimy wówczas coś w rodzaju fazy magicznej, podczas której wszędzie mówi się o tym talizmanie, nie zastanawiając się nad granicami jego potęgi. Taki rodzaj anamorfozy nie jest zresztą przywilejem nauk fizycznych, choć to właśnie w obrębie naszej dziedziny można znaleźć jej przykłady klasyczne, a przy tym często trwałe, jak komputery. Wielkie maszyny rachunkowe, pomimo swego kosztu, są dla nas często przydatne do rozwiązywania dobrze postawionych problemów. Na przykład, tego typu rachunki struktury mikroskopowej prostych cieczy przyniosły

pewne informacje, które dotychczas były całkowicie niedostępne dla teorii i doświadczenia. Jednakże w innych przypadkach, czy to chodzi o naukę, czy też o zarządzanie nauką, widzimy, jak wkłada się do komputerów niepewne dane lub dyskusyjne modele, a mimo to końcowy produkt rachunków ceni się wysoko, ponieważ wychodzi ze wspaniałej maszyny. W ten sposób owa uległa niewolnica zostaje wyniesiona do roli wyroczni.

Delficką szczelinę skalną nasza epoka zastępuje tym, co Robert Escarpit nazywa maszynami do czytania³. Jednakże niezależnie od tego, w co akurat wciela się Pytia, zawsze domaga się ona darów Krezusa i je dostaje, ponieważ umie zwrócić się bezpośrednio do naszej podświadomości.

Ogólnie biorąc, jak widzieliśmy, słabe strony badacza są często podobne do słabości zmęczonego podróżnika-odkrywcy. Myli się przy odczytywaniu mapy; ulega mirażom; czasami odczuwa pokusę pójścia na skróty w niebezpiecznym terenie. Wreszcie, w ciemności lasu, zdarza mu się uciekać lub padać na kolana przed widmem, które sam sobie uroił. Ale mimo wszystko idzie dalej i zapominamy o zmiennych kolejach jego marszu. Proszę mi wybaczyć ten nacisk na kłopoty – rzeczą ważną byłoby uczciwe wyjaśnienie, jacy jesteśmy, zanim zaczniemy dyskutować o tym, czego chcemy dokonać.

A przecież problem celów jest palący – obecnie zwłaszcza w fizyce ciała stałego mamy rodzaj kryzysu, wywołanego przez splot społecznych czynników ekonomicznych i naukowych.

Po pierwsze, mamy kryzys funkcjonowania nauki: do mniej więcej 1965 r. trzeba było wywoływać bardzo dużą falę powołań do kariery naukowej, aby wykształcić kadry dla tworzących się uniwersytetów i laboratoriów przemysłowych. Obecna stagnacja ekonomiczna i akademicka spowodowały odwrócenie tej tendencji – rekrutacji już się prawie nie prowadzi, mamy więc kadre naukową wprawdzie liczną, ale skostniałą, zagrożoną zestarzeniem się i pozbawioną jakiegokolwiek wewnętrznej ruchliwości.

Do problemu ludzi dokłada się problem wyposażenia. Tak się szczęśliwie składa, że pod tym względem nasza fizyka fazy skondensowanej jest

³ Głośne w latach 60. określenie książek, zaproponowane przez francuskiego lingwistę i socjologa, profesora Uniwersytetu w Bordeaux Roberta Escarpit. Zob. Robert Escarpit, *Rewolucja książki* (PWN, Warszawa 1969) (przyp. tłum.).

w gruncie rzeczy rękodzielnictwem, uprawianym przez niewielkie zespoły – co by nie mówić, rzadko potrzebowaliśmy bardzo wielkich urządzeń badawczych. Lecz właśnie dlatego, że nasze zespoły są skromne, są też bezbronne. Ograniczenia budżetowe we Francji w latach 1969–70 wytworzyły luki, które będzie trudno zapełnić.

Jednocześnie – na innej płaszczyźnie – przechodzimy kryzys społecznej motywacji. Co najmniej od roku 1945 wojskowe konsekwencje odkryć fizycznych stwarzały dla wielu z nas konflikty sumienia. Uogólniając można powiedzieć, że poprzez swe zastosowania „ciężkiego kalibru”, takie jak metalurgia, telekomunikacja, czy elektrotechnika, fizyka ciała stałego jest ściśle powiązana z sukcesami oraz trudnościami gospodarczymi. Niedawno pewna anamorfoza załamała zresztą niektóre kursy na Wall Street. Część studentów, oceniając badania naukowe przez pryzmat ich najbardziej widocznych zastosowań – tranzystorów czy telewizorów – wyciąga wnioski, że nie odpowiadają one prawdziwym potrzebom kraju, i angażuje się w nie bez entuzjazmu. Co do naukowców, to przeczuwają oni już przyszłe rewolucje techniczne, które postawią przed naszym społeczeństwem problemy pod pewnym względem poważniejsze niż obecne perturbacje. Często mają uczucie, że fabrykują wspaniałe narzędzia, by oddać je w ręce ślepego olbrzyma.

Na koniec, ich głęboką motywacją i racją bytu jest pogoń za nieznanym. Lecz współczesne społeczeństwo wcale nie podziela tego rodzaju celów kulturowych. Dobrze to widać na przykładzie ubóstwa, na które skazuje sztukę; a przecież każdego można wzruszyć melodią zagrana na gitarze, podczas gdy trzeba lat cierpliwych studiów, by docenić dzieło kogoś takiego jak London. Nie potrafimy zatem przekazać tego, co jest najdroższe naszym sercom; to niepowodzenie jest widoczne nawet wewnątrz naszych laboratoriów. Żyją w nich obok siebie dwie grupy: klasa t e c h n i k ó w i klasa n a u k o w c ó w. Dzisiaj technicy są często włączani w zarządzanie badaniami. Jednakże pomimo ciekawych prób właściwie nie znam takiej sytuacji, by technicy naprawdę mieli poczucie, że odkrycia, w których uczestniczą, dotyczą ich osobiście. W tej dziedzinie wszystko jest jeszcze do zrobienia.

Oprócz problemu komunikacji spotyka się – zwłaszcza w fizyce ciała stałego – problem orientacji badań. Wśród pierwszych naukowców, którzy go dostrzegli, był Anglik Pippard; już w roku 1961 mówił z melancholią: „Jesteśmy fizykami klasycznymi naszej epoki; nasza wiedza jest uporządkowanym gmachem, wprawdzie na pewno z wieloma lukami do zapełnienia, lecz nie zagrożonym żadnym wstrząsem”. Te pesymistyczne słowa miały zresztą wkrótce potem zostać częściowo podważone przez młodego studenta Pipparda, Briana Josephsona, który dogłębnie zmienił i rozjaśnił naszą koncepcję nadciężkości, otwierając przy tym drogę do jej zadziwiających zastosowań. Jednakże na dłuższą metę spostrzeżenie Pipparda pozostaje słuszne dla układów krystalicznych. Faza ta jest najbardziej uporządkowana i najprostsza, a wielka część jej sekretów została ujawniona. Nad nie rozwiązanymi problemami skupiają się liczni teoretycy i eksperymentatorzy. Każdy badacz czuje, jak cząstkowy jest jego osobisty wkład. Wie, że gdyby od dziś miał przestać pracować, rozwój jego specjalności niewątpliwie by się opóźnił tylko o parę miesięcy. Stąd bardzo zawzięta rywalizacja i uczucie niepokoju, które zresztą można odnaleźć także w innych dziedzinach nauki. Jego ekonomiczne, psychologiczne i społeczne korzenie opisał niedawno w swej książce E. Schatzman⁴. Niepokój jest tylko częściowo świadomy; grupy, które obejmuje, mają często skłonność do minimalizowania i unikania tego problemu.

Można zaobserwować co najmniej dwie postawy, wynikające z takiej pokusy. Pierwsza, którą w dużej mierze uprawiała amerykańska administracja, polega na gwałtownym zahamowaniu badań naukowych z jednoczesnym pozostawieniem samym badaczom trudu przeszerogowania. Prowadzi to do znacznych strat ekonomicznych – oddaje się na złom wspaniałe narzędzia, nie zastanawiając się w ogóle, do czego mogłyby jeszcze posłużyć.

Druga postawa, przyjmowana przez niektórych naukowców, jest rodzajem perfekcjonizmu: powtarzają taki sam pomiar fizyczny na wszystkich dostępnych materiałach lub też próbują rozwiązać problemy ilościowe, np. znaleźć bardzo dobre funkcje falowe dla elektronu w krysz-

⁴ Evry Schatzman (ur. w 1920 r.), wybitny francuski astrofizyk, związany od wielu lat z Obserwatorium w Meudon pod Paryżem, od 1985 r. członek francuskiej Akademii Nauk (przyp. tłum.).

tale. W gruncie rzeczy programy takie stanowią użyteczne uzupełnienie badań naukowych, ale nie mogą tworzyć ich kośćca.

Jestem osobiście przekonany, że konieczna jest głębsza metamorfoza fizyków ciała stałego. Dysponują wyrafinowanymi metodami doświadczalnymi, a także przyzwoitym arsenałem teoretycznym. W tej sytuacji mogą i powinni zmienić cele badań.

Przede wszystkim powinni w całkiem nowym duchu podejść do problemów badań stosowanych. Pomimo zastrzeżeń natury ekonomicznej czy politycznej, które budzą te sprawy, sądzę, że można porozumieć się co do akceptowalnych dla wszystkich celów z zakresu techniki, np. odsalania morskiej wody czy też medycznych zastosowań fizyki. Lecz istnieje – zwłaszcza w naszym kraju – głębsze uprzedzenie intelektualne w stosunku do techniki. Wyrażane jest ono w stwierdzeniu, że badania podstawowe określają prawa przyrody, natomiast badania stosowane podają receptury. Uważam, że nie można zaakceptować takiej definicji. Prawdziwy sens badań stosowanych nie polega na sporządzaniu katalogów materiałów. Polega on na wynalazkach, opartych na prawach fizycznych. Na przykład, laser jest wspaniałym zastosowaniem praw emisji i absorpcji fotonów, odkrytych pół wieku wcześniej. Aby wymyślić i zbudować laser, trzeba było czekać równie długo, jak na zrozumienie fundamentalnej zagadki nadciężkości.

Niektórzy naukowcy argumentują, że realizacje techniczne żyją tylko przez pewien czas, natomiast podstawowe prawa przyrody są wieczne. W ich oczach zajmować się techniką to jakby pisać na piasku. Argument taki niezbyt mnie przekonuje. Nasze drukarnie coraz mniej przypominają warsztat Plantina⁵, a jednak nie zapominamy ani o nim, ani o Gutenbergu. Wynalazczość techniczna jest sztuką, a nie widzę powodu, by wprowadzać hierarchizację wśród sztuk. Teoretyk, który czuje, jak w jego umyśle zaczyna się organizować łańcuch rozproszonych faktów, oraz garniarz, który widzi, jak spod jego rąk wyłania się nowa forma odczuwają to samo szczęście i pełnię tę samą służbę.

W gruncie rzeczy, jeśli na prawdziwe badania stosowane jest mało chętnych, to dzieje się tak

dlatego, że są one trudne. Lubię w tym miejscu odwoływać się do przykładu kranu. Oto przedmiot oparty na prostej zasadzie, którego obraz doprawdy nie kojarzy się z wielkimi fajerkami wyobraźni. Ale przyjrzyjmy mu się nieco bliżej – psuje się, rdzewieje, przecieka, albo jest trudny w obsłudze; ponadto jest zbyt drogi. Gdybyśmy chcieli od podstaw poprawić budowę kranu, musielibyśmy doskonale znać sprężyste właściwości stopów, mechanizm ich korozji, reologię polimerów (bo będą potrzebne uszczelki), hydrodynamikę oraz oczywiście pewne aspekty ekonomiczne. Przede wszystkim konieczne byłoby ziarno szaleńczej wyobraźni. Jednakże taki kulturowy i psychologiczny profil jest rzadkością wśród inżynierów hydraulików, nawet absolwentów tak zwanych *grandes écoles*, i nasze krany są takie, jakie są. Ten skromny przykład pokazuje szanse i problemy badań stosowanych w nowym stylu.

Inny kierunek, który się otwiera przed fizykami fazy skondensowanej, jest związany z badaniami interdyscyplinarnymi. Weźmy np. mechanikę płynów; dysponujemy już obecnie znakomitymi sondami fizycznymi do badania struktury wspomnianych przepływów: laserami, rezonansem magnetycznym, wiązkami akustycznymi, możliwością użycia ciekłych kryształów i wieloma innymi. Tych subtelnych metod dotychczas w ogóle nie stosowano do turbulencji. Wierzę, że mogą dać wyniki o podstawowym znaczeniu, jeśli zostaną wykorzystane w inteligentnej współpracy między hydrodynamicami a fizykami ciała stałego. Podobną sytuację można spotkać w chemii fizycznej; w badaniach polimerów, błon fizycznych, a pewnego dnia być może także błon biologicznych konieczne będzie przemieszczenie metod oraz idei. Dzięki różnorodności dyscyplin i elastyczności kształcenia Collège de France jest szczególnie predestynowane do zainicjowania takich dialogów. Bariery językowe nawet między pokrewnymi dyscyplinami są oczywiście znaczne, ale mam nadzieję, że przy odrobinie cierpliwości i dobrej woli uda nam się dokonać tu pewnych przełomów.

Tak więc, w ciągu tego roku będziemy mówić o przemianach fazowych, także w sytuacjach klasycznych, lecz wciąż jeszcze tajemniczych, jak

⁵ Christophe Plantin (ok. 1520–89), francuski drukarz i wydawca. W roku 1555 otworzył drukarnię i dom wydawniczy w Antwerpii. Wydawał przede wszystkim dzieła naukowe, a w latach 1569–72 wydał 8-tomową Biblię w 5 językach (przyp. tłum.).

przemiana cieczy w gaz. Jednak wspomniemy również o zjawiskach dość odległych od naszej dziedziny, takich jak rozdzielenie materii i antymaterii, które być może zaszło po kilku mikrosecondach od narodzin Wszechświata. Natomiast badając układy dynamicznie niestabilne znajdziemy zadziwiającą analogię między powstaniem fali laserowej w ośrodku wzmacniającym a pojawieniem się życia na powierzchni Ziemi, przynajmniej takim, jak je pojmują Eigen⁶. Dane nam będzie przeprowadzić nawet pewne analogie ze zjawiskami ekonomicznymi oraz społecznymi. Gdy ktoś w tłumie zacznie patrzeć do góry, a po pewnym czasie wszyscy już patrzą do góry, to jesteśmy świadkami zjawiska kolektywnego, które jest dość podobne do porządkowania się indywidualnych momentów w kryształach ferromagnetycznych; ideę tę Weidlich wykorzystał w swej teorii społecznej polaryzacji⁷. Analogie takie są oczywiście ułomne. Przypomniał nam o tym niedawno z naciskiem P.-H. Simon, mówiąc o „wielkim grzechu, który kusi specjalistów: mniemaniu, że można sprowadzić do metod i celów ich własnej dyscypliny dziedziny pokrewne, które nie są od niej zależne”.

Jesteśmy świadomi groźby tej pokusy. Wiemy, że takie paralele, jak przytoczona przed chwilą, są pożyteczne nie wtedy, gdy uogólniają pewien system, lecz wówczas, gdy sugerują nowe doświadczenia. Stanowią one tylko zarzewie przyszłej dyskusji, gromadzącej na równych prawach badaczy z różnych dziedzin.

Dochodzimy w ten sposób do paru użytecznych pojęć. Pierwszym są badania zespołowe. Aktualnie skupienie wysiłków większej liczby badaczy na tym samym temacie jest wymuszane przez czynniki zewnętrzne: zróżnicowanie metod, nacisk

międzynarodowej rywalizacji, itp. Jednakże autentyczna motywacja jest głębsza; gdy na drodze wzajemnej zgody tworzy się zespół, może na płaszczyźnie naukowej i ludzkiej zrealizować o wiele więcej niż tylko zwykłą sumę dobrych chęci. Ze swej strony dwukrotnie miałem okazję brać udział w tego typu akcjach i chciałbym wykorzystać tę sposobność, by zaświadczyć o swym przywiązaniu do wszystkich osób, które były lub są w nie zaangażowane.

Drugi wniosek dotyczy dydaktyki. Jeśli chcemy uprawiać fizykę żywą, ruchliwą, przystosowującą się do nowych warunków, należy oczywiście zastąpić relację mistrz – uczeń związkiem badacza z badaczem i zamienić salę wykładową w grupę dyskusyjną. Na pewno trzeba nauczać metod i zasad pracy. Jednakże w naszym kartezyjskim kraju studenci mają raczej zbyt dużą skłonność do szacunku dla wielkich konstrukcji logicznych. Trzeba więc bronić tej wyobraźni, którą alchemik Ruland nazywał „gwiazdą żyjącą w człowieku”. Musimy jednocześnie nauczać formalizmów i wątpliwości, inspirować do formułowania problemów oraz ich rozwiązywania; w skrócie – pokazywać poprzez nieustanne przykłady, że świat jest większy niż nasze systemy. Collège de France jest, jak mi się zdaje, stworzone w tym duchu. Wkraczam do niego świadom moich osobistych słabości, lecz wzmocniony nadzieją, że wielu z was zgodzi się mi pomóc, i z góry mówię wam: dziękuję.

Tłumaczył z języka francuskiego
Jerzy Gronkowski
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

⁶ Manfred Eigen (ur. w 1927 r.), wybitny niemiecki fizykochemik i biochemik, laureat wielu nagród, w tym Nagrody Nobla z chemii w roku 1967 (przyp. tłum.).

⁷ Wolfgang Weidlich, profesor i aktualny dyrektor II Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Stuttgartarckiego, twórca dyscypliny, którą nazwał „quantitative sociodynamics”, zajmującej się zastosowaniem metod matematycznej teorii układów statystycznych i dynamiki nieliniowej do procesów społeczno-ekonomicznych (przyp. tłum.).

Leopold Infeld, jakim go pamiętam*

Ryszard Gajewski

WaveBand Corporation, Torrance, California, USA

Leopold Infeld, as I remember him

1. Infeld i Rubinowicz

Zanim przystąpię do dzielenia się wspomnieniami o Leopoldzie Infeldzie, wydaje mi się słusznym, by złożyć hołd innemu wielkiemu polskiemu fizykowi-teoretykowi, profesorowi Wojciechowi Rubinowiczowi (był on, wypada zauważyć, moim promotorem).

Literatura polska dziewiętnastego wieku była terenem równoczesnej erupcji dwóch geniuszów poetyckich, Adama Mickiewicza i Juliusza Słowackiego. Tych dwóch, dziś obwołanych „wieszczami”, nie żywiło ku sobie szczególnej sympatii, choć młodszy z nich, Słowacki, darzył Mickiewicza szacunkiem. Istotnie, w jednym ze swych wierszy Słowacki, zwracając się do Mickiewicza, napisał:

„... żegnaj, rozstajmy się nie jak wrogi,
lecz jak dwa na słońcach swych przeciwne bogi...”.

Myślę, że Infeld mógłby napisać te same słowa zwracając się do Rubinowicza (nie miałyby nic przeciwko określeniu siebie samego jako boga – nie przesadzajmy z fałszywą skromnością...). Obydwaj, Infeld i Rubinowicz, wnieśli do polskiej fizyki teoretycznej ferment światowej klasy nauki owych czasów: Rubinowicz z racji swej współpracy z Arnoldem Sommerfeldem w Lipsku, Infeld z racji współpracy z Albertem Einsteinem w Princeton. I tak jak Mickiewicz i Słowacki, niezależ-

nie od różnic w temperamentach twórczych, są dziś słusznie uważani za największych polskich poetów, podobnie zarówno Rubinowicz, jak Infeld zasługują na miano założycieli warszawskiej szkoły fizyki teoretycznej.

Ale obecna rocznica należy do Infelda, mówić więc będę o Leopoldzie Infeldzie, jakim go pamiętam. Będę mówił o nim jako o nauczycielu i twórcy szkoły naukowej. Będę też mówił o nim jako o pisarzu. Omówię także pewną część jego spuścizny naukowej, która nie jest szeroko znana, a która odegrała ważną rolę w moim własnym rozwoju zawodowym. Wreszcie, powiem parę słów o Infeldzie jako o postaci politycznej.

2. Nauczyciel

Byłem studentem Wydziału Łączności Politechniki Warszawskiej, gdy doszły mnie słuchy, że profesor Infeld wykłada kurs teorii elektryczności i magnetyzmu dla studentów fizyki na Uniwersytecie Warszawskim. W owych czasach niemal się nie zdarzało, by studenci Politechniki słuchali wykładów na Uniwersytecie. Jednakże teoria elektryczności i magnetyzmu była moim ulubionym przedmiotem, a sława nowo przybyłego profesora była tak wielka, że nie potrafiłem się oprzeć pokusie. Postanowiłem po prostu pójść na wykład In-

*Wspomnienie wygłoszone podczas Sympozjum z okazji setnej rocznicy urodzin Leopolda Infelda, Warszawa, czerwiec 1998 r. (przekład autora).

felda, usiąść w ostatnim rzędzie i robić wszystko, by nie zostać zauważonym.

Infeld był wykładowcą natchnionym – i napawającym natchnieniem. Wykładając przeważnie bez notatek, pokrywał tablicę kaligrafią wzorów. Używał notacji tensorowej, co podówczas było dla mnie nowością. (Infeld zwykł pokpiwać, że ludzkość można podzielić na dwie kategorie: tych, którzy wiedzą, co to jest tensor, i całą resztę; po czym dodawał: „I ta reszta niewiele mnie obchodzi!”).

Chyba najbardziej uderzającą cechą wykładów Infelda był ustawiczny dialog, w który wciągał słuchaczy. Jak miałem się przekonać w późniejszych latach, technika ta nie jest niczym niezwykłym na Zachodzie, ale nigdy przedtem nie spotkałem się z nią w Polsce. Tak więc, od czasu do czasu Infeld przerywał wykład, rzucał pytanie i oczekiwał natychmiastowej odpowiedzi. Czasami zwracał się z pytaniem nie do całego audytorium, ale do wybranego słuchacza: „Co Pan sądzi, jaka jest odpowiedź?”

W większości przypadków uczestnikami dialogu było kilku najlepszych studentów, zwykle siedzących w pierwszych rzędach (dziś wszyscy są profesorami...). Ukryty w ostatnim rzędzie, czułem się bezpieczny: groźba, iż zostanę wyrwany do odpowiedzi, nie była wielka. Jednocześnie byłem zawsze zbyt przerażony, by się zgłosić na ochotnika, nawet gdy mi się wydawało, że znam poprawną odpowiedź. Ale pewnego razu postanowiłem postawić wszystko na jedną kartę. Infeld wprowadził wzór, którego znaczenie powinno być dla każdego oczywiste (za Boga nie pamiętam dziś, co to był za wzór!), po czym zwrócił się do słuchaczy i rzucił pytanie: „Kogo ten wynik nie dziwi?” Zapadło milczenie. Na wpół sparaliżowany strachem, podniosłem rękę. Infeld musiał już wtedy rozpoznawać mnie jako studenta, który zawsze siedzi w ostatnim rzędzie i nigdy nie zabiera głosu. Z rozbawieniem zwrócił się do mnie i zakpił: „Pan? Bo Pana już pewnie nic nie może zdziwić!” Podałem mu swoje wytłumaczenie, na co odpowiedział krótko: „Baahdzo dobrze!” Byłem w siódmym niebie.

Infeld traktował nauczanie bardzo poważnie. Ci z nas, którzy kiedykolwiek wykładali, wiedzą doskonale, ile wysiłku wymaga przygotowanie dobrze zorganizowanego wykładu (zwłaszcza tak, by go móc następnie wygłosić bez notatek). Ale Infeld miał też szczególny dar: umiał przedstawiać

złożone problemy w najprostszych kategoriach. Na ten temat zwykł mawiać, że istnieją dwa rodzaje wykładowców – ci, którzy wykładając zdają się mówić do słuchaczy: „Patrzcie, jaki jestem mądry!”, i ci inni, którzy zdają się powiadać: „Patrzcie, jakie to proste!” Infeld słusznie zaliczał siebie samego do tej drugiej kategorii.

3. Twórca szkoły

Dla Infelda nic nie było ważniejsze od wynajdywania młodych, utalentowanych fizyków i ułatwiania im startu zawodowego. Z pewnością zdawał on sobie sprawę z tego, ile sam skorzystał przenosząc się z prowincjonalnego Lwowa do światowych centrów nauki. Zapewne mając to w pamięci, uważał za sprawę pierwszej wagi, by obiecujący młodzi naukowcy mogli odbywać staże doktorskie za granicą, w miarę możliwości na Zachodzie. W owych czasach podróże do któregośkolwiek z krajów „zgniłego kapitalizmu” były nie tylko oficjalnie niemile widziane, ale wręcz niemożliwe dla nikogo poza garstką podróżujących służbowo dygnitarzy. Dodatkową trudnością był brak pieniędzy: zagraniczne waluty były podówczas w Polsce zupełnie niedostępne. Infeld wykorzystywał swój wielki prestiż i swoje znaczne wpływy, by przekonywać „odnośne czynniki” o konieczności wysyłania młodych fizyków-teoretyków na staże na Zachód. Używał też swych bardzo szerokich kontaktów w świecie zachodnim, by zapewnić wyjeżdżającym niezbędne stypendia. Moim zdaniem można twierdzić z pewnością, że fizycy teoretycy byli jednymi z pierwszych naukowców, jeżeli nie pierwszymi, którym pozwolono licznie wyjeżdżać na Zachód, łamiąc w ten sposób narzuconą przez reżym izolację. I nie ma również w moim przeświadczeniu wątpliwości, że stało się tak bezpośrednio za sprawą profesora Infelda.

Wybierając młodych ludzi do wyjazdów na staże zagraniczne, Infeld nie zawęził swego pola widzenia do „własnych” doktorantów. Kandydat lub kandydatka nie musiał(a) pracować w żadnym z góry określonym dziale fizyki teoretycznej, o ile tylko praca kwalifikowała się do czołówki badań naukowych. W podejmowanych ocenach Infeld kierował się swym znakomitym smakiem naukowym. (Smak ten był dla wszystkich widoczny podczas naszych czwartkowych konwersatoriów fizyki teoretycznej; Infeld zdumiewał wielu z nas

zadając mówcom przenikliwe pytania, często na tematy bardzo odległe od swej własnej specjalności).

Jako bazę do budowania szkoły naukowej Infeld ustanowił w Uniwersytecie Warszawskim Instytut Fizyki Teoretycznej, którego był pierwszym dyrektorem. W tej roli zabłysnął jako organizator badań naukowych. Jego metoda zarządzania opierała się na prostej zasadzie: dobierać zdolnych ludzi i nie przeszkadzać im w pracy. Metoda działała bezbłędnie!

Wyniki dalekowzroczonej strategii Infelda nie kazały na siebie długo czekać. Na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych Warszawa stała się tętniącym życiem ośrodkiem fizyki teoretycznej, goszcząc wiodących teoretyków owego okresu, takich jak Homi Bhabha, P.A.M. Dirac, Richard Feynman, Vitali Ginzburg, Robert Marshak, Roger Penrose, Abdus Salam, Igor Tamm, Victor Weisskopf i wielu innych. Jednocześnie warszawscy fizycy teoretyczni zaczęli być coraz bardziej poszukiwani przez poważne ośrodki naukowe w całym świecie.

4. Pisarz

Leopold Infeld lubił pisać. Większość jego spuścizny literackiej jest w języku angielskim. (Z prowokacyjną „skromnością” zwykł zauważać, że w historii literatury światowej było dwóch polskich pisarzy, którzy pisali po angielsku; tym drugim był Józef Conrad-Korzeniowski). Jako tłumacz dwóch książek Infelda miałem okazję podziwiać z bliska mistrzostwo jego literackiego rzemiosła: krótkie zdania, rytmiczne kadencje i, nade wszystko, niezwykła jasność ekspozycji. *Ewolucja fizyki*, napisana wspólnie z Einsteinem, jest prawdziwym arcydziełem. Ustanowiła ona dla przyszłych pokoleń wzorzec tego, jak popularyzować najnowsze zdobycze wiedzy. Druga książka, zatytułowana *Albert Einstein*, to hołd naukowy złożony przez Infelda jego nauczycielowi, współpracownikowi i dobroczyńcy.

Ale popularyzacja nauki nie była jedyną, i może nawet nie była najważniejszą, dziedziną pisarstwa Infelda. Wyraźnie zafascynowany tematem młodego geniusza matematycznego zmuszonego do walki z siłami zła w otaczającym go świecie (czyżby aluzja autobiograficzna?), Infeld napisał *Wybrańców bogów*, powieść biograficzną

opartą na tragicznej historii Ewarysta Galois. Powieść tę przeczytałem jednym tchem na długo zanim poznałem Infelda i zaliczam ją do książek, które wywarły na mnie duży wpływ.

No i wreszcie, *The Quest*. Infeld napisał tę najbardziej osobistą, autobiograficzną książkę będąc w Kanadzie. W tym czasie zapewne nigdy się nie spodziewał, że pewnego dnia powróci do Polski na stałe. Tak więc książka jest brutalnie szczerą i miejscami niezbyt pochlebna, gdy mowa o pewnych polskich znajomych autora. Choć nie są oni wymienieni z nazwiska, każda osoba ma przypisaną sobie literę alfabetu, czyniąc z książki bardzo realistyczną powieść z kluczem. Rozszyfrowywanie tego klucza stało się ulubioną rozrywką przyjaciół Infelda i, można się domyślać, pewną obsesją osób niepochlebnie przedstawionych. Po powrocie do Polski Infeld nie przechwalał się tą książką. Jeśli o niego chodziło, im mniej ludzi o niej wiedziało, tym lepiej. Ja sam dowiedziałem się o *The Quest* w późnych latach pięćdziesiątych od Feliksa Piraniego. Gdy powiedziałem Feliksowi, że jej nie czytałem i że jest ona w Polsce zupełnie niedostępna, zaoferował się podarować mi egzemplarz. Co też uczynił.

Wszystko to działo się w okresie, gdy już przetłumaczyłem *Ewolucję fizyki*. Miałem wszelkie powody by przypuszczać, że Infeldowi podobało się moje tłumaczenie. Tak więc pewnego dnia zjawiłem się w jego gabinecie z książką w rękę i poprosiłem o dedykację. „Ależ oczywiście!” powiedział Infeld, wyraźnie sądząc, że przyniosłem ze sobą egzemplarz *Ewolucji*. Otworzył książkę, spojrział na kartę tytułową – był to *The Quest. Zaskoczony, zapytał: „Skąd Pan wziął tę książkę?”* Nie chcąc wpędzać biednego Feliksa w tarapaty, wymamrotałem coś na temat „przyjaciół”. Infeld wziął pióro do ręki i napisał na karcie tytułowej: „Mojemu koledze Ryszardowi Gajewskiemu z prośbą, aby tej książki nie pokazywał nikomu”. Podkreślił słowo „nikomu”.

Dlaczego opowiadam tak szczegółowo historię jednej dedykacji? Albowiem sporo lat później, w roku 1967, polskie władze bezpieczeństwa przeprowadziły rewizję w moim mieszkaniu. Rewizja była rozległa i bardzo dokładna. Przeglądano każdy list, każdą notatkę, każdą książkę. A gdy się rewizja skończyła, zabrano z mieszkania pudła materiałów uznanych za podejrzane. Wśród zakwestionowanych dokumentów znalazła

się książka *The Quest* z dedykacją autora. Przeprowadzający rewizję funkcjonariusze bezpieczeństwa najwyraźniej uznali, że jeżeli Infeld życzył sobie, by książki nie pokazywać „nikomu”, musi ona kryć w sobie jakieś ponure tajemnice. Poznawanie zaś tajemnic innych ludzi jest z definicji funkcją każdej tajnej policji. Jakże musieli być funkcjonariusze rozczarowani, gdy sobie uświadomili, że wszystko, co znaleźli, to garść pikantnych plotek, zrozumiałych tylko dla niewielkiego grona wtajemniczonych.

Aha! Nie, po dziś dzień nie zwrócono mi mojej książki. Używając języka fizyki matematycznej można by powiedzieć, że metody tajnych policji są niezmiennicze względem transformacji politycznych¹.

5. Inżynier-elektryk

Pracę magisterską wykonywałem pod kierunkiem profesora Rubinowicza. Jej tematem było rozchodzenie się impulsów elektromagnetycznych w falowodach. Gdy rozglądałem się za tematem pracy doktorskiej, profesor Infeld zwrócił mi uwagę na jedną ze swych prac, napisaną jeszcze w Kanadzie. Praca dotyczyła promieniowania dipola w falowodzie, w stanie ustalonym. Wyjaśnił, że bodźcem do zajęcia się tą tematyką było jej znaczenie dla techniki radarowej, a więc i dla wysiłku wojennego aliantów. Infeld dał mi odbitkę. Praca wyróżniała się prostotą, elegancją i, jak to teraz dostrzegam, znacznie wyprzedzała czas, w którym została napisana. Promieniowanie dipola umieszczonego w falowodzie o przekroju prostokątnym zostało przedstawione jako równoważne promieniowaniu w wolnej przestrzeni podwójnie nieskończonej sieci dipoli, składającej się z właściwego dipola i jego kolejnych odbić w ściankach falowodu. Zagadnienie zostało sprowadzone do zsumowania przyczynków od wszystkich dipoli tworzących nieskończoną sieć. Ostatecznie moja własna praca doktorska dotyczyła promieniowania dipola w falowodzie w stanie nieustalonym, łącząc w ten sposób obie koncepcje, Rubinowicza i Infelda.

¹ No, może niezupełnie. Już po moim wystąpieniu na zjeździe infeldowskim w Warszawie, gdzie przedstawiłem niniejsze wspomnienie, zachęcony przez przyjaciół zwróciłem się, za łaskawym pośrednictwem Ambasadora RP w Waszyngtonie, pana Jerzego Koźmińskiego, do odpowiednich władz w Polsce z prośbą o odszukanie i zwrot książki. No i właśnie otrzymałem bardzo uprzejmą odpowiedź: mimo „szczególnie usilnych” poszukiwań, książki nie udało się odnaleźć. *Habent sua fata libelli!*

Oczywiście, dzisiaj fizycy-teoretycy nie zajmują się falowodami. Te zagadnienia uważa się za domenę inżynierów-elektryków. Poza tym, w dzisiejszych czasach nikt nie rozwiązywałby praktycznego problemu promieniowania analitycznie. Używając ogólnie dostępnych programów obliczeniowych i mając do dyspozycji dostatecznie dużo czasu na maszynie cyfrowej, potrafimy obliczyć pole promieniowania dowolnej anteny w obecności przewodników o dowolnym kształcie. (Ta tematyka jest zresztą bardzo bliska temu, co moja firma, WaveBand Corporation, uprawia, by zarobić na życie!) Warto jednak zauważyć, że infeldowska sieć dipoli promieniujących w zgodnej fazie może być uważana za zwiastuna anten typu „phased array”, będących dziś w powszechnym użyciu wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba szybkiego sterowania wiązkami fal elektromagnetycznych. Różnica polega na tym, że anteny typu „phased array” mają skończoną liczbę elementów, i że ich dipole nie promieniają w zgodnej fazie.

6. Osobistość polityczna

Infeld przeniósł się z Kanady do Polski u szczytu nasilenia zimnej wojny. W owych czasach takie posunięcie miało samo przez się potężną wymowę polityczną. Nic dziwnego, że PZPR i rząd komunistyczny robili wszystko, by wykorzystać posunięcie Infelda dla swoich własnych politycznych celów. Infeld uczestniczył w tych poczynaniach dobrowolnie, czasem z większym, czasem z mniejszym entuzjazmem. Wydaje mi się, że przyjmując zaoferowany mu status znakomitości politycznej, Infeld całkiem świadomie zawarł faustowski pakt. Zgodził się używać swego nazwiska propagandzie komunistycznej, zwłaszcza na arenie międzynarodowej. W zamian za to otrzymał status i środki, które mu umożliwiły popieranie rozwoju zawodowego młodych, obiecujących fizyków-teoretyków. A jeżeli do tej transakcji miały być dorzucone „drobne przywileje” władzy, Infeld nie protestował. Tak więc prawdziwą satysfakcją sprawiał mu fakt posiadania na swym biurku „rządowego telefonu”, który pozwalał mu łączyć

się bezpośrednio z każdym dygnitarzem komunistycznej ekipy władzy.

Nie rozmawiałem z Infeldem na tematy polityczne w okresie, gdy był on u szczytu swoich politycznych wpływów. Rozmawialiśmy sporo o polityce pod koniec jego życia. Był całkowicie wyzbyty złudzeń na temat reżymu komunistycznego, rozczarowany jego polityką w dziedzinie nauki i kultury, zgorszony szalejącym oficjalnym antysemityzmem. Mimo złego stanu zdrowia i niepomny znacznego osobistego ryzyka, godził się publicznie przyłączać do ważnych inicjatyw protestujących przeciw polityce rządu. Owe inicjatywy były zwiastunami utworzenia Komitetu Obrony Robotników, który z kolei stał się zwiastunem Solidarności. A reszta, jak powiadają, jest historią.

7. Zakończenie

Chciałbym zakończyć to wystąpienie na bardzo osobistej nucie. Gdy spoglądam wstecz na

swoje życie, przychodzą mi na myśl trzy, może cztery osoby, które wywarły na mnie największy wpływ, ukształtowały mnie z lepszym czy gorszym skutkiem na tego, kim dzisiaj jestem. Jedną z nich był mój nie żyjący już ojciec. Inną, bez wątpienia, był profesor Infeld. To on odsłonił przede mną piękno teorii względności; nauczył mnie, jak uczyć; wskazał, jak ważne jest, by inwestować w młode talenty; pomógł zapoczątkować moją zawodową karierę fizyka. Ale jednego szczególnego wydarzenia nigdy nie zapomnę: w roku 1967 zostałem zatrzymany na 24 godziny przez władze bezpieczeństwa. Gdy nagle zniknąłem, rodzina i przyjaciele bardzo się niepokoiłi o mój los. Natychmiast po wypuszczeniu poszedłem do Instytutu. Gdy wchodziłem, Infeld spostrzegł mnie w korytarzu. Bez słowa podszedł do mnie, objął mnie i ucałował w oba policzki.

Tak, dla mnie, i dla wielu innych, był on jak ojciec!

Synteza nowych pierwiastków w Berkeley

Adam Sobiczewski

Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Warszawa

Synthesis of new elements in Berkeley

Abstract: Synthesis of two new elements: 116 and 118, performed in the Lawrence Berkeley Laboratory by irradiation of lead ^{208}Pb by krypton ^{86}Kr , is shortly described.

1. Wstęp

Jak zwróciliśmy uwagę w artykule opisującym syntezę dwóch izotopów pierwiastka o liczbie atomowej $Z = 114$ w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej [1], wkrótce po tym wydarzeniu nadeszła wiadomość z Berkeley o dokonaniu tam syntezy dwóch nowych pierwiastków o $Z = 116$ i 118 [2]. W Laboratorium im. Lawrence'a w Berkeley dokonano uprzednio syntezy wielu pierwiastków transuranowych, poczynając od neptunu (Np, $Z = 93$) otrzymanego w 1940 r. W ostatnich jednak latach aktywność tego Laboratorium w tym zakresie była mniejsza. Wznowienie jej jest ściśle związane z ukończeniem budowy napełnionego gazem separatora produktów syntezy jądrowej (Berkeley Gas-filled Separator, BGS).

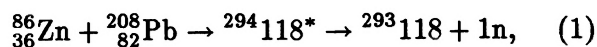
Synteza pierwiastka 118 (zamykającego przewidywaną grupę pierwiastków transaktynowcowych o $Z = 104 - 118$) jest wydarzeniem dość nieoczekiwanym. Sądzone bowiem, że przekrój czynny na jego wytworzenie jest za mały, by można było otrzymać go już teraz.

Celem niniejszego artykułu jest krótkie omówienie eksperymentu, który doprowadził do syntezy, i głównych jego wyników. Czytelników zainteresowanych bardziej szczegółowymi informa-

cjami, jak wygląda obecnie tego typu eksperyment, odsyłamy do artykułu [3].

2. Eksperyment i jego wyniki

Pierwiastek 118 wytworzony został przez naświetlanie ołowiu ^{208}Pb kryptonem ^{86}Kr . Sądzi się, że zaszło to w reakcji tzw. chłodnej syntezy



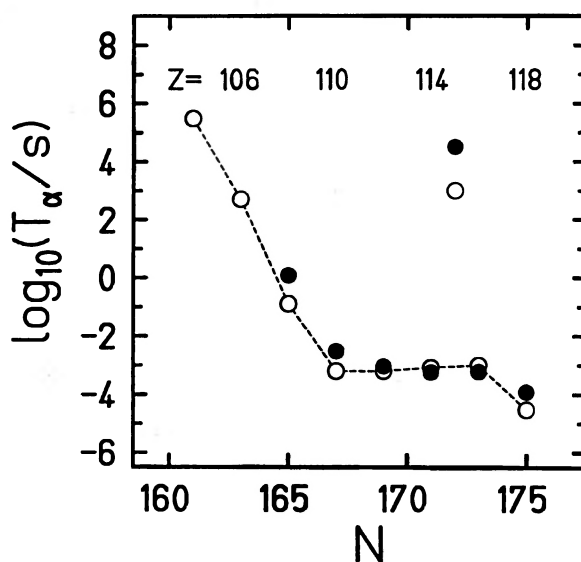
tj. reakcji, w której powstające z połączenia się dwóch zderzających się jąder jądro złożone ($^{294}_{118}\text{Zn}^*$) jest stosunkowo słabo wzbudzone („chłodne”) i emituje tylko jeden neutron ($1n$), dając jądro końcowe ($^{293}_{118}\text{Zn}$). Przeprowadzone symulacje innego przebiegu rozpadu jądra złożonego $^{294}_{118}\text{Zn}^*$ (np. emisji cząstki α lub protonu, zamiast neutronu) pokazują, że emisja jednego neutronu jest najbardziej prawdopodobna.

Dziewiętnastokrotnie zjonizowane atomy kryptonu $^{86}\text{Kr}^{+19}$ przyspieszane były do energii 449 MeV za pomocą tamtejszego cyklotronu (o średnicy 88 cali). Natężenie wiązki wynosiło $1,9 \times 10^{12}$ jonów na sekundę. Odbyły się dwa naświetlenia, w okresie 8–12 kwietnia i 30 kwietnia – 5 maja 1999 r., w ciągu których całkowita dawka jonów ^{86}Kr wyniosła $2,3 \times 10^{18}$. Zaobserwowano

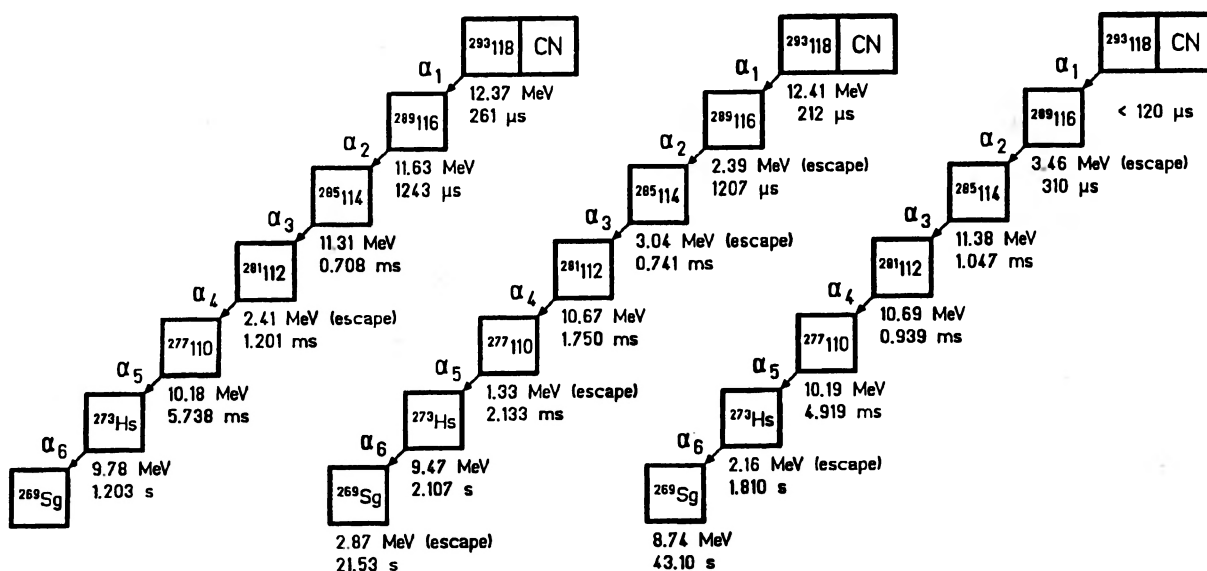
3 łańcuchy genetyczne (tj. skorelowane w czasie sekwencje rozpadów jądrowych, zachodzących w tym samym miejscu detektora, patrz np. [3]), składające się z 6 rozpadów α jądra wyjściowego, w których zmierzono zarówno energię kinetyczną emitowanej cząstki α , jak i czas życia emitującego ją jądra. Zgodnie z reakcją (1), jądro wyjściowe zinterpretowano jako jądro $^{293}118$. Otrzymanie 3 jąder $^{293}118$ w czasie eksperymentu oznacza, że przekrój czynny na syntezę tego jądra wynosi ok. 2,2 pb. Wszystkie 3 łańcuchy pokazane są na rys. 1. Przy każdej kolejno emitowanej cząstce α podana jest wartość jej zmierzonej energii kinetycznej oraz czasu życia (istnienia) jądra do chwili jej emisji. Zapis (w nawiasie) „escape” oznacza, że cząstka uciekła z detektora, tracąc w nim tylko część (zmierzoną i podaną) swojej energii kinetycznej. Wydedukowane ze zmierzonych czasów życia czasy połowicznego zaniku T_α dla kolejnych 6 jąder łańcucha, od $^{293}118$ do ^{273}Hs , wynoszą odpowiednio: 120 μs , 600 μs , 580 μs , 890 μs , 3,0 ms i 1,2 s.

Zmierzone wartości dobrze zgadzają się z przewidywaniami teoretycznymi. Dla przykładu podajemy na rys. 2 porównanie wartości doświadczalnych T_α z obliczonymi teoretycznie w 1995 r. [4]. Podobnie dobra jest zgodność dla energii rozpadu Q_α .

Zgodność ta jest ważnym argumentem za poprawnością interpretacji wyników doświadczalnych. W zaobserwowanych bowiem łańcuchach nie ma jąder poznanych uprzednio. Wszystko jest nowe: wszystkie 6 jąder, w tym 2 nowe pierwiastki (116 i 118). Obliczenia teoretyczne trwałości jąder superciężkich prowadzone są od dawna, w szczególności w Polsce (por. np. [5-7]).



Rys. 2. Porównanie zmierzonych wartości T_α (pełne kółka) z przewidzianymi teoretycznie (puste kółka).



Rys. 1. Trzy łańcuchy genetyczne zaobserwowane przy syntezie pierwiastka 118. Przy każdym rozpadzie α podana jest zmierzona energia kinetyczna cząstki α oraz czas trwania jądra do momentu rozpadu. Symbol CN oznacza jądro złożone (Compound Nucleus), tj. jądro $^{294}118^*$ [2].

Jest miłą informacją, że przeprowadzenie reakcji (1) zaproponował autorom eksperymentu dr Robert Smolańczuk z Instytutu Problemów Jądrowych w Warszawie, a jednym z autorów tego eksperymentu jest znany fizyk jądrowy dr Władysław Świątecki, Polak pracujący od wielu lat w Laboratorium im. Lawrence'a w Berkeley. Dr Smolańczuk oszacował prawdopodobieństwa zajścia różnych reakcji, prowadzących do syntezy najcięższych jąder [8].

W związku i z egzotycznością wyników opisanego eksperymentu, i z problemami z jego interpretacją, wkrótce po jego wykonaniu podjęta została próba jego powtórzenia w Instytucie Ciężkich Jonów (GSI) w Darmstadtzie, gdzie zsyntetyzowano uprzednio kilka najcięższych pierwiastków. Próba ta nie dała pozytywnego rezultatu [9]. Oszacowano tylko górną granicę przekroju czynnego na 2,8 pb, która nie jest w sprzeczności z wynikiem berkeleyowskim. Warto jednak zwrócić uwagę, że przekrój czynny, charakteryzujący prawdopodobieństwo zajścia reakcji, bardzo silnie zależy od energii pocisków. Stosunkowo niewielka zmiana tej energii może to prawdopodobieństwo znacznie zwiększyć lub zmniejszyć. Stąd szuka się zwykle optymalnej energii, dającej maksimum

prawdopodobieństwa (przekroju czynnego). Wymaga to jednak długiego czasu naświetlania i z reguły nie daje się w pełni zrealizować.

Wkrótce podjęta będzie w GSI następna próba powtórzenia opisanego eksperymentu [9].

Literatura

- [1] A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **50**, 204 (1999).
- [2] V. Ninov i in., *Phys. Rev. Lett.*, posłane do druku (1999).
- [3] P. Armbruster, S. Hofmann, A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **46**, 431 (1995).
- [4] R. Smolańczuk, A. Sobiczewski, *Proc. XV Nucl. Phys. Conf.: Low Energy Nuclear Dynamics*, St. Petersburg (Russia) 1995, red. Yu.Ts. Oganessian, W. von Oertzen, R. Kalpakchieva (World Scientific, Singapore 1995), s. 313.
- [5] R. Smolańczuk, J. Skalski, A. Sobiczewski, *Phys. Rev. C* **52**, 1871 (1995).
- [6] A. Staszczak, Z. Łojewski, A. Baran, B. Nerlo-Pomorska, K. Pomorski, *Proc. 3rd Int. Conf. on Dynamical Aspects of Nuclear Fission*, Casta-Papiernicka (Slovakia) 1996, red. J. Kliman, B.I. Pustyl'nik (JINR, Dubna 1996), s. 22.
- [7] S. Ówiok, J. Dobaczewski, P.-H. Heenen, P. Magierski, W. Nazarewicz, *Nucl. Phys. A* **611**, 211 (1996).
- [8] R. Smolańczuk, *Phys. Rev. C* **59**, 2634 (1999).
- [9] S. Hofmann, wiadomość prywatna (1999).

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Ogólnopolskie Seminarium Rozpraszania Neutronów

W dniach 18–20 października 1998 r. w Domu Pracy Twórczej Polskiej Akademii Nauk w Mądralinie k. Otwocka odbyło się kolejne Ogólnopolskie Seminarium Rozpraszania Neutronów. Organizatorami Seminarium były: Instytut Energii Atomowej w Świerku, Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Polskie Towarzystwo Rozpraszania Neutronów.

W spotkaniu wzięło udział 23 uczestników z Krakowa, Poznania, Świerku, Warszawy i Wrocławia. Wygłoszono 17 referatów poświęconych różnym aspektom rozpraszania neutronów na kryształach. Zagadnieniom dynamiki sieci poświęcone były trzy wykłady: J. Mayera (reprezentującego zespół krakowski) o dynamice reorientacyjnej kationów $(\text{CH}_3\text{NH}_3)^+$ w związkach $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_5\text{Bi}_2\text{Cl}_{11}$ i $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{Bi}_2\text{Br}_{11}$, A. Pawlukoja o wiązaniu wodorowym w aminokwasach oraz I. Natkańca o dynamice grup metylowych w stałych ksylenach. Zagadnieniom dynamiki sieci magnetyków poświęcone były referaty: K. Mikkego o metalach 3d w fazie paramagnetycznej, J. Jankowskiej-Kisielińskiej o anizotropii dynamicznej podatności magnetycznej w stopie Mn-38% Ni w pobliżu temperatury Néela. B. Idzikowski mówił o falach spinowych w stopach amorficznych, a A. Czachor – o krzywych dyspersji magnonów w nieuporządkowanych magnetykach. Szeroko omawiano zagadnienia struktur magnetycznych: R. Troć przedstawił systematykę struktur magnetycznych potrójnych związków uranu, Tran Vinh-Hung – struktury magnetyczne układów Konda U_2PdGa_3 i U_2PtGa_3 , R. Przeniosło – magnetyczne przejście fazowe w $\text{CaMn}_7\text{O}_{13}$, S. Baran – dane o strukturze krystalicznej i magnetycznej związków RAuGe , H. Figiel – informacje o strukturze związków YMn_2D_1 , natomiast A. Szytuła omówił wpływ pierwiastka d-elektronowego na strukturę magnetyczną związków RT_2X_2 .

Omówiono również zagadnienia związane z pomiarami przy nowym źródle spalacyjnym SINQ w Villigen w Szwajcarii (A. Murasik), otrzymaniem mionów przy spalacyjnych źródłach neutronów (H. Figiel), projektem spalacyjnego źródła neutronów AUSTRON (H. Figiel), rozpraszaniem neutronów podczas transportu w dużych objętościach materii (K. Drozdowicz) oraz badaniem blend polimerowych metodami niskokątowego rozpraszania neutronów (W. Zając).

Podsumowując Seminarium, prof. J. Janik podkreślił wysoki poziom naukowy poszczególnych wystąpień. Szczególnie wysoko ocenił wyniki uzyskane przez K. Mikkego i J. Jankowską-Kisielińską.

Uczestnicy konferencji otrzymali materiały zawierające streszczenia wykładów.

Seminarium spełniło swój cel, bo przyczyniło się do dalszej integracji środowiska fizyków polskich, zajmują-

cych się problemami badania struktury i dynamiki sieci krystalicznej z wykorzystaniem rozpraszania neutronów.

Kolejne spotkanie odbyło się w dniach 29.04–1.05.1999 r. w Poznaniu.

Andrzej Czachor

Instytut Energii Atomowej
Świerk

Andrzej Szytuła

Instytut Fizyki UJ
Kraków

„Od kosmologii do kwantowej grawitacji”

XXXV Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej „Od kosmologii do kwantowej grawitacji”, zorganizowana tradycyjnie przez Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego, odbyła się w dniach od 2 do 12 lutego 1999 r. w Polanicy. Tematyka szkoły była bardzo szeroka i obejmowała głównie kwantową teorię grawitacji, teorię superstrun, fale grawitacyjne i kosmologię. Organizatorom udało się zgromadzić bardzo dobrą grupę wykładowców i od pierwszego dnia trwały ożywione dyskusje nad wieloma problemami związanymi z próbami stworzenia kwantowej teorii grawitacji. Najliczniej reprezentowana była grupa zajmująca się kwantowaniem grawitacji à la Ashtekar, z samym „guru” na czele. Ostatnio prócz coraz dokładniejszego formułowania kwantowej teorii grawitacji w języku zmiennych Ashtekara rozpoczęto badanie konkretnych sytuacji. Ashtekar pokazał, jak jego teorię można zastosować do obliczenia liczby stopni swobody czarnej dziury, która jest przez pewien czas statyczna. Ostateczny wynik pokrywa się z klasycznymi rezultatami Bekensteina i Hawkinga. Bardziej matematyczne były referaty Rovellego i Lewandowskiego. Rovelli zajmował się ogólnym sformułowaniem kwantowej teorii grawitacji korzystając z zmiennych Ashtekara. Lewandowski pokazał, że koncepcje Ashtekara można ująć w ramy ścisłej teorii matematycznej.

B. Carter przedstawił geometryczny opis klasycznych strun i membran. J. Louko podał sposób nowej topologicznej interpretacji diagramów Kruskala-Penrose’a, a następnie pokazał, że w takiej czasoprzestrzeni można uprawiać kwantową teorię pola. Jedyne kosmologiczne akcentem były wykłady M. Szaposznikowa poświęcone procesom fizycznym zachodzącym we wczesnym Wszechświecie. Szaposznikow przedstawił kilka teorii powstawania barionów, ale żadna z nich nie była w pełni zadowalająca. R. Kerner omówił w prosty i przystępny sposób najważniejsze elementy niekomutatywnej geometrii i pokazał ich związek z programem kwantowania grawitacji. Największe uznanie wśród słuchaczy zyskał G. Camelin-Amelia, który z prawdziwie południowym temperamentem

tem i polem przedyskutował możliwości obserwacyjnych efektów kwantowej natury czasoprzestrzeni. L. Lusanna referował swoje prace nad kanonicznym podejściem do kwantowania grawitacji i innych pól sprzęgających się z polem grawitacyjnym.

W drugim tygodniu szkoły prym wiedli strunowcy. L. Smolin przedstawił ogólne koncepcje sformułowania teorii strun w sposób czysto algebraiczny, bez odwoływania się do jakiegokolwiek czasoprzestrzeni tła. J.W. Van Holten przedyskutował dynamikę małych zaburzeń czasoprzestrzeni koncentrując się głównie na zaburzeniach tensorowych, a następnie przedstawił kilka ścisłych rozwiązań równań Einsteina opisujących pola grawitacyjne płaskiej fali elektromagnetycznej i strumienia neutrin. Problemom związanym z interpretacją kwantowej kosmologii poświęcone były dwa referaty C. Kiefera. S. Majid przedstawił prosty model dwuwymiarowej teorii kwantowej łączącej mechanikę kwantową z teorią grawitacji. B. de Wit w dawnym dobrym stylu wykładów przedstawiających nie tylko ogólne zasady, ale również najważniejsze obliczenia, opowiedział o modelu supersymetrii i supergravitacji w przestrzeni anty de Sittera. Drugi referat de Wita poświęcony był supersymetrycznym czarnym dziurom. K. Skenderis przedstawił najnowsze wyniki badania czarnych dziur w teorii superstrun. Dużym sukcesem tej teorii jest obliczenie liczby wewnętrznych stopni swobody dowolnej czarnej dziury i pokazanie, że prowadzi to do poprawnej wartości entropii czarnej dziury, zgodnie z oszacowaniami Bekensteina i Hawkinga. K. Kokkotas opowiedział o budowanych obecnie antenach fal grawitacyjnych i możliwych astrofizycznych źródłach fal grawitacyjnych. Punktem kulminacyjnym szkoły była dyskusja okrągłego stołu prowadzona przez L. Smolina. Burzliwą dyskusję, dotyczącą wielu aspektów prób stworzenia kwantowej teorii grawitacji, w której nie brak było oznak frustracji oraz optymistycznych akcentów związanych z niewątpliwym sukcesem, jakim jest możliwość obliczenia liczby we-

wewnętrznych stopni swobody czarnej dziury, można podsumować następującym postulatem: trzeba próbować stworzyć kwantową teorię grawitacji i teorię superstrun bez odwoływania się do czasoprzestrzeni tła. Innymi słowy, czasoprzestrzeń trzeba zbudować, a nie postulować jej istnienie od samego początku.

Zajęcia szkoły odbywały się w wygodnym hotelu. Polanica po ostatniej powodzi nie miała do zaoferowania praktycznie żadnych atrakcji i wobec tego uczestnicy szkoły wiele czasu spędzali na dyskusjach. Szkoła była bardzo dobrze zorganizowana. Szkoda jedynie, że wśród uczestników nie było większej grupy studentów.

Dla pełności obrazu podajemy, że na szkole wygłoszono następujące wykłady: A. Ashtekar – Classical and quantum physics of isolated horizons, C. Rovelli – Loop quantum gravity and the meaning of diffeomorphism invariance, J. Lewandowski – Quantum geometry, L. Smolin – A background independent approach to string theory, C. Kiefer – Conceptual issues in quantum cosmology, B. Carter – Geometrical dynamics of classical strings and branes, J. Louko – Single exterior black holes, M. Szaposhnikov – Physics of the early universe, G. Amelino-Camelia – A testable characterization of quantum space-time, S. Majid – Quantum differentials and the Planck scale, R. Kerner – Non-commutative geometry: an overview, J.W. Van Holten – Classical and quantum dynamics in general relativity, B. de Wit – Anti de Sitter supersymmetry and supergravity; Supersymmetry and black holes, K. Skenderis – Black holes and string theory, L. Lusanna – Dirac-Bergmann's canonical reduction and observables, K. Kokkotas – Gravitational waves. Theory, sources, and detectors.

Marek Demiański

Instytut Fizyki Teoretycznej UW
Warszawa

RECENZJE

Spektrometria mas

Edmond de Hoffmann, Jean Charette, Vincent Stroobant: *Spektrometria mas*, z jęz. francuskiego tłumaczył Leszek Konopski, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998, s. 324 (podręcznik akademicki dotowany przez Ministerstwo Edukacji Narodowej).

Recenzowana książka ma charakter podręcznika i zarazem monografii z zakresu nowoczesnej spektrometrii mas w chemii organicznej. Tytuł książki jest zbyt ogólny, jako że dzisiaj spektrometria mas jest dyscypliną bardzo szeroką, trudną do ogarnięcia przez specjalistę z jednej dziedziny. Książka została napisana dla studentów chemii i pracowników naukowych zajmujących się ustalaniem budowy cząsteczek organicznych oraz analizą zawartości

związków chemicznych w próbkach wód, materiałów organicznych, biochemicznych, biomedycznych, farmakologicznych itp.

Omawiana pozycja jest tłumaczeniem pierwszego wydania francuskiego z 1994 r., zatem zawartość książki jest bardzo aktualna. Autorami są belgijscy naukowcy z Uniwersytetu w Louvain-la-Neuve.

Celowość wydania tej pozycji widzę w jej aktualności i nowoczesności. Dostarcza ona wiedzy podstawowej, a także praktycznej w zakresie spektrometrii mas molekuł organicznych (budowa i działanie aparatury, metody jonizacji cząsteczki, kombinacje aparaturowe chromatograf-spektrometr, spektrometr-spektrometr). Muszę jednak stwierdzić, że omówienie fizycznych podstaw spektrometrii mas stanowi dość słabą stronę tej książki (o czym

piszę poniżej) i w tym zakresie odesłałbym Czytelnika do monografii *Spektrometria mas i elektromagnetyczna separacja izotopów* (PWN, Warszawa 1980) pod red. Włodzimierza Żuka – pozycji pominiętej w wykazie wydawnictw w języku polskim (Dodatek 10B).

Treść książki jest podzielona na 8 rozdziałów, których tytuły są następujące: 1. Źródła jonów – metody jonizacji, 2. Analizatory, 3. Sprzężenie chromatografii ze spektrometrią mas, 4. Tandemowa spektrometria mas (MS/MS), 5. Informacje analityczne, 6. Reakcje fragmentacji, 7. Analiza wielkocząsteczkowych związków pochodzenia naturalnego, 8. Ćwiczenia i odpowiedzi.

Do tego należy dodać wstęp, zawierający zwięzłą historię spektrometrii mas od odkrycia jonów dodatnich przez Goldsteina (1886) do opracowanej przez Fenna (1986) metody jonizacji przez rozpylenie strumienia cieczy w polu elektrycznym, schemat blokowy spektrometru mas oraz życiorys F.W. Astona – laureata Nagrody Nobla (1922 r.) za odkrycie (za pomocą zbudowanego przez siebie spektrografu mas) izotopów pierwiastków chemicznych.

Ponadto książka zawiera skorowidz rzeczowy oraz szereg cennych dodatków, takich jak nazewnictwo, wykaz skrótów i akronimów, tablice izotopów i intensywności jonów cząsteczek zbudowanych z odmian izotopowych C, H, O i N, a także tablice użytecznych stałych termodynamicznych.

Zaletami książki są: zwięzłość, przejrzystość oraz nowoczesność omawianych tematów. Dotyczy to szczególnie zagadnień analizy neutralnych związków wielkocząsteczkowych i nie niszczących metod ich jonizacji (FAB, ESI i MALDI). Literatura podstawowa i najnowsza jest cytowana w licznych przypisach, a także w przypisach tłumacza.

Niestety, książka posiada też niedostatki redakcyjne, utrudniające zrozumienie niektórych fragmentów rozdziałów. Poniżej podaję wykaz dostrzeżonych błędów w celu ich poprawienia w następnym wydaniu:

25⁹: we wzorze na natężenie prądu jonowego znalazła się objętość V zamiast długości wiązki elektronowej l , ponadto współczynnik proporcjonalności N nie jest stały, lecz zależy od energii elektronów;

38⁶: eV zamienić na keV;

50⁴: częstotliwość pola zamienić na częstotliwość zmian pola;

67: poprawić wzory na t i t^2 :

$$t = \frac{d}{v}, \quad t^2 = \frac{m}{z} \left(\frac{d^2}{2eV_s} \right);$$

69: w Polsce używamy reguły lewej ręki Fleminga zamiast pokazanej na rysunku reguły prawej dłoni;

70³, równ. (2): zamienić ν na v ;

70¹⁸: zamiast „analizator sektorowy magnetyczny w zasadzie dzieli jony według ich momentu pędu” winno być: „sektorowe pole magnetyczne jest analizatorem pędu” (a nie momentu pędu!);

71³: zamiast „Siła przyciągania elektrycznego równoważy siłę odśrodkową” winno być: „Siła działająca na cząstkę

o ładunku q w sektorowym polu elektrycznym jest siłą dośrodkową, czyli...”;

71¹⁰: „ich moment pędu” zamienić na „ich pęd”;

74⁶, rys. 2: zamiast „powielacz elektronowy” winno być „kolektor jonów”;

88⁴: ν poprawić na v ;

89⁷: jw., ponadto przetłumaczyć słowo „ekspulsja” na „wydalanie”; dotyczy to również s. 66;

90¹⁴: niezrozumiałe zdanie „W wyniku...” powinno brzmieć następująco: „W wyniku tego uzyskuje się wzrost promienia jonów oraz wyrównanie ich fazy w ruchu po okręgu”;

99⁴: uzupełnić definicję channeltronu: „w postaci rogu z rur wykonanych ze szkła ołowiowego o wyredukowanej wodorem powierzchni wewnętrznej...”;

97⁴: zmienić podpis rys. 2.40 na „Schemat detektora Daly’ego”;

150: przyp. tłum. zawiera błędną interpretację globalnego zróżnicowania składu izotopowego wodoru i tlenu w wodzie; woda w obszarze równikowym jest izotopowo cięższa nie z powodu działania siły odśrodkowej, lecz wyższej temperatury;

175: słowo „quasi equilibrium” zostało przetłumaczone jako „równowaga pozorna”; chyba lepiej byłoby zostawiać termin „kwazirównowaga” niż wprowadzać błędny;

177⁷: „liczbę stopni swobody ΔS^* ” zamienić na „zmianę entropii ΔS^* ”; wcześniej we wzorze na $k(E)$ powinno się zmienić oznaczenie z S na n (liczbę wewnętrznych stopni swobody);

178⁴: „część jonów $P(E)$...” zamienić na „gęstość prawdopodobieństwa jako funkcja energii jonów”;

194: w reakcji (4) został z prawej strony opuszczony indeks „minus” przy cząsteczce BX;

276⁴: poprawić definicję rozdzielczości przez zmianę „słabszego” na „drugiego” (w tej definicji oba maksima są jednakowej wysokości!);

277¹: „izolowanego” zamienić na „pojedynczego”;

284²: nie objaśniony przypis (1).

Graficznie książka została wydana bardzo starannie. Twarda oprawa, dobrze wybrane ilustracje, kilka interesujących tekstów w ramkach, 12 ćwiczeń do samodzielnego rozwiązywania (z odpowiedziami), tablice, skorowidz rzeczowy, spis treści – są to miłe do odnotowania walory wydawnicze książki; wszystko to przy cenie wynoszącej 23 zł 50 gr. Jakość tłumaczenia jest na ogół dobra, z kilkoma „wpadkami” wyszczególnionymi wyżej.

W podsumowaniu należy wyrazić uznanie Tłumaczowi i Wydawnictwu, że udostępnił polskiemu czytelnikowi książkę przedstawiającą najnowsze osiągnięcia w analizie widm związków organicznych, która cieszyła się dużym powodzeniem w krajach europejskich, a jej angielskojęzyczna wersja była bestsellerem na rynku amerykańskim w 1997 r.

Stanisław Hałas

Instytut Fizyki UMCS, Lublin
(halas@tytan.umcs.lublin.pl)

Zjawiska krytyczne

J.J. Binney, N.J. Dowrick, A.J. Fisher, M.E.J. Newman: *Zjawiska krytyczne. Wstęp do teorii grupy renormalizacji*, z jęz. angielskiego przełożyli Grzegorz Musiał i Piotr Pawlicki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998, s. 488.

Staraniem Wydawnictwa Naukowego PWN ukazał się przekład książki J.J. Binneya i współpracowników pt. *Zjawiska krytyczne. Wstęp do teorii grupy renormalizacji*, wydanej w 1992 r. przez Clarendon Press. Szkoda, że nie jest to przekład na język polski.

Na niemal 500 stronach tekstu tłumacze dają dowód na to, że bardzo słabo znają język angielski, a zupełnie źle polski. Tłumacze nie znają polskiej terminologii fachowej, myślą powszechnie znane pojęcia, opuszczają zdania oryginału, itp., itd. Nie zamierzam marnować lasów na jałowe przepisywanie litanii błędnych fragmentów tekstu. Deponuję w redakcji *Postępów* dostarczony mi egzemplarz książki z zaznaczonymi błędami. Chciałbym tylko poprosić przyszłych tłumaczy i wydawców tekstów z fizyki, by byli uprzejmi zwracać uwagę choćby tylko na to, że przejścia są dla pieszych na ulicy, natomiast w przyrodzie zachodzą przemiany fazowe. Prosiłbym o niewypisywanie takich bzdur, jak w przypisie 8 na s. 27 o parametrze szczelinowym (gap) albo o podgrzewaniu wody w solidnym naczyniu na s. 15. Dobrze byłoby nie zmieniać sensu zdań autorów i nie pisać o teorii pola ze skalowaniem, gdy autorzy piszą o teorii pola z cechowaniem (s. 44), oraz nie opuszczać co trudniejszych zdań (na tejże stronie). Prosiłbym o zachowanie zdrowego rozsądku i niepisanie zdań-potworów, jak ostatnie zdanie na s. 62 i pierwsze na s. 63. Prosiłbym nie pisać o energii hamiltonianu, jak w zdaniu następnym, bo to i czytać, i słuchać nie przystoi. Dobrze by było też pisać „Zadania” zamiast „Problemy” i nie przerzucać mostów w klasterach, jak na s. 74, oraz odróżniać terminologię fizyki od pseudojęzyka piłkarskiego (macierz transferu na s. 76). Prosiłbym nie pisać, że blokowanie układu to jest to samo co dzielenie układu na bloki (s. 136). Chciałbym również prosić o to, aby redaktorzy wydający publiczne pieniądze (książka była dotowana przez MEN) posiadali minimum wiedzy, pozwalające im zareagować przy lekturze takich bzdur, jak rozważania o kuli armatniej i ziarnku piasku wyskakującym ze zlewki (s. 405).

Fizyka statystyczna, jeden z podstawowych działów fizyki współczesnej, przeżywa pod koniec XX w. głęboki kryzys. Podobnie jak w wielu innych działach fizyki, poczyniliśmy gigantyczny krok do przodu w zbudowaniu aparatu formalnego i pojęciowego fizyki statystycznej, rozwiązaliśmy szereg problemów (używam tego słowa we właściwym znaczeniu, tj. nie tak jak w recenzowanej książce), które pod koniec XIX w. wydawały się nierozwiązywalne. Nauczyliśmy się też stosować ten aparat formalny w wielu innych dziedzinach nauki, nie tylko fizyki. Tryumfy, acz już należące do przeszłości, fizyków na Wall Street to najlepszy dowód uniwersalności zastosowań tego działu fizyki. Wiele z podstawowych pytań fi-

zyki statystycznej pozostało jednak nadal bez odpowiedzi. Uczestnicy tegorocznego Zjazdu IUPAP-u Fizyki Statystycznej w Paryżu, którym udało się przedrzeć przez straż miejską i wziąć udział w debacie o odwracalności, odnieśli wrażenie, że niewiele posunęliśmy się tu do przodu od czasów Gibbsa.

Działem fizyki statystycznej, który niebawem rozwinął się w latach siedemdziesiątych, była fizyka przemian fazowych. Przełom w zrozumieniu istoty przemian fazowych, zapoczątkowany w latach czterdziestych podaniem przez Larsa Onsagera ścisłego rozwiązania dwuwymiarowego modelu Isinga, dopełnił się w uhonorowanych Nagrodą Nobla pracach Kennetha G. Wilsona, inicjujących zastosowanie metod grupy renormalizacji w fizyce układów wielu ciał. Właśnie tej teorii, potężnej maszynie matematycznej o wielu wątkach, poświęcona jest recenzowana książka.

Autorzy tej monografii nie byli pierwszymi, którzy chcieli przybliżyć metodę grupy renormalizacji szerokiemu gronu czytelników. Starali się, o czym piszą we Wstępie, udostępnić tekst także tym czytelnikom, którzy nie mają przygotowania ze współczesnej teorii pola. W moim przekonaniu zamiar ten się nie powiódł. Książka jest przydatna tym, którzy znając fizykę statystyczną i jej podstawy, a także podstawy kwantowej teorii wielu ciał, chcieliby nauczyć się praktycznego posługiwania się metodami grupy renormalizacji. Ponieważ szczyt zainteresowania zjawiskami krytycznymi w zakresie objętym książką już minął, liczba czytelników chcących się tak szczegółowo nauczyć metody grupy renormalizacji jest dość mała. Fizycy z innych dyscyplin mają pod dostatkiem swoich własnych książek, często na lepszym poziomie naukowym i dydaktycznym niż książka Binneya i innych. Student zainteresowany fizyką przemian fazowych, czy też szukający tego, co jest dziś ciekawe w fizyce statystycznej – czy to klasycznej, czy kwantowej – powinien sięgnąć po inne książki.

Łukasz A. Turcki

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN
i Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Odpowiedź Wydawcy

Po zapoznaniu się z recenzją książki pragnę podzielić się kilkoma spostrzeżeniami i odpowiedzieć na niektóre konkretne uwagi zawarte w recenzji.

1. „Przejścia fazowe” to termin od lat używany przez fizyków i chemików wymiennie z terminem „przemiany fazowe”, patrz np. *Encyklopedia fizyki* (PWN, 1972), *Chemia. Ilustrowana encyklopedia dla wszystkich* (WNT, 1990).

2. „Solidne naczynie” to tłumaczenie słów „stout vessel”. Jak Recenzent proponuje je przetłumaczyć?

3. „Energia hamiltonianu” w drugim zdaniu na s. 63 – słowo „energia” dotyczy ferromagnetyka, o którym przez cały czas tutaj piszą autorzy; przy tym zgadzam się, iż tłumaczenie tego fragmentu nie jest poprawne pod względem stylistycznym.

4. Dlaczego, zdaniem Recenzenta, muszą być „zadania”? W podręcznikach akademickich często używa się słowa „problemy”; poglądy czy przyzwyczajenia Recenzenta niewielkie tu mają znaczenie.

5. „Mosty w klasterach” – nie wiem, czy chodzi Recenzentowi o mosty, czy też o klasterki? Te ostatnie to termin używany od lat w polskojęzycznej literaturze fizycznej i chemicznej, przy czym część autorów woli „grona”; no cóż, nie pierwszy to raz w nauce współistnieją dwa terminy będące synonimami. Co do mostów, to nie znaleźliśmy innego tłumaczenia niż dosłowne – słowa „bridges” autorzy recenzowanej książki konsekwentnie używają w dalszym ciągu tekstu.

6. „Rozważania o kuli armatniej i ziarnku piasku” są dokładnym tłumaczeniem przykładu zawartego w oryginalnej. Książka była recenzowana przed wydaniem, a decyzję o przyznaniu dotacji na ten cel podjęła odpowiednia komisja MEN.

Na wszystkie inne ogólne stwierdzenia krytyczne trudno jest odpowiedzieć nie wiedząc, co Recenzent miał na myśli. Trzeba jednak przyznać, że tłumaczenie omawianej książki pozostawia wiele do życzenia. Jedynym argumentem, jaki można by wysunąć w obronie Wydawcy, jest śmierć głównego tłumacza (i specjalisty w dziedzinie, której dotyczy książka), p. Piotra Pawlickiego, w trakcie przygotowywania książki do druku. Opóźniło to znacznie prace redakcyjne, a w konsekwencji wywołało ogromny pośpiech na etapie składu i korekt książki, spowodowany koniecznością opublikowania tłumaczenia w terminie ściśle określonym przez sponsora publikacji, czyli MEN. Oczywiście powyższe usprawiedliwienie nie zwalnia nas z odpowiedzialności za znajdujące się w książce nieliczne błędy merytoryczne, a także stylistyczne i korektorskie, za które Wydawca przeprasza wszystkich Czytelników, w tym także Recenzenta.

Uważam jednak, że ton recenzji, mimo iż Recenzent ma miejscami rację, jest nie do przyjęcia i świadczy o kompletnym braku kultury. Bycie wielkim uczonym i świetnym fizykiem nikomu nie daje prawa do wypowiedziania się w sposób obrażający Tłumaczy i Redaktorów książki, której ta wypowiedź dotyczy. Poza tym tendencyjne odstraszenie Czytelników od recenzowanej książki też nie leży w sferze dobrych obyczajów. Nasuwa się pytanie: skąd, na przykład, Recenzent wie, że jest mało osób, które chcą nauczyć się praktycznego posługiwania się metodami grupy renormalizacji? Tempo sprzedaży książki Binneya i innych przeczy zawartym w recenzji sugestiom. A co wspólnego z recenzowaną książką mają informacje o paryskiej debacie o odwracalności?

Anna Szemberg

Redaktor Działu Matematyki, Fizyki i Chemii
Wydawnictwo Naukowe PWN

O „odchamianiu” i „odchamiaczach”

Brian G. Wybourne: *Physics as a Journey*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1998, s. 174, cena 12 zł.

Około dziesięciu lat temu na studiach fizyki zaczęto wprowadzać nową kategorię zajęć dla studentów. Chodzi mi tu o przedmioty ogólne, nie związane z zasadniczym kierunkiem studiów. A więc nie fizyka, nie matematyka, ale coś innego. Studenci mogą wybierać: może być to wykład z historii, kultury, czy np. kryminalistyki. Idea wprowadzenia tych zajęć do programu jest oczywista. Studenci, mimo że nauczyli się dobrze różnych działów fizyki, matematyki i działów zbliżonych, niewiele wiedzą np. o historii. Dobrze byłoby więc, żeby zanim opuszczą mury uczelni nauczyli się, czy choćby zetknęli jeszcze z czymś innym. Wykształcenie fizyka nie powinno być zbyt wąskie.

Zajęcia takie obowiązują nie tylko fizyków. Inne wydziały przyrodnicze, jak np. biologia, matematyka, też wymagają od swoich studentów zaliczenia pewnej liczby wykładów, nie związanych bezpośrednio z kierunkiem studiów.

Obowiązek zaliczenia wykładów ogólnych został przez studentów Uniwersytetu Warszawskiego nazwany „odchamianiem”, a odpowiednie wykłady – „odchamiaczami”. Mimo złośliwej nazwy zajęcia te cieszą się uznaniem. Studenci dużych uczelni, jak Uniwersytet Warszawski, mają duży wybór wykładów spoza branży, a wiele z nich jest po prostu bardzo ciekawych.

Problem ogólnego dokształcania studentów nie dotyczy tylko studentów wydziałów przyrodniczych. Jest też i druga, niejako symetryczna strona tego samego problemu. Studenci wydziałów humanistycznych niewiele wiedzą o naukach przyrodniczych. Ich też należy „odchamiać”, nakłaniając do wysłuchania wykładów z tych nauk. Takie zajęcia odbywają się na wielu polskich uczelniach. Argumenty za prowadzeniem tych zajęć są symetryczną kopią argumentów za prowadzeniem zajęć humanistycznych dla studentów kierunków ścisłych. Absolwenci polonistyki, historii, czy prawa powinni przecież coś wiedzieć o przyrodzie, a w szczególności o fizyce.

Jak już napisałem, zajęcia ogólne prowadzone są od mniej więcej dziesięciu lat. Nie udało mi się jednak usłyszeć, jaka jest prawdziwa przyczyna ich wprowadzenia. Sądzę, że jest nią słabość polskich szkół średnich. Dostrzegam tu swoisty paradoks. Gdy spojrzy się na programy nauczania historii, języka polskiego, biologii, chemii itd., obowiązujące w polskiej szkole średniej, to można dojść do wniosku, że dokształcanie ogólne nie jest potrzebne. Gdyby absolwenci szkół znali tylko połowę obowiązującego materiału, to stanowiliby światową elitę intelektualną. Niestety, to tylko programy nauczania. Realia są zupełnie inne. Absolwenci szkół średnich powinni umieć dużo; umieją niewiele, oględnie mówiąc. Jeśli ktoś ma wątpliwości, to proponuję test. Należy spytać studentów fizyki o datę Rewolucji Francuskiej. Można też zro-

bić inny test – studentów historii spytać o prawo Ohma lub coś podobnego. Test ten wykonywałem wielokrotnie – negatywny rezultat jest niemal pewny. Prawie nikt ze studentów nie ma pojęcia, jaka jest właściwa odpowiedź. Studenci niewiele wynoszą ze szkoły średniej, ogólne doszkalać jest więc im bardzo potrzebne.

Uwagi te nasunęły mi się przy okazji lektury książki Briana G. Wybourne'a *Physics as a Journey*. Książka napisana jest po angielsku i przeznaczona dla niespecjalistów, przynajmniej w zamyśle Autora, który jest profesorem Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Powstała na podstawie wykładów Autora na Uniwersytecie Canterbury w Nowej Zelandii. Wykłady te przeznaczone były dla studentów kierunków innych niż fizyka. Używając polskiej gwary studenckiej, były to zajęcia „odchamiające” dla nefizyków. Autor prowadził też podobne wykłady w Toruniu.

W książce Autor stara się przedstawić podstawy fizyki w sposób prosty i przejrzysty, zrozumiały dla nefizyka. Jak pisze na początku rozdziału pierwszego, chce przedstawić fizykę bez równań. Tak naprawdę w tekście jest ok. stu równań, nie licząc równań reakcji jądrowych i reakcji między cząstkami. Daje to średnio jedno równanie na dwie strony, a mimo że większość z nich jest bardzo prosta, to jednak są to równania. Trudno jest mówić o fizyce teoretycznej bez matematyki!

Tematem książki są podstawy fizyki i fizyka cząstek elementarnych. Zdaję sobie sprawę z tego, że współczesna teoria cząstek elementarnych jest bodaj największym osiągnięciem myśli ludzkiej. Przez całe dziesięciolecie XX w. najbardziej utalentowani fizycy starali się rozwiązać tajemnice cząstek elementarnych. Społeczeństwa i rządy krajów wysoko rozwiniętych, jak USA, krajów Unii Europejskiej i innych, szczerze finansowały badania w tej dziedzinie. Również kraje biedniejsze, jak Polska, starały się w miarę swoich możliwości włączyć w nurt badań nad cząstkami elementarnymi. Osiągnięte rezultaty są naprawdę wspaniałe. Jest jednak pewien kłopot – fizyka cząstek mało kogo obchodzi. Właściwie tylko wąski krąg specjalistów jest zainteresowany tą dziedziną. Autor omawianej książki, Brian Wybourne, chyba też zauważa tu pewien dylemat i niejako na wyrost broni się, pisząc na s. 141, że wydatki na badania w dziedzinie fizyki są znikome w porównaniu np. z wydatkami na zbrojenia. To prawda, ale nie zmienia to faktu, że brak jest szerszego zainteresowania fizyką cząstek elementarnych.

Piszę o tym dlatego, że mam poważne wątpliwości, czy w polskich warunkach tematyka książki jest właściwa dla nefizyków. Czy mogą zaciekać np. studentów historii, czy nawet biologii lub chemii, rozważania o chromodynamice kwantowej czy superstrunach? Obawiam się, że nie. Moje kontakty ze studentami innych dziedzin przekonują mnie, że książka nie spełni swojej roli jako „odchamiacz” dla nefizyków. Do czytania o podstawach fizyki, o cząstkach elementarnych, trzeba mieć nieco wiedzy, czy może raczej obeznania z problematyką nauk przyrodniczych. Bez takiej elementarnej „kultury” przyrodniczej

bardzo trudno jest docenić przedstawione w książce osiągnięcia w opisie podstawowych praw przyrody.

Gdybym miał jednak polecić inną książkę przeznaczoną dla niespecjalistów, opisującą w prosty sposób fizykę cząstek elementarnych, to byłbym w dużym kłopotcie. Jakoś tak się stało, że to największe osiągnięcie myśli ludzkiej nie doczekało się jeszcze należytej mu popularyzacji. Rozumiem, że nie jest łatwo mówić prostym językiem o podstawowej strukturze materii. Ale być może właśnie ten brak należytej popularyzacji jest przyczyną odwrócenia się społeczeństw od fizyki? Może dlatego społeczeństwa, a w konsekwencji rządy bogatych krajów dążą do ograniczenia finansowania badań nad cząstkami elementarnymi?

Wracając do książki – jak pisałem, powstała ona z wykładów, jakie Autor wygłaszał w Nowej Zelandii. Być może przygotowanie studentów jest tam inne niż w Polsce. Studenci mogą tam wynosić podstawową wiedzę w dziedzinie fizyki już ze szkoły średniej i na studiach z zainteresowaniem wysłuchać wykładów o fizyce cząstek. W przedmowie Autor pisze jednak, że jego wykłady cieszyły się powodzeniem wśród studentów fizyki, a to oznaczałoby, że książka jest adresowana do fizyków, a nie do studentów innych specjalności. W polskich warunkach mało kto, może wręcz nikt spoza grona specjalistów nie zrozumie i nie doceni tej książki.

Uważam natomiast, że dla osób z odpowiednim przygotowaniem (czyli dla studentów fizyki oraz zawodowych fizyków) książka *Physics as a Journey* jest bardzo dobrą lekturą. Przeczytałem ją z wielką przyjemnością. Autorowi udało się przedstawić podstawowe idee fizyki oddziaływań fundamentalnych i cząstek elementarnych w bardzo elegancki sposób. Szczególnie pięknie pisze on o problemach symetrii. Widać, że jest tu wielkim ekspertem! Książkę Briana Wybourne'a gorąco polecam tym wszystkim fizykom, którzy chcieliby odpocząć od formalizmów, a woleli się zastanowić, o co chodzi w fizyce oddziaływań fundamentalnych. To taki „odchamiacz” z fizyki dla fizyków.

Książka została bardzo starannie wydana przez Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Jej nakład to 500 egzemplarzy. Można ją dostać w księgarni Uniwersytetu w Toruniu (ul. Reja 25) za 12 złotych. Bliższe informacje: www.cc.uni.torun.pl/wyd.

Jan Mostowski
Instytut Fizyki PAN
oraz Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Teoria pól kwantowych. Podstawy

Steven Weinberg: *Teoria pól kwantowych, t. 1. Podstawy*, z jęz. angielskiego tłumaczyła Danuta Rządewska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999, s. 627.

Po wprowadzeniu w latach dwudziestych przez Schrödingera i Heisenberga mechaniki kwantowej, już

w parę lat później opisano kwantowe pole elektromagnetyczne (fotonowe) i kwantowe pole elektronowo-pozytonowe. W roku 1939 Wigner powiązał teorię swobodnych relatywistycznych pól kwantowych z nieskończeniowymi reprezentacjami czterowymiarowych symetrii Poincarégo, co pozwoliło na konstruowanie teorii swobodnych pól kwantowych z dowolnym spinem. W latach sześćdziesiątych Steven Weinberg wniósł istotny wkład w teorię pól kwantowych z dowolnym spinem, jak i w teorię nieliniowych teoriopólowych reprezentacji symetrii wewnętrznych. Następnie Weinberg wraz z Abdusem Salamem i Sheldonem Glashowem współuczestniczył w sformułowaniu opisu teoriopólowego oddziaływań elektrostałych. W roku 1978 wyżej wymieniona trójka uczonych uzyskała Nagrodę Nobla.

Pierwszy tom dwutomowej monografii Weinberga jest bardzo cenną książką dla ambitniejszych studentów fizyki teoretycznej i doktorantów, którzy chcieliby zrozumieć kwantową teorię pola nie tylko jako zbiór reguł pozwalających na posługiwanie się diagramami Feynmana w teoriopólowym rachunku zaburzeń, lecz pragnęliby pojąć, jak połączone postulaty relatywistycznej niezmienności oraz opisu kwantowego cząstek tworzą strukturę relatywistycznych pól kwantowych. Podstawowe modele teoriopólowe zastosowane w tzw. opisie standardowym fundamentalnych oddziaływań – teoria nieabelowych pól cechowania (chromodynamika) i teoria pól cechowania ze spontanicznie naruszoną lokalną symetrią (model Salama-Weinberga) – zostały umieszczone w drugim tomie monografii Weinberga o podtytule *Współczesne zastosowania*, który jest w druku.

Tom pierwszy niewątpliwie tworzy zamkniętą całość. W podejściu Weinberga teoria pól kwantowych jest z jednej strony powiązana z teorią reprezentacji symetrii relatywistycznych, z drugiej zaś z procesami kreacji i anihilacji cząstek relatywistycznych i z relatywistyczną teorią rozpraszania (teorią macierzy S). Rozdział o formalizmie kanonicznym w teorii pola, od którego zaczyna się większość podręczników, jest tutaj umieszczony w środku książki (jest to rozdział siódmy wśród czternastu rozdziałów). Ta niekonwencjonalna prezentacja bierze się z wyprowadzania struktury kwantowej teorii pola z założeń fizycznych – z pojmowaniem pola jako obiektu matematycznego opisującego zbiór wzajemnie oddziałujących cząstek. W konsekwencji, niejako równolegle jest rozwijany formalizm teorii rozpraszania oraz standardowy opis teoriopólowy, z oddziaływaniem zadany przez wybór lokalnego lagranżjanu.

Recenzowana książka jest moim zdaniem najbardziej wszechstronnym podręcznikiem wydanym w języku polskim, opisującym podstawy kwantowej teorii pola, z równoległe podanym opisem formalizmu kwantowania operatorowego oraz technik kwantowania za pomocą całek funkcjonalnych. W książce jest też przeprowadzonych wiele oryginalnych rachunków teoriopólowych (np. nowa dla recenzenta metoda obliczenia przesunięcia Lamba). Ta wielowątkowość opisu przedstawionej problematyki sugeruje, że książka Weinberga nie jest najlepszym kandydatem na podręcznik „pierwszego czytania” w zakresie kwantowej teorii pola. Do tego celu można znaleźć książki z prostszym schematem prezentacji – np. P. Ramond *Field Theory: A Modern Primer* (Reading 1981), L.S. Browna *Quantum Field Theory* (Cambridge 1991) czy nawet I. Białyńskiego-Biruli *Wstęp do teorii pól kwantowych* (Warszawa 1971). Jest to natomiast znakomity podręcznik dla studentów studiów doktoranckich, którzy nie ograniczają swoich ambicji poznawczych do prostych zastosowań kwantowej teorii pola. Należy podkreślić, że książka, napisana w latach dziewięćdziesiątych, zawiera także paragrafy, których treść nabrała znaczenia dopiero w ciągu ostatniego dziesięciolecia (np. tensorowe pola cechowania, opisane w § 8.8 przez p-formy, ostatnio znajdują zastosowanie przy opisie oddziaływań p-bran). Z drugiej strony należy zauważyć, że tematyka obu tomów monografii Weinberga jest ograniczona do pól kwantowych w czterowymiarowej przestrzeni Minkowskiego, i czytelnik nie znajdzie w niej żadnej wzmianki o supersymetrycznej teorii pola czy teoriach pola w wymiarach $D > 4$, nie mówiąc już o teorii strun i p-bran.

Reasumując, książka Weinberga powinna znaleźć się na półce każdego fizyka-teoretyka interesującego się teoriopólowym opisem oddziaływań fundamentalnych. Choć obecnie wiele badań w tej dziedzinie łączy się z opisem supersymetrycznym, z formalizmem wielowymiarowym (typu Kaluzy-Kleina) czy z opisem obiektów rozciągłych (strun, membran itp.), ostatecznie wszystkie te nowe koncepcje geometryczne powinny służyć do uzasadnienia modeli teoriopólowych cząstek elementarnych w czterech wymiarach. Monografia Weinberga zawiera podstawowe kanony tego najważniejszego fizycznie czterowymiarowego opisu.

Jerzy Lukierski

Instytut Fizyki Teoretycznej UW
Wrocław

LISTY DO REDAKCJI

Spór dotyczący początku XXI wieku

Skala czasu jest wyznaczona przez następujące po sobie zdarzenia, a kierunek skali wyznacza strzałka czasu od przeszłości do przyszłości. Czas jest jednorodny, tzn. że nie wyróżnia żadnej chwili, a przebieg zjawisk jest niezależny od wyboru zera na skali czasu.

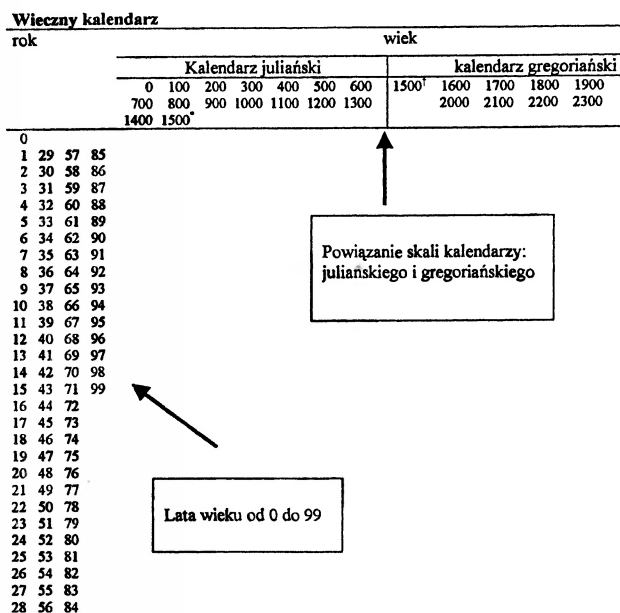
Czas jest fundamentalną wielkością fizyczną, której pomiar polega na zliczaniu periodycznych zjawisk, których okres jest niezależny od czynników zewnętrznych. Jednostką skali czasu jest 1 sekunda, którą z najwyższą dokładnością „przechowują” atomy cezu ^{133}Cs w zegarze cezowym lub atomy wodoru ^1H w maserze wodorowym, charakteryzujące się największą stałością oscylacji. Częstotliwość wzorcowa cezu $f = 919\,263\,177$ Hz definiuje 1 sekundę. Zliczanie poszczególnych drgań cezu wyznacza atomową uniwersalną skalę czasu. Skalę tę „przechowują” zespoły zegarów cezowych, tworząc uniwersalny czas – UT [1]. Skala UT jest niezależna od zjawisk astronomicznych i jest podstawą globalnego pozycyjnego systemu – GPS. Jest ona niezależna od nieregularnego obrotu Ziemi i ruchu Ziemi dookoła Słońca. Wahanie atomowej skali nie przekracza trzech sekund na rok. Skala czasu uniwersalnego UT pozwala na dowiązanie dowolnej chwili na jednorodnej skali czasu.

Jednostka czasu – sekunda jest związana z rytmem serca, dłuższe okresy czasu wyznacza doba, związana z obrotem Ziemi dookoła osi, a skalę czasu historyka wyznaczają lata, które wyznacza periodyczny ruch Ziemi dookoła Słońca. Zliczanie lat tworzy skalę kalendarza, która jest jednorodną fizyczną skalą czasu [2].

Obecnie używany kalendarz gregoriański został wprowadzony w 1582 r. przez papieża Grzegorza XIII i jego konsekwencją jest przyjęty jako norma kalendarz wieczny, który rozpoczyna się w punkcie zero, umownie związanym z narodzinami Chrystusa (rys. 1). Ten fakt nie ma wpływu na skalę wiecznego kalendarza, bo zero skali jest dowiązane do skali czasu uniwersalnego UT z dokładnością lepszą niż 1 godzina. Kalendarz wieczny pozwala na ustalenie każdego dnia tygodnia od przyjętego zera do 2300 r. Lata przestępne podzielne przez cztery mają dodatkowy dzień 29 lutego, za wyjątkiem lat, których liczba lat jest podzielna przez 100. Wyjątek od tej reguły stanowią lata, które są podzielne przez 400, dlatego rok 2000 jest przestępny. Przytoczony za Encyklopedią Britannica kalendarz wieczny pokazuje, że kalendarz juliański łączy się z gregoriańskim w 1500 r. Każdy wiek zawiera sto lat od zera do 99 i wielokrotność setek, które stanowią kolejne wieki.

Istota sporu dotyczącego początku XXI w. związana jest z tzw. rokiem zerowym, który w przyjętym kalendarzu wiecznym istnieje jako konsekwencja przyjęcia jednorodnej skali czasu. Przyjęcie zerowego punktu nie może

zakłócić skali. Lata liczymy w liczbach względnych, dodatnich i ujemnych, które oznaczają datę względem przyjętego zera, mimo że miesiące w obrębie poszczególnych lat bieżą zawsze od stycznia do grudnia. Liczymy



Rys. 1. Wiek składa się ze stu lat od 0 do 99, 100 do 199 itd. Fragment wiecznego kalendarza z *Encyclopædia Britannica* [2].

całe lata w liczbach względnych: dodatnich po Chrystusie – AD i ujemnych przed Chrystusem – BC, gdy miesiące związane z wędrówką Słońca pośród gwiazdozbiorów płyną zawsze od stycznia do grudnia. Nie ma „minus stycznia” na lewo od zera, lecz styczeń jest na początku 1 roku BC i styczeń rozpoczyna także 1 AD po zerze – umownym punkcie narodzin Chrystusa (rys. 2). Jeśli przyjmujemy taką konwencję, to usuwamy istotę sporu, bo lata 1800, 1900 i 2000 należą do XIX, XX i XXI w. Powodem tego sporu jest przekonanie, że Rzymianie nie mieli cyfry zero, lub argument, że nie było daty zero w dokumentach historycznych. Nie jest to takie istotne, bo zero zostało ustalone w XVI w. i skala zdarzeń została dowiązana wstecz. Trudno wymagać, aby datowanie w dokumentach z okresu Augusta było zgodne z kalendarzem wiecznym, który pojawił się za Grzegorza XIII w XVI w.

Nie można jednak lekceważyć psychologii tego sporu. Spór dotyczy nie skali czasu, bo nie można jej „dziurawić”, usuwając pierwszy rok od zera do 1 i dodając go na końcu stulecia (rys. 2). Zgodnie z kalendarzem wiecznym, przyjętym w *Smithsonian Physical Tables* [3], lata 1900, 2000 rozpoczynają XX i XXI w. Oponenci, do

Literatura

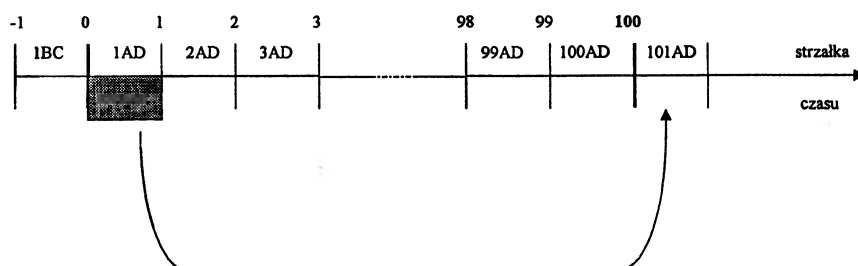
których należą niektórzy przedstawiciele radia, a także niektórzy fizycy i astronomowie, podzielają pogląd niektórych historyków, wynikający z semantyki, a nie z fizycznej metrologii. Oczywiście nie można lekceważyć tych głosów. Rolą fizyka jest jednak obstawanie przy umowie, która ma za podstawę konsekwentną skalę czasu atomowego. Według tej skali odlicza numerator na wieży Eiffla dni dzielące nas od początku trzeciego tysiąclecia. Pierwszego września 1999 r. pojawi się tam liczba 122, a zero będzie o północy 31 grudnia br.

Bardziej szczegółowa dyskusja tego zagadnienia przeprowadzona jest w artykule [2].

- [1] *Time and Frequency*, red. J.L. Jespersen, B.E. Blair, L.E. Gatterer, *Proc. IEEE* **60**, zes. 5 specjalny (New York 1972); tłum. ros. MIR 1973.
- [2] J. Stankowski, „Skala czasu i kalendarz”, *Nauka*, nr 2, 109 (1999).
- [3] *Encyclopedia Britannica*, t. 2, s. 455.

Jan Stankowski

Instytut Fizyki Molekularnej PAN
Poznań



Rys. 2. Usunięcie pierwszego roku powoduje pojawienie się go na końcu stulecia.

Oddział Krakowski

W dniu 4 marca 1999 r. odbyło się walne zebranie Oddziału Krakowskiego PTF, w którym wzięło udział 45 osób spośród 233 członków Oddziału. Ustępujący Zarząd przedstawił sprawozdanie ze swej działalności w okresie trwania kadencji 1997–99.

Do najważniejszych form działania Zarządu należało organizowanie tradycyjnego Krakowskiego Konwersatorium Fizycznego. Odbywało się ono regularnie co tydzień w trakcie trwania roku akademickiego. Łącznie w okresie minionej kadencji odbyły się 42 konwersatoria czwartkowe. Zarząd dokładał starań, aby konwersatorium stało się forum regularnych spotkań całego krakowskiego środowiska fizyków, a zarazem aby wykłady stanowiły przystępne źródło informacji o najnowszych odkryciach i badaniach w fizyce dla wszystkich zainteresowanych. W tym celu informacje o spotkaniach rozprawdzano przez wszystkie dostępne kanały (ogłoszenia w instytutach, gazety, radio, poczta elektroniczna, informacje dla szkół) oraz uzupełniano ogłoszenia o konwersatoriach kilkudziesięcioma streszczeniami. Szczególną uwagę przykładano do wyboru tematów. Starano się, aby miały one popularny, nie ograniczony do zbyt wąskiego zakresu charakter, aby zainteresować możliwie szerokie grono słuchaczy. Średnia frekwencja wzrosła od 41 osób w roku 1995/96 do 80 osób w roku 1998/99. Największym powodzeniem cieszyły się wykłady: „Zagrożenia kosmiczne – rozważania o końcu świata” Kazimierza Grotowskiego (151 słuchaczy), „O nauczaniu szczególnej teorii względności” Andrzeja Staruszkiewicza (142 słuchaczy) oraz „Dekoherencja” Wojciecha Żurka (129 słuchaczy), natomiast mniejszym (średnio kilkadziesiąt osób) wykłady interdyscyplinarne. Pełna lista znajduje się na stronie internetowej Oddziału Krakowskiego PTF (risc.ftj.agh.edu.pl/~ptf), na której można także znaleźć szereg innych informacji dotyczących działalności Oddziału.

Po raz drugi, lecz tym razem w znacznie szerszym wymiarze, odbył się Krakowski Jarmark Fizyczny, zorganizowany przez prof. Andrzeja Ziębę, przy czynnym współudziale wielu członków Oddziału. Składały się nań seanse doświadczeń fizycznych (pokazy), wykłady, wystawa pomocy naukowych, podręczników i innych książek z fizyki. W ramach Jarmarku odbyły się finały dwu ogólnopolskich konkursów: na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki oraz na Lekcję Pokazową z Fizyki. W Jarmarku wzięło udział ok. 1000 osób. Impreza spotkała się z dużym, pozytywnym zainteresowaniem mediów.

Bardzo aktywnie działała Sekcja Dydaktyczna, prowadzona przez dr Zofię Gołąb-Meyer. Sekcja ta zorga-

nizowała ok. 30 wykładów z pokazami dla młodzieży ze szkół średnich, przy doskonałej frekwencji, dochodzącej do 300 osób. Warto zwrócić uwagę, że na wykłady przyjeżdża młodzież z całego województwa, niejednokrotnie z całkiem odległych miejscowości.

Sekcja Dydaktyczna wydaje *Foton*, czasopismo dla uczniów i nauczycieli. Ukazało się dotąd 60 numerów (8 rocznie). Pismo w nakładzie ok. 700 egzemplarzy jest subsydiowane przez Instytut Fizyki UJ oraz przez ok. 400 prenumeratorów. Od 1999 r. pismo zmieniło częstotliwość ukazywania się (z dwumiesięcznika stało się kwartalnikiem), gdyż przychody pokrywają obecnie koszty wydawania tylko 4 numerów rocznie, mimo ogromnego wkładu społecznej pracy redaktorów i nieodpłatnej obsługi sekretarskiej, zapewnionej przez Instytut Fizyki UJ. Redaktorem naczelnym jest Zofia Gołąb-Meyer, a Komitet Redakcyjny tworzą ponadto: Barbara Warczak, Jadwiga Salach, Jacek Turnau, Wojciech Blicharski i Anna Gagatęk.

Dr Zofia Gołąb-Meyer organizuje ponadto regularne spotkania z nauczycielami. Ta forma działalności ma długoletnią tradycję w ośrodku krakowskim i jest bardzo cenną w środowisku nauczycieli fizyki.

Merytoryczną część sprawozdania przedstawił obecny przewodniczący Zarządu, Jacek Turnau, który objął tę funkcję we wrześniu 1998 r., po wyjeździe za granicę dotychczasowego przewodniczącego, Wojciecha Gawlika. Skarbnik Oddziału Krzysztof Dzierżęga przedstawił zestawienie dochodów i wydatków, a przewodnicząca Komisji Rewizyjnej Maria Pollak-Stachuruwa przedstawiła ocenę działalności ustępującego Zarządu wraz z wnioskiem o udzielenie absolutorium.

Po przedstawieniu sprawozdań nastąpiła dyskusja na temat problemów związanych z finansowaniem *Fotonu* oraz poziomu, tematyki i frekwencji na wykładach dla młodzieży oraz na konwersatoriach. Następnie zebranie uchwaliło absolutorium (44 głosami za, przy 7 wstrzymujących się) i przystąpiło do wyborów. Na kadencję 1999–2001 wybrany został Zarząd w składzie: Andrzej Zięba – przewodniczący, Józef Mościcki – wiceprzewodniczący, Rafał Kozubski – sekretarz, Marek Gołąb – skarbnik, oraz członkowie: Bogdan Fornal, Czesław Kapusta, Jolanta Niemiec, Wojciech Otowski, Antoni Paja, Ryszard Radwański, Zofia Ropka. Do Komisji Rewizyjnej wybrano następujące osoby: Reinharda Kulesę, Marię Stachurę i Andrzeja Warczaka. Rafał Kozubski, oprócz funkcji sekretarza Oddziału, pozostał także na obecnej kadencji przewodniczącym Krakowskiego Komitetu Okręgowego Olimpiady Fizycznej. W edycji 1998/99 z Okręgu Krakowskiego do finału Olimpiady Fizycznej zakwalifikowało się 5 uczniów; 3 zostało laureatami, zajmując m.in. 3 i 4 lokatę, co premiowane jest udziałem w Zawodach Międzynarodowych.

Jacek Bieroń

Oddział Lubelski

W dniu 6 maja 1999 r. odbyło się w kolejnej, 591 już posiedzenie Oddziału Lubelskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Fizycy lubelscy zebrani w liczbie blisko 150 osób w auli im. prof. Ziemeckiego w Instytucie Fizyki UMCS mieli wielką przyjemność wysłuchania wykładu Jego Ekscelencji księdza prof. Józefa Życińskiego pt. „Fizyka jako nauka humanistyczna”. Na licznych przykładach z historii nauk ścisłych referent udowodnił, iż nowy styl refleksji m.in. nad „matematycznością” przyrody, wprowadzony do myśli naukowej przez nauki ścisłe, a w szczególności przez fizykę, prowadzi do zadawania pytań, które rozbudowują gmach wiedzy humanistycznej. Wykład ten jest obecnie przygotowywany na piśmie i być może ukaże się w *Postęпах*. Warto tu podkreślić, iż nasz Arcypasterz jako autor rozprawy habilitacyjnej z dziedziny kosmologii relatywistycznej jest szczególnie bliski umysłom i sercom fizyków. Dziękujemy zatem gorąco Waszej Ekscelencji i prosimy o jeszcze!

W dniu 27 maja 1999 r. odbyło się w sali konferencyjnej Instytutu Fizyki UMCS zebranie sprawozdawczo-wyborcze Oddziału Lubelskiego PTF. W zebraniu wzięło udział 28 osób. Podano kawę, herbatę, pączki i ciastka.

Na wstępie zebrani wysłuchali krótkiego referatu ustępującego prezesa Oddziału, Stanisława Hałasa pt. „Dlaczego warto być członkiem PTF?”, w którym zachęcał on do wstępowania w szeregi Towarzystwa oraz do prenumeraty *Postępów Fizyki*. Oddział Lubelski liczy obecnie 115 członków, z których zaledwie 32 prenumeruje *Postępy*. Prezes dokonał też uroczystego wręczenia legitymacji PTF. Legitymację z numerem 1 otrzymał prof. Wiesław A. Kamiński. Prof. Adamczyk uznał, iż namawianie fizyków do wstąpienia w szeregi PTF mija się z celem, gdyż jest równoważne namawianiu ludzi do oddychania. Członkostwo w PTF powinno być oczywistością dla każdego fizyka.

Rozpoczynając część sprawozdawczo-wyborczą, zebrani wysłuchali sprawozdania z działalności Oddziału. W kadencji od 19 czerwca 1997 r. do 27 maja 1999 r. odbyło się 11 posiedzeń Towarzystwa, ze średnią frekwencją 26 osób. Rekordy frekwencji odnotowano podczas wykładu ks. prof. Józefa Życińskiego „Fizyka jako nauka humanistyczna” (154 osoby) oraz dra A. Bullera „Sztuczny mózg to już nie fantazja” (79 osób). Dwukrotnie we wrześniu 1997 r. i 1998 r. organizowano XXXVIII i XXXIX Pokazy z Fizyki, w których wzięło udział łącznie ponad 35 000 dzieci i młodzieży z regionu. W okresie sprawozdawczym Zarząd Oddziału dokonał skreślenia z listy członków 10 osób z powodu nieuregulowania składek członkowskich oraz przyjął 5 nowych członków.

Następnie zebrani wysłuchali sprawozdania z działalności Komitetu Okręgowego Olimpiady Fizycznej. Dr Marek Sowa przedstawił działalność Komitetu w ciągu ostatnich 2 lat. W edycjach XLVII i XLVIII Olimpiady Fizycznej nasz region miał łącznie 3 laureatów i 6 finalistów stopnia ogólnopolskiego. Na szczególną uwagę zasługuje bardzo duży udział w Olimpiadzie uczniów z VI LO w Radomiu, których opiekunem jest nauczyciel fizyki, mgr M. Golka.

Zdaniem zebranych, nauczyciel ten w pełni zasługuje na wyróżnienie nagrodą PTF.

Sprawozdanie finansowe z działalności Oddziału odczytał J. Sielewiesiuk, skarbnik Oddziału. Największą pozycję w budżecie Oddziału stanowiły w ostatnich latach Pokazy z Fizyki, z których wpływy w 1998 r. przekroczyły 100 000 zł. Pieniądze te są w większości przeznaczane na obsługę kosztów Pokazów, zakupy sprzętu dydaktycznego itp. Ostatnim z odczytanych sprawozdań był protokół Komisji Rewizyjnej. Podkreślono z zadowoleniem duże wpłaty Pokazów z Fizyki do kasy Oddziału, sięgające 20% wpływów z Pokazów, oraz fakt skreślenia z listy członków nie płacących składek. Komisja Rewizyjna uznała jednocześnie, iż liczbę spotkań „referatowych” należy w przyszłości zwiększyć do co najmniej jednego spotkania miesięcznie.

Przed udzieleniem absolutorium wywiązała się krótka dyskusja, w której udział wzięli: prof. B. Adamczyk, prof. L. Gładyszewski, prof. W.A. Kamiński, prof. K.I. Wysokiński. W dyskusji poruszano m.in. sprawę zapraszania gości do wygłoszenia odczytów w ramach posiedzeń PTF i sprawę dofinansowania udziału w konferencjach dla młodych pracowników przez Zarząd Oddziału.

W głosowaniu jawnym udzielono absolutorium ustępującemu Zarządowi przy jednym głosie wstrzymującym się i bez głosów przeciw. Następnie prof. Adamczyk zgłosił kandydaturę ustępującego prezesa, prof. Stanisława Hałasa, na stanowisko prezesa Oddziału Lubelskiego PTF. Wobec braku innych kandydatur przeprowadzono głosowanie tajne, w którym ten kandydat uzyskał 24 głosy za, 2 przeciw i 2 wstrzymujące się, i tym samym został wybrany na następną kadencję. Spośród 7 zgłoszonych kandydatów do Zarządu Oddziału wybrano pięć osób. Są to: R. Walczak, J. Szaran, J. Sielewiesiuk, J. Gowin i L. Michalak. Następnie spośród 8 kandydatów wybrano 6 osób na Walny Zjazd Delegatów PTF w Białymstoku: J. Hereć, M. Sowę, J. Meldizona, J. Szaran, K.I. Wysokińskiego i W.A. Kamińskiego. Zebranie zakończono wyborem komisji rewizyjnej w składzie: J. Żuk, R. Kuduk i J. Filiks.

Tomasz Durakiewicz

Oddział Rzeszowski

Walne zebranie Oddziału odbyło się 15 lutego 1999 r. Nagrodzono członków Oddziału, którzy organizowali regionalny konkurs z fizyki dla uczniów (K. Zambrowska, F. Kita, G. Tomaka i P. Kita) oraz konferencję nt. symetrii w przyrodzie (D. Bercza, A. Szeregij, A. Wal, G. Wisz i P. Potera).

Udzielono absolutorium ustępującemu Zarządowi i wybrano Zarząd Oddziału na nową kadencję: przewodniczącym został ponownie Marian Kuźma, pozostali członkowie to: wiceprzewodniczący – Tomasz Więcek, wiceprzewodniczący ds. kontaktów z nauczycielami – Krysztyna Zembrowska, sekretarz – Małgorzata Klisowska, skarbnik – Grzegorz Tomaka, skarbnik II – Tadeusz Jasiński, z-ca sekretarza – Małgorzata Pociask, czł. Zarządu –

Małgorzata Sznajder. Na przewodniczącego Komisji Rewizyjnej powołano Piotra Gronkowskiego.

W kadencji 1997–99 przeprowadzono 11 wykładów otwartych. Wśród zaproszonych wykładowców byli fizycy z innych ośrodków Polski, a także z Australii i Holandii. Oddział zorganizował (Iwonicz Zdrój, 1997) sesję popularnonaukową poświęconą I.I. Rabiemu oraz współorganizował międzynarodową konferencję nt. ukrytej symetrii (Rzeszów 1998). Wraz z Instytutem Fizyki WSP prowadzono seminaria i pokazy dla nauczycieli okręgów Rzeszowa, Krosna i Jasła. Wypracowano stanowisko Oddziału w sprawie tzw. projektu podstaw programowych (patrz Kronika 3/97). Przeprowadzono konkurs regionalny prac z fizyki dla uczniów szkół średnich regionu podkarpackiego.

Oddział Rzeszowski liczy obecnie 81 członków.

Małgorzata Klisowska

Nominacje profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymali w dniu 30 czerwca 1999 r.: Leszek Jan Dobaczewski (IF PAN, Warszawa), Roman Gielerak (Pol. Zielonogórska), Andrzej Stanisław Jezierski (IFM PAN, Poznań), Jan Andrzej Kołaczekiewicz (UWr), Franciszek Piotr Krok (PW), Barbara Krystyna Wosiek (IFJ, Kraków), Brian Garner Wybourne (UMK).

www.prezydent.pl/nawosci

Medal Maxa Borna

Medal i Nagrodę Maxa Borna za rok 1999 otrzymał John Dainton (Liverpool) za swój wybitny wkład do fizyki, w szczególności za rolę, jaką odegrał w projektowaniu i przeprowadzeniu serii doświadczeń w laboratorium DESY w Hamburgu, wyjaśniających strukturę fotonu i protonu.

Wyróżnienie to jest przyznawane w kolejnych latach na przemian przez Niemieckie Towarzystwo Fizyczne fizykowi brytyjskiemu i przez brytyjski Instytut Fizyki fizykowi niemieckiemu.

CERN Courier 39, nr 3 (1999)

B. W.

Subsydia FNP dla uczonych

Rozstrzygnięty został drugi program-konkurs Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej na trzyletnie subsydia dla uczonych. Laureatami zostało 15 wybitnych uczonych reprezentujących nauki ścisłe. Będą oni przez kolejne 3 lata otrzymywać znaczne wsparcie finansowe, mające im umożliwić intensyfikowanie już prowadzonych prac albo podjęcie nowych kierunków badań. Program ten, ustanowiony w 1998 r., jest adresowany do osób aktywnie działających naukowo, których dorobek i sukcesy badawcze stanowią rękojmię właściwego wykorzystania przyznanych środków, oraz które potrafią skutecznie łączyć pracę naukową i kształcenie młodej kadry.

Subsydium w wysokości 70 000 zł rocznie przeznaczone jest w części na imienne stypendium dla laureata, w części zaś – zgodnie z jego uznaniem – na stypendia dla doktorantów, na zakup książek i czasopism, aparatury i materiałów, udział w konferencjach, finansowanie krótkich wyjazdów naukowych, organizowanie seminariów itp.

Program „Subsydia dla uczonych” ma charakter zamkniętego konkursu o wielostopniowej procedurze. Subsydia przyznawane są każdego roku w innej dziedzinie nauki. W 1998 r. otrzymało je 15 wybitnych humanistów, w bieżącym roku – uczeni z dziedziny nauk ścisłych. Wśród laureatów jest pięciu fizyków i jeden astronom; są to profesorowie: Andrzej Białas (IF UJ) – tematyka prac: Fluktuacje w wielorodnej produkcji cząstek; Tomasz Dietl (IF PAN) – Zjawiska spinowe w układach niskowymiarowych; Jerzy Kijowski (CFT PAN) – Teorie podstawowych oddziaływań materii i ich aparat matematyczny; Kazimierz Rzążewski (CFT PAN) – Optyka kwantowa i optyka atomów; Stanisław Woronowicz (Wydział Fizyki UW) – Niezwarte grupy kwantowe; Andrzej Zdziarski (CAMK PAN) – Badania źródeł intensywnego promieniowania elektromagnetycznego w pobliżu czarnych dziur.

B. W.

Doktorat h.c. Czesława Lewy

W dniu 11 czerwca 1999 r. dr hab. Czesław Lewa, profesor fizyki na Uniwersytecie Gdańskim, otrzymał tytuł doktora honoris causa Uniwersytetu w Rennes (Francja). Laudację z tej okazji wygłosił prof. J.D. de Certaines, z którym Lewa współpracuje od ponad 15 lat. W swoim wystąpieniu przedstawił dorobek Lewy, dotyczący opracowania nowych metod spektroskopii magnetycznego rezonansu (MR) jądrowego i elektronowego. Metody te obok istotnej poprawy czułości techniki MR roszą nadzieję na znaczące rozszerzenie zastosowań technicznych i biomedycznych, jak również rozwiązanie problemów komputerów kwantowych. De Certaines podkreślił pionierski charakter prac oraz zdementował opinie grupy z Mayo Clinic w Rochester (USA), przypisującej sobie pierwszeństwo jednej z metod opracowanych przez Lewę.

Czesław Lewa ma 62 lata. Studiował fizykę na WSP w Gdańsku. Doktorat (1966) i habilitację (1969) uzyskał na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (główny opiekun naukowy – prof. Z. Pająk). W swoim dorobku naukowym ma ponad 140 prac naukowych i patentów.

Stanisław Zachara

Józef Hurwic w Krakowie

19 maja 1999 r. w Krakowie wygłosił referat, na zaproszenie Polskiej Akademii Umiejętności, prof. Józef Hurwic, polski fizykochemik, niegdyś profesor Politechniki Warszawskiej. Był także przez wiele lat redaktorem miesięcznika *Problemy*. Zmuszony przez władze PRL do opuszczenia Polski, został profesorem Université de Provence w Marsylii (obecnie na emeryturze). Wiele informa-

cji o prof. Hurwicu znajdują Państwo w rozmowie z nim, którą zamieściły *Postępy Fizyki* w zeszyte 3 w 1991 r.

Tematem wykładu była biografia Kazimierza Fajansa (1887 – 1975), znanego fizykochemika polskiego pochodzenia, pracującego naukowo w Niemczech i w USA, współtwórca nauki o promieniotwórczości. Był on odkrywcą prawa przesunięcia promieniotwórczych i pierwiastka 91 – protaktynu, a także autorem istotnych prac z termochemii. W 1929 r. Polska Akademia Umiejętności wybrała go na swego członka czynnego, a w 1959 r. Polskie Towarzystwo Chemiczne na członka honorowego.

Zofia Gołąb-Meyer

Soros kończy pomoc dla naukowców i nauczycieli rosyjskich

George Soros zamyka swój program pomocy dla nauk przyrodniczych w Rosji. W ciągu ostatnich 5 lat przekazał on 76 mln USD na pomoc dla nauczycieli, asystentów i profesorów uniwersyteckich oraz dla doktorantów.

Zgodnie z porozumieniem podpisanym przez Sorosa i rząd Rosji, rząd miał się dokładać do tej pomocy, lecz tego nie robi. Ze względu na kryzys gospodarczy w Rosji Soros przedłużył o rok swoje stypendia, ale – jak powiedział: „Nie mogę już dłużej tego robić”. Jedynym wyjątkiem jest 260 profesorów mających powyżej 70 lat, którzy nadal będą otrzymywać stypendia Sorosa.

Nature 399, nr 6737 (1999)

B. W.

Migracja plutonu

Pluton, jedna z najbardziej toksycznych substancji, ma niską rozpuszczalność w wodzie i do niedawna przypuszczano, że nie jest przenoszony przez wody gruntowe. Ma to ogromne znaczenie w planowaniu długotrwałych podziemnych składowisk materiałów promieniotwórczych. Jednak ostatnie badania przeprowadzone przez laboratoria Livermore i Los Alamos wykazały, że pluton może wędrować w wodzie zaadsorbowany na koloidach (glinki i zeolity). To odkrycie może być wyjaśnieniem, dlaczego stwierdzono obecność plutonu w wodzie gruntowej w odległości 1,3 km od miejsca próbnego wybuchu jądrowego, jaki przeprowadzono 30 lat temu na pustyni Nevada. Wobec tego Ministerstwo Energii USA będzie musiało przy planowaniu stałych składowisk odpadów promieniotwórczych brać pod uwagę przenoszenie plutonu przez koloidy.

AIP Update 423

B. W.

Protest recenzenta

Mark Riley, fizyk z Uniwersytetu Florydy, oświadczył, że nie będzie już recenzował prac nadsyłanych do *Nuclear Physics A* (wydawanego przez Elsevier Science). W ten sposób zaprotestował przeciw podnoszeniu cen prenumeraty. Biblioteka jego Uniwersytetu, podobnie jak wiele innych bibliotek naukowych, nie radzi już sobie z rosnącymi

cenami czasopism i musiała zrezygnować z prenumerowania ok. 2000 tytułów.

W liście rezygnacyjnym do redaktora *Nucl. Phys. A* napisał: „Jestem przerażony polityką Elseviera podnoszenia cen i rolę, jaką ta firma odegrała i nadal odgrywa w obecnym kryzysie budżetu bibliotek. (...) Uznaję wprawdzie wysoką jakość *Nucl. Phys. A* jako czasopisma naukowego, lecz honor każe mi ograniczyć teraz kontakty z firmą wydawniczą Elsevier”.

Riley powiedział, że recenzenci czasopism naukowych powinni zdać sobie sprawę, że recenzując prace nadsyłane do kosztownych czasopism ułatwiają ich wydawanie i że powinni pamiętać, iż kryzys biblioteczny sięga także ich macierzystych instytucji.

Nature 399, nr 6737 (1999)

B. W.

Ilu mamy krewnych?

Wielu z nas jest zainteresowanych swoim pochodzeniem, szuka swoich przodków. Niedawno międzynarodowy zespół (B. Derida i in., *Phys. Rev. Lett.* 82, 1987 (1999)) zastosował metody fizyki statystycznej do zbadania, ilu członków populacji jest spokrewnionych z innymi pokoleniami.

W zasadzie dla ok. 6 miliardów ludzi, żyjących obecnie, można znaleźć przodków sprzed 100 tys. lat. Każdy ma dwoje rodziców, czterech dziadków i ogólnie 2^n przodków po n pokoleniach. Zakładając, że na każde pokolenie przypada 25 lat, otrzymujemy, iż każda osoba powinna mieć 2^{4000} , czyli ok. 10^{1200} przodków w swoim drzewie genealogicznym. Jednak 100 tys. lat temu ludność świata wynosiła prawdopodobnie tylko kilka tysięcy. Tę pozorną niezgodność można wyjaśnić tym, że ci sami przodkowie mogą występować w drzewach genealogicznych wielu członków młodszych pokoleń.

Autorzy badali, ile razy dany przodek jest spokrewniony z członkiem najmłodszego pokolenia. Stosowali do tego celu model, w którym pary tworzone były przypadkowo, a liczba dzieci wydanych na świat przez każdą parę podlegała rozkładowi Poissona. Głównym wynikiem tej pracy jest, że ok. 80% najstarszych przodków jest spokrewnionych z każdym obecnie żyjącym człowiekiem.

Ciekawe, że mimo wielu zastosowanych uproszczeń, ta symulacja dobrze się zgadza z rzeczywistymi danymi wziętymi z drzewa genealogicznego angielskiego króla Edwarda III.

Phys. World 12, nr 4 (1999)

B. W.

Ernst Ising (1900 – 1998)

Ernst Ising urodził się w Kolonii 10 maja 1900 r. Od 1919 r. studiował matematykę i fizykę na uniwersytecie w Getyndze, potem w Bonn i następnie w Hamburgu. Tu prof. Wilhelm Lenz zainteresował go swoim modelem ferromagnetyzmu, opartym na prostym opisie spinu elektronu przez zmienną dychotomiczną, tak iż spin przyjmuje tylko dwa stany: „w górę” i „w dół”. Ising przyjął takie

założenie dla spinów w punktach rozmieszczonych periodycznie na jednej prostej i z jednakowym oddziaływaniem binarnym najbliższych sąsiadów. Obliczenie dla takiego modelu energii swobodnej w zamkniętej postaci stało się przedmiotem rozprawy doktorskiej Isinga w 1924 r., opublikowanej w *Zeitschrift für Physik* **31**, 253 (1925).

Rudolf Peierls zatytułował swoje doniesienie w *Proc. Camb. Philos. Soc.* **32**, 477 (1936): „On Ising's Model of Ferromagnetism” i ten tytuł komunikatu o możliwości występowania ferromagnetyzmu w modelu dwuwymiarowym stał się początkiem wprowadzenia terminu „model Isinga” do fizyki. H.A. Kramers i G.H. Wannier znaleźli dla dwuwymiarowego modelu Isinga na kracie przedstawienie dualne i przyjmując warunek, że model ma jedno przejście fazowe od stanu paramagnetycznego do stanu ferromagnetycznego, podali wzór na temperaturę punktu krytycznego (*Phys. Rev.* **60**, 252, 263 (1941)). Lars Onsager w publikacji w *Phys. Rev.* **65**, 117 (1944) obliczył energię swobodną dwuwymiarowego modelu Isinga dla dowolnej temperatury i wyraził ją przez zupełne całki eliptyczne, które, jak widać z ich definicji, są funkcjami okresowymi wzdłuż osi rzeczywistej i wzdłuż osi urojonej. Pozostaje interesujący fakt, że nie jest znana postać energii swobodnej modelu Isinga na nieograniczonej sieci w trzech wymiarach.



Ernst Ising

Ising po uzyskaniu doktoratu nie zajmował się fizyką teoretyczną. Uczył w szkole średniej w Berlinie, a od czasu dojścia hitlerowców do władzy, w szkole żydowskiej w Caputh pod Poczdamem. Mieszkał w pobliżu domku

letniego Alberta Einsteina, z którym się przyjaźnił. W listopadzie 1938 r. szkoła została zniszczona przez hitlerowców. Ising z żoną Janiną uszedł do Luksemburga. Gdy armia niemiecka zwyciężyła Francję, Ising pracował przy rozbiórce torów na terenie linii Maginota w Lotaryngii. Dopiero w 1947 r. uzyskał z żoną wizę do Stanów Zjednoczonych. Tu początkowo wykładał w State Teachers College w Minot w stanie Północnej Dakoty. Od 1948 do 1976 r. prowadził z zamiłowaniem cenione przez studentów wykłady z pokazowymi doświadczeniami z fizyki na Uniwersytecie Bradleya w Peorii w stanie Illinois. Zmarł w Peorii 11 maja 1998 r. Jest wspomniany z sympatią przez wszystkich, którzy go znali.

Podstawowa monografia: B. McCoy i T.T. Wu *The Twodimensional Ising model* (Harvard, Cambridge, Mass. 1973) należy do fundamentalnych dzieł mechaniki statystycznej. Encyklopedyczny zbiór: Landolt-Börnstein *Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik, Neue Serie, Gruppe III*, wymienia m.in. materiały magnetyczne, dla których funkcje termodynamiczne dają się przybliżyć funkcjami dwuwymiarowego modelu Isinga. Model Isinga użyteczny jest także do opisu dwuwymiarowego modelu nukleacji kryształów. W zagadnieniu nukleacji, konstrukcja G. Wulffa, znana od czasu publikacji w *Zeitschr. Kristallographie und Mineralogie* **34**, 449 (1901), pozwala z postaci powierzchniowej (a dokładnie brzegowej) energii swobodnej wyprowadzić dwuwymiarowy kształt ziarna krystalicznego. Prace z tego zakresu prowadzone są we współczesnej fizyce statystycznej przez kilka ośrodków. Przykładem mogą być publikacje: C. Rottman, M. Wortis, *Phys. Rev. B* **24**, 6274 (1981) oraz M. Holzer, *Phys. Rev. B* **42**, 10570 (1990). Model Isinga stał się prototypem dwuwymiarowych modeli przejść fazowych, bywa używany do opisu tak odległych tematycznie zjawisk, jak np. przejścia fazowe w membranach biologicznych. Obecnie rocznie ukazuje się ok. 800 prac mających za przedmiot zagadnienia modelu Isinga.

Maciej Suffczyński

Jan Grębski (1911 – 1999)

Dnia 29 stycznia 1999 r. zmarł w Warszawie Jan Grębski, dr inż. chemik, docent na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej.

Urodzony 26 maja 1911 r., studiował na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej w latach 1929–35 i uzyskał dyplom magistra inżyniera chemika ze specjalnością ceramika. Pracę na uczelni rozpoczął w roku 1932 jeszcze jako student, początkowo w charakterze zastępcy asystenta w Katedrze Chemii Nieorganicznej, później jako asystent w Katedrze Technologii Chemicznej Nieorganicznej Politechniki Warszawskiej.

Był uczestnikiem kampanii 1939 r., jeńcem oflagu, a po zwolnieniu uczestnikiem tajnego nauczania na Wydziale Chemicznym PW.

Od 1945 r. był starszym asystentem, a następnie adiunktem w Zakładzie Ceramiki, w Katedrze Technologii

Chemicznej Nieorganicznej PW. Po uzyskaniu doktoratu (w 1951 r.) został kierownikiem tego Zakładu, a następnie wyodrębnionej Katedry Ceramiki. Od roku 1970 kierował pionem ceramicznym i był Kierownikiem Zespołu Naukowo-Badawczego Ceramiki w Zakładzie Technologii Ogólnej i Nieorganicznej Instytutu Chemii Ogólnej i Technologii Nieorganicznej PW.

Równoległe z pracą w Politechnice Warszawskiej, w latach 1944–51 doc. J. Grębski był adiunktem Katedry Fizyki na Wydziale Lekarskim Uniwersytetu Warszawskiego (później Akademii Medycznej), zaś w latach 1946–53 prowadził wykłady i ćwiczenia z technologii nieorganicznej na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Warszawskiego, a także ćwiczenia w I Pracowni Fizycznej IFD UW.

W latach 1948–49 był wykładowcą chemii w Akademii Sztapu Generalnego, w latach 1951–54 – wykładowcą fizyki w Państwowej Wyższej Szkole Pedagogicznej w Warszawie, zaś w latach 1957–60 kierował Działem Szkolenia Instytutu Badań Jądrowych w Warszawie. W latach 1953–55 pełnił funkcję prodziekana Wydziału Chemicznego.

Dał się poznać jako wybitny dydaktyk, wychowawca i przyjaciel wielu roczników studentów. Osobiste, wnikliwe prowadzenie prac dyplomowych (ok. 70) oraz licznych seminariów dla pracowników i studentów były dowodem szczególnej troski i nakładu pracy, jakie poświęcał zadaniom dydaktycznym.

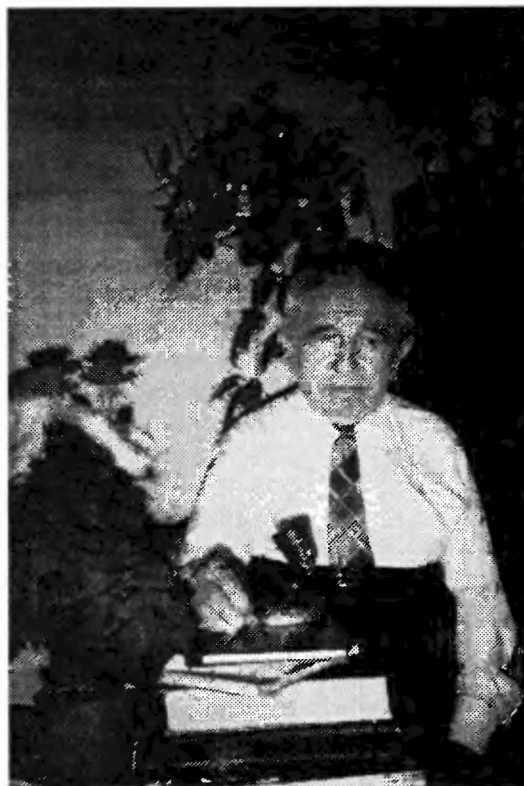
Wśród licznych funkcji, które pełnił z wielką sumiennością należy wymienić: przewodniczącego Rady Oddziałowej ZNP na Wydziale Chemicznym PW (1951–52), członka kilku Komisji przy Stowarzyszeniu Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego, Stowarzyszeniu Inżynierów i Techników Przemysłu Materiałów Budowlanych NOT (1969) i wreszcie przewodniczącego Zarządu Oddziału Warszawskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego w latach 1962–64, a następnie przewodniczącego Komisji Rewizyjnej PTF w latach 1964–68.

Ważny zakres działalności doc. J. Grębskiego dotyczył jego współpracy z przemysłem w zakresie technologii krzemianów. Był wieloletnim członkiem rad naukowych: Instytutu Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach, Instytutu Przemysłu Szkła i Ceramiki w Warszawie oraz Rady Naukowo-Technicznej Biura Badawczego Zakładów Materiałów Magnetycznych „Polfer” w Warszawie.

Tematyka prac badawczych prowadzonych przez doc. J. Grębskiego dotyczyła m.in. badań nad korozją betonu, badań nad spiekaniem tlenku magnezu, opracowania metody otrzymywania azotku krzemu jako spoiwa do specjalnych materiałów ściernych, badań procesu spiekania materiałów ferrytowych oraz badań w zakresie półprzewodników stosowanych w urządzeniach elektronicznych.

W uznaniu wielostronnej działalności był odznaczony wieloma państwowymi i honorowymi odznaczeniami, w tym: Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Medalem Komisji Edukacji Narodowej, złotą odznaką „Zasłużony dla Politechniki Warszawskiej”, oraz

złotymi odznakami „Zasłużony dla Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych” i „Zasłużony dla Instytutu Materiałów Ogniotrwałych”.



Jan Grębski (zdjęcie udostępnione przez syna, Stanisława Grębskiego).

Nam – fizykom – będzie brakowało na naszych seminariach, konwersatoriach i różnych spotkaniach tak często obecnej, charakterystycznej, drobnej sylwetki docenta Jana Grębskiego, który swojego umiłowania nauki nie ograniczał jedynie do chemii, ale wiązał także z fizyką.

Ireneusz Strzałkowski

Alex Hubert (1938 – 1999)

Profesor Alex Hubert, wybitny fizyk niemiecki, zmarł nagle na serce 16 lutego 1999 r. w wieku 60 lat. Środowisko naukowe związane z badaniami magnetycznymi, a zwłaszcza strukturami domenowymi, poniosło nieodżałowaną stratę.

Urodził się w Darmstadcie 14 maja 1938 roku. W latach 1957–63 studiował fizykę w Bonn i Monachium. Po obronie pracy doktorskiej z fizyki na Uniwersytecie w Monachium w 1965 r. Alex Hubert pracował w Max-Planck-Institut für Metallforschung i Instytucie Fizyki w Stuttgarcie (1966–75), gdzie rozpoczął badania nad teorią magnetycznych struktur domenowych. W 1974 r. habilitował się z fizyki na Uniwersytecie w Stuttgarcie, a od roku 1976 do śmierci pracował w Institut für Werkstoffwissenschaften, Lehr-

stahl Werkstoffe der Elektrotechnik w Uniwersytecie w Erlangen-Nürnberg jako profesor inżynierii materiałowej (w zakresie materiałów elektronicznych). To właśnie tam w latach siedemdziesiątych przeprowadził pionierskie obserwacje mikrostruktur magnetycznych wykorzystując efekt Kerra. W ostatnich latach swoje zainteresowania ponownie zwrócił ku teorii; pomocne było mu tu jego ogromne doświadczenie w opracowaniu numerycznych rozwiązań zjawisk mikromagnetycznych.

Był członkiem Deutsche Physikalische Gesellschaft i The Institute of Electrical and Electronics Engineers (USA).

Alex Hubert należał do znakomitych fizyków pracujących w dziedzinie eksperymentalnej i teoretycznej analizy magnetycznych struktur domenowych, publikując ponad 150 prac naukowych i dwie monografie (pełny wykaz monografii i publikacji można znaleźć w Internecie pod adresem: hubert@ww.uni-erlangen.de). Jego nazwisko weszło na trwałe do fizyki ciała stałego, a w szczególności fizyki zjawisk magnetycznych. To właśnie w analizie struktur domenowych do wyznaczenia gęstości energii ścian domenowych stosuje się procedurę zaproponowaną przez Huberta. Był często zapraszany na konferencje, ogromnie ceniony za wysokie wymagania jako partner w dyskusji dotyczącej nie tylko problemów mikromagnetyzmu, ale również związanych z rozwojem nauk przyrodniczych. Wielokrotnie przebywał w światowych ośrodkach, takich jak: IBM Research Center w Yorktown Heights, USA (1973–74, 1979), Carnegie-Mellon University w Pittsburghu, USA (1984), CNRS w Meudon, Francja (1983–91), Institute for Physical High Technology w Jenie, Niemcy (1990) i Institute for Materials Science and Solid State Physics w Dreźnie, Niemcy (1996–98).

Profesor Alex Hubert żywo interesował się wynikami prac prowadzonych w polskich laboratoriach i wykazywał doskonałe rozeznanie w tematyce badań naszych ośrodków. Pamiętam nasze pierwsze spotkanie w czasie konferencji INTERMAG w St. Paul (USA) w 1985 r. Profesor w trakcie rozmowy od czasu do czasu spoglądał z wyraźnym zdziwieniem na moją plaketkę z nazwiskiem, jakby chcąc się upewnić, czy właściwie je odczytał. Wreszcie na koniec rozmowy stwierdził: „Pan powinien być starszy”. Okazało się, że Profesor znał i pamiętał wcześniejsze prace mojego ojca dotyczące obserwacji struktur domenowych i myślał, że to ja jestem ich autorem, tylko mój wiek nie pasował do czasu powstania tych prac. Mia-

łem przyjemność gościć u Profesora na Uniwersytecie, jak i w domu. Nie wiem, co bardziej podziwiać – doskonale wyposażone laboratorium, czy przebogata kolekcję płyt z muzyką ludową z całego świata.

Nieoczekiwana i nagła śmierć prof. Alexa Huberta pozostawia ogromną pustkę w społeczności ludzi zajmujących się magnetyzmem, z jedynym pocieszeniem, że swoją ogromną wiedzę i doświadczenie w dziedzinie domen magnetycznych zawarł w doskonałej monografii *Magnetic domains: the analysis of magnetic microstructures*, która została niedawno wydana przez Springer-Verlag (1998).

Jerzy J. Wysocki

Gerhard Herzberg (1904 – 1999)

Dnia 4 marca 1999 r. zmarł w Ottawie Gerhard Herzberg, fizyk, chemik i astronom, zwany „ojcem nowoczesnej spektroskopii molekularnej”.

Herzberg urodził się 25 grudnia 1904 r. w Hamburgu. Studiował na Politechnice w Darmstadcie, którą ukończył w 1928 r. W 1935 r. emigrował do Kanady. Był profesorem kolejno Uniwersytetu Saskatchewan w Saskatoon, Uniwersytetu Chicagowskiego i od 1949 r. instytutu NRC (Narodowej Rady Badań) w Ottawie, gdzie w latach 1955–69 był dyrektorem oddziału fizyki.

W 1971 r. otrzymał Nagrodę Nobla z chemii za badania struktury elektronowej i geometrii cząsteczek, w szczególności wolnych rodników. Uzyskane przez niego wyniki dały podstawy do ścisłego opisu kwantowego małych cząsteczek. Jego czterotomowa monografia *Molecular Spectra and Molecular Structure* miała wiele aktualizowanych wydań i stała się „biblią” spektroskopistów molekularnych.

Badania Herzberga w dziedzinie astrofizyki poszerzyły naszą wiedzę o atmosferach gwiazd i planet.

Był członkiem londyńskiego Towarzystwa Królewskiego, Towarzystwa Królewskiego Kanady, Papieskiej Akademii Nauk i w kadencji 1956–57 prezesem Kanadyjskiego Stowarzyszenia Fizyków. Jego nazwiskiem nazwano Instytut Astrofizyki NRC. Jego nazwisko nadano również asteroidzie 3316. W 1970 r. Kanadyjskie Stowarzyszenie Fizyków ustanowiło Medal Herzberga nadawany za wybitne osiągnięcia fizykom poniżej 40 roku życia.

Phys. in Canada 55, nr 3 (1999)

B. W.

KALENDARZ IMPREZ

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

1999

13 – 15 września 1999, Kraków

Wiedza fizyczna i jej przekaz

Katedra Podstaw i Dydaktyki Fizyki WSP w Krakowie, Centralny Ośrodek Metodyczny Studiów Nauczycielskich przy WSP w Krakowie, Oddział Katowicki PTF; dr hab. Władysław Błasiak, IFil WSP, Podchorążych 2, 30-084 Kraków, adr.el.: sfblasia@cyf-kr.edu.pl.

P, U: 75, O: 100 zł.

13 – 17 września 1999, Krynica-Zdrój

Int. Conf. on Liquid Crystals

Wojskowa Akademia Techniczna i Polskie Towarzystwo Wzrostu Krysztalów; dr Jerzy Zieliński, Inst. Fizyki Technicznej WAT, Kaliskiego 2, 01-489 Warszawa, tel.: (22) 6859559 lub (22) 6859076, fax: (22) 6859109, adr.el.: zielj@wat.waw.pl.

P, ang.

20 – 23 września 1999, Białystok

XXXV Zjazd Fizyków Polskich

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

20 – 23 września 1999, Pułtusk

Interferometri '99

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

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

21 – 24 września 1999, Ustroń

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

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

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

22 – 25 września 1999, Wrocław

EOS topical meeting on Physiological Optics

Europejskie Tow. Optyczne i Politechnika Wrocławska; dr Henryk Kasprzak, IF PWr, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, tel.: (71) 3203613 lub (71) 3202592, fax: (22) 3283696, adr.el.: pho@rainbow.if.pwr.wroc.pl, Internet: www.if.pwr.wroc.pl/POG/.

ang.

27 września – 1 października 1999, Świnoujście

6th Symp. on Laser Technology

Politechnika Szczecińska, Politechnika Warszawska, Wojskowa Akademia Techniczna; prof. W. Woliński, Inst. Mikroelektroniki i Optoelektroniki PW, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel.: (22) 6254786, fax: (22) 6288740, adr.el.: wwoliński@imio.edu.pl.

P, ang.

14 – 16 października 1999, Krasnobród

Technology and Applications of Lightguides

Pracownia Technologii Światłowodów UMCS oraz Politechnika Lubelska; prof. Jan Rayss, PTŚ UMCS, pl. M. Curie-Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin, tel.: (81) 5375573, fax: (81) 5333348, adr.el.: koper@hermes.umcs.lublin.pl.

20 – 22 października 1999, Warszawa

Int. Conf. Biological Optics for Medicine

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

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

2000

11 – 19 lutego 2000, Łądek Zdrój

36. Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej: Egzotyczna Fizyka Statystyczna

Inst. Fizyki Teoretycznej Uniw. Wrocław.; prof. Andrzej Pękałski, IFT UWr, pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław, tel.: (71) 3201354, 3201408, adr.el.: apeka@if.ift.uni.wroc.pl.

P, U: 90, O: 400 USD, ang.

12 – 17 czerwca 2000, Jaszowiec

V Int. School and Symp. on Synchrotron Radiation in Natural Science

Inst. Fizyki Jądrowej; Wojciech Kwiatek, IFJ, Zakład Spektroskopii Jądrowej, Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, tel.: (12) 6370222 w. 235, fax: (12) 6371881, adr.el.: synchrotron@castor.if.uj.edu.pl.

26 – 28 czerwca 2000, Wrocław

XIII Konferencja „Nauczanie fizyki w wyższych szkołach technicznych”

Inst. Fizyki Pol. Wrocławskiej i Polskie Towarzystwo Fizyczne; prof. Ewa Dobierzewska-Mozrzyńmas, IF PWr, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, tel.: (71) 3202020 lub (71) 3202787, fax: (71) 3283696, adr.el.: kon2000@rainbow.if.pwr.wroc.pl

Z: 30.11.99, O: 350 zł.

NOWE KSIĄŻKI

- Krzysztof Stefański, *Wstęp do mechaniki klasycznej*, PWN, Warszawa 1999, s. 174.
- *Słownik Fizyki*, z jęz. angielskiego tłum. Jerzy Gronkowski, Perła Kacman, Eugenia Kaczmarek, Barbara Wojtowicz-Natanson; Prószyński i S-ka, Warszawa 1999, s. 462, cena 39,00 zł.
- Klaus Hoffmann, *J. Robert Oppenheimer – Twórca pierwszej bomby atomowej*, z jęz. niemieckiego tłum. Krzysztof Żak; WNT, Warszawa 1999, s. 322, cena 45,00 zł.
- *Fizyczne metody badań w biologii, medycynie i ochronie środowiska*, praca zbiorowa pod red. Andrzeja Z. Hrynkiewicza i Eugeniusza Rokity; PWN, Warszawa 1999, s. 444.
- Wojciech Niemirowicz, *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna*, Wyd. Szkoły Nauk Ścisłych, Warszawa 1999, s. 235.
- Alwyn Scott, *Schody do umysłu – Nowa kontrowersyjna wiedza o świadomości*, z jęz. angielskiego tłum. Halina Barańska; WNT, Warszawa 1999, s. 236, cena 35,00 zł.
- Józef Wojaś, *Rozwój teorii i metod badawczych fotoemisji z metali, półprzewodników i izolatorów, część I*, Akademicka Oficyna Wyd. PLJ, Warszawa 1999, s. 696 (rozprowadza księgarnia PLJ, Wilcza 45, Warszawa, tel. (22) 6594283).
- Zbigniew Jacyna-Onyszkiewicz, *Metakosmologia*, Gazeta Handlowa Sp. z o.o., Poznań 1999.

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 1999 r. wynosi 15,00 zł za pół roku, 30,00 zł za rok. Prenumeratę można zamówić za pośrednictwem:

I. RUCH-u

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

II. ZARZĄDU GŁÓWNEGO PTF

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

III. ODDZIAŁÓW PTF

Prenumeratę można zamówić również w oddziale PTF. Członkowie PTF, którzy opłacają prenumeratę w oddziałach PTF na cały rok, otrzymują 20% zniżki. W przypadku, gdy oddział zamawia liczbę egzemplarzy przekraczającą 50% liczby członków, zniżka wynosi 30%. Taka sama zniżka (30%) przysługuje studentom, niezależnie od odsetka prenumeratorów w danym oddziale. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

INFORMACJE DLA AUTORÓW

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

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

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

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, Poland.

SPIS TREŚCI

| | |
|--|-----|
| S. Mrówczyński – Plazma kwarkowo-gluonowa | 225 |
| P.J. Durka – Elektroencefalogram i przybliżenia adaptacyjne sygnałów | 234 |
| J. Bradshaw – Szyby samochodowe: niewidoczne, póki całe | 241 |
| RÓŻNE | |
| P.-G. de Gennes – O błędach fizyków | 248 |
| WSPOMNIENIA – ROCZNICE | |
| R. Gajewski – Leopold Infeld, jakim go pamiętam | 259 |
| NOWOŚCI NAUKOWE | |
| A. Sobiczewski – Synteza nowych pierwiastków w Berkeley | 264 |
| ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI | 267 |
| RECENZJE | 268 |
| LISTY DO REDAKCJI | 274 |
| KRONIKA | 276 |

CONTENTS

| | |
|--|-----|
| S. Mrówczyński – Quark-gluon plasma | 225 |
| P.J. Durka – Electroencephalogram and adaptive approximations of signals | 234 |
| J. Bradshaw – Windscreens: never seen until damaged | 241 |
| MISCELLANEA | |
| P.-G. de Gennes – On physicists' errors | 248 |
| RECOLLECTIONS – ANNIVERSARIES | |
| R. Gajewski – Leopold Infeld, as I remember him | 259 |
| SCIENTIFIC NEWS | |
| A. Sobiczewski – Synthesis of new elements in Berkeley | 264 |
| MEETINGS AND CONFERENCES | 267 |
| REVIEWS | 268 |
| LETTERS TO THE EDITOR | 274 |
| CHRONICLE | 276 |

WKRÓTCE

- *Jacek M. Baranowski o laserach niebieskich*
- *Stefan Taczanowski o transmutacjach, układach podkrytycznych i energii*
- *Wykłady noblowskie Roberta Laughlina, Horsta Störmera i Daniela Tsui (Nobel 1998 za kwantowe ułamkowe zjawisko Halla)*
- *Piotr Jeleń o niezwykłych właściwościach kwazikryształów*
- *Michael Weiden o spinowym stanie Peierlsa*