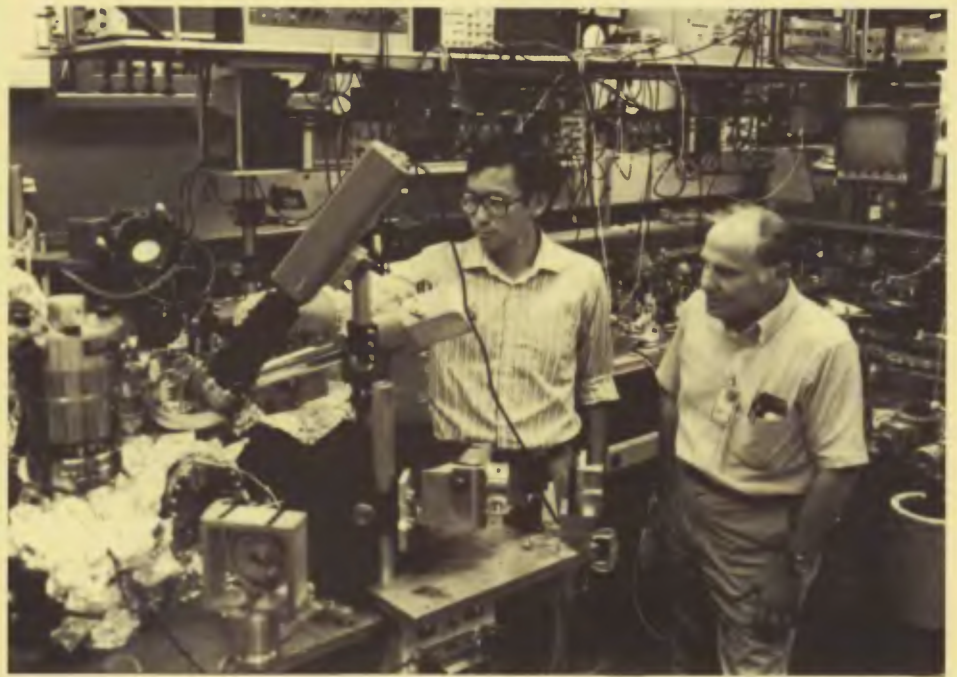


POSTĘPY FIZYKI

TOM **50** ZESZYT **3** ROK **1999**



DWUMIESIĘCZNIK
POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



MANIPULOWANIE CZĄSTKAMI

*QUO VADIS, METROLOGIO?
SYMPOZJA MAKSA BORNA
O PRZYSZŁOŚCI NAUCZANIA FIZYKI*

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

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

REDAKTORZY NACZELNI CZASOPISM PTF

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

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

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

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

Manipulowanie cząstkami obojętnymi*

Steven Chu

Departments of Physics and Applied Physics, Stanford University, Stanford, California, USA

The manipulation of neutral particles

Nobel Lecture, 8 December 1997, Stockholm

1. Wstęp

Mój wykład jest osobistą relacją, dotyczącą rozwoju chłodzenia i pułapkowania laserowego. Zamiast wyważonej historii tej gałęzi fizyki, wolę przedstawić osobiste spojrzenie na stworzoną wspólnie z moimi kolegami drogę badań.

Studia doktoranckie i staż podoktorski odbywałem pod opieką Eugene'a Commins'a w Berkeley, gdzie badałem niezachowanie parzystości w doświadczeniach z fizyki atomowej [1]. Następnie, jesienią 1978 r., podjąłem pracę w Laboratoriach Bella. Laboratoria te są rajem dla badaczy. Nasze kierownictwo zdobywało fundusze, chroniło nas przed biurokracją i motywowało do jak najlepszej pracy naukowej. Załoczone laboratoria i małe pokoje sprawiały, że cały czas niemal ocieraliśmy się wzajemnie o siebie. W czasie seminariów prowadziliśmy ożywione dyskusje, natomiast zwykle rozmowy w czasie posiłków pozwalały nawiązywać nowe kontakty, owocujące często współpracą.

W pierwszych latach pracy w Laboratoriach Bella napisałem wewnętrzną notatkę, dotyczącą perspektyw mikroskopii rentgenowskiej. Pracowałem także wraz z Hyattem Gibbem i Sa-

mem McCallem nad lokalizacją Andersona [2,3], którą badaliśmy doświadczalnie, analizując przekaz energii w rubinie. Praca ta doprowadziła nas do rozważań o możliwości badania przejść Motta lub Andersona w innych układach ekscytonowych, jak np. GaP:N, za pomocą metod związanych z pikosekundowymi impulsami laserowymi [4]. W trakcie pomiarów przypadkowo odkryłem, że impulsy pikosekundowe rozprzestrzeniają się z prędkością grupową nawet wtedy, gdy prędkość ta przekracza prędkość światła lub staje się ujemna [5].

Ucząc się o ekscytonach i poznając sposoby budowy laserów pikosekundowych, rozpocząłem pracę z Allanem Millsem, światowej sławy znawcą problemów dotyczących pozytonu i pozytonium. Rozmowy o możliwościach współpracy podjęliśmy jeszcze w czasie mojego pobytu w Berkeley. Jednak dopiero w 1979 r. rozpoczęliśmy wspólny eksperyment. Po trzech długich, niejednokrotnie pełnych frustracji latach (czyli po czasie dość długim jak na standardy Laboratoriów Bella) udało się nam w końcu wzbudzić pozytonium i zmierzyć odstęp energetyczny pomiędzy poziomami 1S i 2S [6].

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

2. Przenosiny do Holmdel – rozgrzewka przed chłodzeniem laserowym

Moje zaangażowanie się w dziedzinę chłodzenia i pułapkowania laserowego było związane z przeniesieniem się z Murray Hill (New Jersey) do Holmdel, gdzie jesienią 1983 r. zostałem kierownikiem Działu Badawczego Elektroniki Kwantowej. Podczas rozmów z Artem Ashkinem, moim sąsiadem w Holmdel, poznałem jego marzenie o pułapkowaniu atomów za pomocą światła. Ashkin znalazł we mnie coraz bardziej zainteresowanego słuchacza, zaczął więc podsuwać mi odbitki swoich prac. Tej jesieni dołączył do mnie Leo Hollberg. Gdy przyjąłem go do pracy na kontrakt podoktorski, planowałem zbudować spektrometr do pomiaru strat energii elektronów otrzymanych w drodze progowej jonizacji wiązki atomowej przez laser pikosekundowy. Mieliśmy nadzieję poprawić rozdzielczość energetyczną o co najmniej rząd wielkości w stosunku do najlepszych wówczas spektrometrów. Chcieliśmy potem nasz spektrometr – o rozdzielczości optycznej, a czułości elektronowej – zastosować do badania adsorbentów cząsteczkowych na powierzchniach. Jednakże Leo był z wykształcenia fizykiem atomowym i, tak jak ja, zaczął interesować się możliwością manipulowania atomami za pomocą światła.

Postanowiliśmy wraz z Leo pojechać do Massachusetts, aby wziąć udział w roboczym spotkaniu na temat pułapkowania jonów i atomów, zorganizowanym przez Davida Pritcharda w MIT. Byłem zupełnym ignorantem, brakowało mi nawet prostego wycucia, które jest niezbędne, gdy chce się zrobić coś nowego w danej dziedzinie. Przykładem całkowitego braku zrozumienia mogą być moje rozważania na temat dyspersyjnego charakteru „siły dipolowej”. Siła ta jest przyciągająca, gdy częstość światła jest dostrojona poniżej atomowej częstości rezonansowej, odpychająca przy dostrojeniu powyżej rezonansu, zaś znika w ścisłym rezonansie. Spoglądając wstecz na moje pierwsze wysiłki, jestem wręcz zawstydzony, jak wiele czasu zajęło mi zrozumienie zjawiska, które przecież można wyjaśnić za pomocą fizyki elementarnej. Z drugiej strony muszę stwierdzić, że nie byłem całkiem odosobniony w moim braku wycucia. Kiedy zapytałem o to zjawisko kolegę w Laboratoriach Bella, odpowiedział mi: — Tylko Jim Gordon naprawdę rozumie siłę dipolową.

Siły, jakimi światło może działać na materię, były w latach osiemdziesiątych dobrze znane (dokładny opis wczesnych badań można znaleźć w [7]). Obliczenia gęstości strumienia pędu światła dokonane przez Maxwella [8], doświadczalna obserwacja ciśnienia światła na objekty makroskopowe przeprowadzona przez Lebediewa [9], a także przez Nicholasa i Hulla [10], dostarczyły pierwszych ilościowych danych, pozwalających zrozumieć, jak światło może wywierać siły działające na ciała materialne. Einstein [11] zwrócił uwagę na kwantową naturę tej siły: atom, który absorbuje foton o energii $h\nu$, jednocześnie zyskuje pęd $h\nu/c$ wzdłuż kierunku wyznaczonego przez padający foton o pędzie p_p . Jeżeli zaś atom emituje foton o pędzie p_e , to doświadcza odrzutu w przeciwnym kierunku. A zatem w wyniku procesu niespójnego rozpraszania fotonu pęd atomu ulega zmianie o $\Delta p_{at} = p_p - p_e$. W roku 1930 Frisch [12] zaobserwował odchylenie wiązki atomowej oświetlonej lampą sodową, przy czym średnia zmiana pędu atomów wywołana była rozproszeniem jednego fotonu.

Emisja fotonu rozproszonego nie ma żadnego uprzywilejowanego kierunku, wobec tego efekt całkowity wywołany absorpcją N fotonów na sekundę jest związany tylko z fotonami pochłoniętymi. W rezultacie na atom działa siła $F_{roz} = Np_p$. Typowe tempo rozpraszania przez atomy wzbudzone laserem dostrojonym do silnej linii rezonansowej jest rzędu $10^7 - 10^8$ fotonów na sekundę. Przykładowo, prędkość atomu sodu zmienia się o ok. 3 cm/s w wyniku absorpcji jednego fotonu. Siła działająca na atom może więc być 10^5 razy większa niż przyciąganie grawitacyjne Ziemi, jest ona jednak dużo słabsza w porównaniu z siłami elektromagnetycznymi, działającymi pomiędzy cząstkami naładowanymi, lecz znacznie większa niż jakiegokolwiek siły długozasięgowe, mogące działać pomiędzy cząstkami obojętnymi elektrycznie.

Istnieje też drugi typ sił, których działanie polega na skupianiu (tj. rozpraszaniu spójnym) fotonów. Soczewka zmienia rozkład pędów pola świetlnego. Na mocy trzeciej zasady dynamiki Newtona na soczewkę działa siła reakcji, przeciwnie skierowana i równa co do wartości szybkości zmian pędu pola świetlnego. Na przykład soczewka skupiająca jest wciągana do obszaru o większym natężeniu światła; ilustruje to

rys. 1 (szczegółowe obliczenia dotyczące skupiania w obszarze rozpraszania Miego, tj. gdy długość fali świetlnej jest mniejsza niż średnica cząstek, można znaleźć w wielu publikacjach, np. [13]). W przypadku atomów wielkość siły oblicza się dodając do pola padającego pole o charakterze dipolowym, wytwarzane przez elektrony atomowe, których ruch jest wymuszany przez pole padające.



Rys. 1. Fotografia szklanej kulki o średnicy $10\ \mu\text{m}$ uwięzionej w wodzie za pomocą wiązki lasera argonowego padającej z góry. Fluorescencja jest rejestrowana przy użyciu filtra przepuszczającego światło czerwone, a zatrzymującego zielone. Promienie wychodzące (załamane) wykazują znaczące zmniejszenie kątów względem promieni padających. Wzrost pędu światła skierowany do przodu daje siłę działającą na szklany paciorek, skierowaną do góry. Siła ta równoważy skierowaną w dół siłę rozproszeniową. Prążki widoczne w świetle rozproszonym do przodu są zwykłym wzorem pierścieniowym, charakterystycznym dla rozpraszania Miego.

Ta siła reakcji jest także nazywana „siłą dipolową”. Oscylujące pole elektryczne fali świetlnej E indukuje atomowy moment dipolowy p . Jeśli jest on zgodny w fazie z polem elektrycznym E , to energia oddziaływania $-p \cdot E$ jest mniejsza w obszarze silnego pola. Jeśli zaś moment dipolowy i pole wymuszające są w przeciwfazie, to energia atomu w polu wzrasta i na atom działa siła wyrzucająca go z obszaru pola. Łatwo jest zrozumieć przyczyny takiej zmiany znaków, przyjmując tłumiony oscylator harmoniczny za model atomu (czy też cząstki). Oscylator wymuszany z częstotścią mniejszą niż jego częstota rezonansowa jest w fazie z polem wymuszającym, natomiast wymuszanie z częstotścią większą niż częstota własna oscylatora sprawia, że jest on w przeciwfazie z po-

lem. W ścisłym rezonansie różnica faz wynosi 90° i $p \cdot E = 0$.

Siła dipolowa była po raz pierwszy rozważana przez Askariana [14] w odniesieniu do plazmy, jak również do cząstek obojętnych. Możliwość pułapkowania atomów za pomocą tej siły była analizowana przez Letochowa [15], który sugerował, że atomy mogą być uwięzione wzdłuż jednego kierunku w węzłach lub strzałkach fali stojącej, dostrojonej do częstości dalekiej od rezonansu atomowego. W roku 1970 Arthurowi Ashkinowi udało się pułapkować cząstki o rozmiarach rzędu mikrometra w polu dwóch przeciwnie skierowanych, zogniskowanych wiązek laserowych, co przedstawia rys. 2. Uwięzienie w kierunku osiowym było spowodowane siłą rozproszeniową: przesunięcie cząstki w kierunku któregośkolwiek z ognisk powodowało nierównomierne rozpraszanie, które dawało siłę popychającą cząstkę z powrotem do środka pułapki. W kierunku poprzecznym (radialnym) skierowana na zewnątrz siła rozproszeniowa była pokonywana przez przyciągającą siłę dipolową. W ciągu następnych lat Ashkin zbudował układy o innej geometrii [16], które także zapewniały stabilne pułapkowanie. W roku 1978 zaproponował pierwszą trójwymiarową pułapkę atomową [17]. W tym samym roku Ashkin wraz z Johnem Bjorkholmem i Richardem Freemanem wykazali działanie siły dipolowej, skupiając wiązkę atomową za pomocą zogniskowanej wiązki laserowej [18].



Rys. 2. Schemat pierwszej pułapki, skonstruowanej przez Ashkina. Uwięzienie w kierunku osiowym wynika stąd, że siły rozproszeniowe pochodzące od wiązek nadbiegających z lewej i prawej nie równoważą się. Uwięzienie w kierunku radialnym jest rezultatem działania siły dipolowej, która musi pokonać skierowaną na zewnątrz siłę rozproszeniową.

Mimo tego postępu, prace doświadczalne prowadzone w Laboratoriach Bella zostały po roku zawieszono z powodu napotkania dwóch zasadniczych trudności. Po pierwsze, siły pułapujące

wytwarzane przez silne wiązki laserowe są słabe. W temperaturze pokojowej atomy mają średnią energię $\frac{3}{2}k_B T \approx \frac{1}{2}mv^2$, o kilka rzędów wielkości więcej niż wartości energii atomów, które mogłyby być pułapowane w proponowanych urządzeniach. Źródło zimnych atomów o dostatecznej wydajności nie istniało, aby więc uwięzić jak największą liczbę atomów, potrzebne były pułapki o dużej objętości. Po drugie, stwierdzono, że dla pułapki optycznej o dużej objętości utworzonej przez przeciwbieżne wiązki światła, poważnym problemem jest podgrzewanie atomów. Atom może pochłonąć foton z jednej wiązki, a następnie powrócić do stanu początkowego w procesie wymuszonym przez wiązkę przeciwnie skierowaną. W takim procesie atom dwukrotnie doświadcza odrzutu w tym samym kierunku. Jednakże taki proces może także przebiegać z zamianą ról wiązek: najpierw zachodzi absorpcja z wiązki drugiej, a potem emisja wymuszona pod wpływem światła wiązki pierwszej. W tej sytuacji zmiana pędu atomu będzie mieć inny znak niż w sytuacji pierwszej. Ponieważ oddziaływanie zachodzi losowo z jedną lub drugą wiązką, więc następuje średni wzrost prędkości atomów. W rezultacie ulegną one szybkiemu podgrzaniu i uciekną z pułapki. Proces podgrzewania dla atomów dwupoziomowych został ściśle opisany przez Gordona i Ashkina [19].

3. Wyprawa do krainy chłodu

Mój pierwszy pomysł rozwiązania problemów związanych z umieszczaniem atomów w pułapce był prosty, ale skłonił mnie do zajęcia się na serio pułapkowaniem atomów. Zaproponowałem zbudowanie zimnego źródła atomów poprzez odkładanie atomów sodu na matrycy gazu szlachetnego – neonu [20]. Sądziłem, że przez ogrzewanie takiej matrycy atomowej laserem impulsowym możliwe będzie „zdmuchnięcie” atomów neonu i sodu do postaci pary o temperaturze kilkudziesięciu kelwinów. Gdy już otrzymamy parę, znacząca część atomów sodu, włącznie z najpowolniejszymi, będzie mieć rozkład prędkości typu Maxwella–Boltzmann. W konwencjonalnej wiązce atomowej najbardziej powolne atomy są wybijane z wiązki przez nadbiegające z tyłu atomy o większej prędkości. W „wydmuchiwany” źródle powierzchnia matrycy może być szybko ogrzewana i ochładzana, tak że nie będzie szybkich atomów nadbie-

gających z tyłu. Dodatkową korzyścią było to, że źródło takie można szybko i całkowicie wyłączyć, a więc powinna być możliwa detekcja nawet kilku uwięzionych atomów.

Wkrótce po moim przeistoczeniu się z zainteresowanego obserwatora w aktywnego badacza zorientowałem się, że droga do pułapkowania prowadzi przez chłodzenie laserowe przy użyciu wiązek przeciwbieżnych. Jeśli wiązki laserowe są dostrójone poniżej rezonansu atomowego, to dzięki zjawisku Dopplera poruszający się atom „widzi” światło nadbiegające z przeciwnika jako bliższe rezonansowi. Natomiast światło nadbiegające w kierunku zgodnym z prędkością atomu jest dopplerowsko przesunięte jeszcze bardziej w dół, dalej od rezonansu. Wobec tego po uśrednieniu po wielu procesach odrzutu związanych z oddziaływaniem z fotonami obu wiązek atom doświadcza działania efektywnej siły spowalniającej jego ruch. W granicy, gdy atomy są wystarczająco powolne na to, aby różnica absorpcji związanej z efektem Dopplera była proporcjonalna do prędkości, siła ta ma charakter oporu lepkiego: $F = -\alpha v$. Hänsch i Schawlow przedstawili tę elegancką ideę w 1975 roku [21]. Wineland i Dehmelt w tym samym roku zaproponowali odpowiedni schemat chłodzenia laserowego [22].

Oszacowanie temperatury równowagowej otrzymuje się przez przyrównanie tempa chłodzenia w nieobecności podgrzewania do tempa podgrzewania w nieobecności chłodzenia

$$\frac{dW_g}{dt} = \frac{dW_c}{dt} = -F \cdot v.$$

Podgrzewanie jest związane z przypadkowym odrzutem, jakiego doświadcza atom rozpraszając losowo fotony z dwóch przeciwbieżnych wiązek, w polu których się znajduje [23,19]. Pęd rośnie tak jak w błędzeniu przypadkowym w przestrzeni pędów, więc średni pęd rośnie jak

$$\frac{dW_g}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{p^2}{2M} \right) = \frac{N p_{od}^2}{2M},$$

gdzie p_{od} jest pędem odrzutu związanym z jednym oddziaływaniem, zaś N jest liczbą aktów rozpraszania w ciągu sekundy. Przyrównując tempo ogrzewania do tempa chłodzenia można otrzymać temperaturę równowagową jako funkcję natężenia światła laserowego, szerokości przejścia atomowego i odstrojenia lasera od rezonansu. Mini-

małą temperaturę równowagową określa związek $k_B T_{\min} = \hbar\Gamma/2$, gdzie Γ jest szerokością przejścia. Przewidywanie to obowiązuje dla małych natężeń i dla odstrojenia $\Delta\nu = \Gamma/2$, gdy asymetria przesunięcia dopplerowskiego osiąga maksimum. W granicy małych natężeń można przyjąć, że wiązki laserowe działają na atomy niezależnie od siebie, a więc w granicy tej komplikacje pochodzące od ogrzewania w wyniku procesów wymuszonych przez fotony z różnych wiązek są zaniebdywalne.

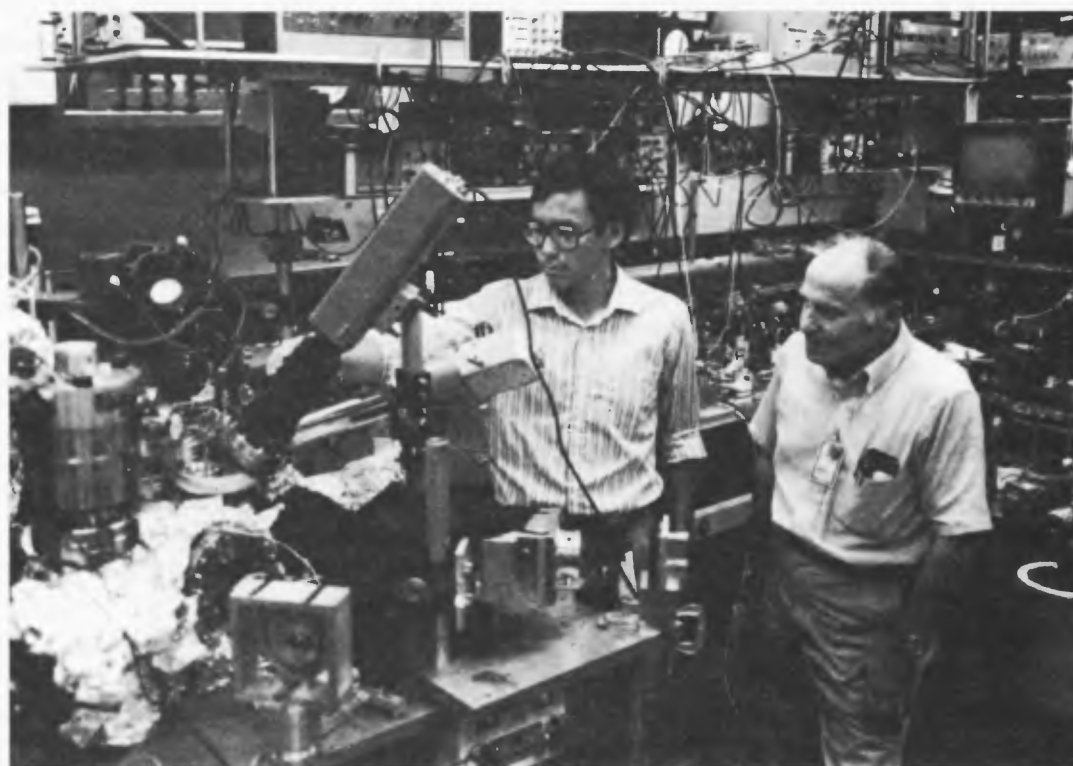
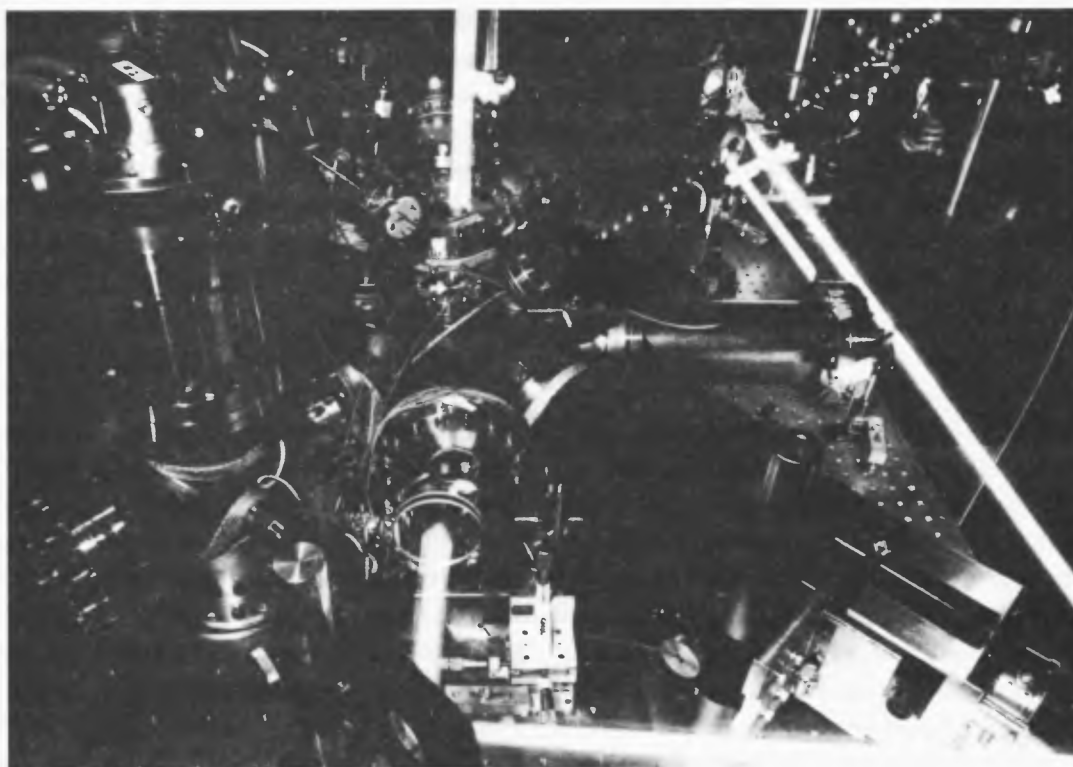
Światło nie tylko chłodzi atomy, ale także tworzy pułapkę. Koncepcja chłodzenia laserowego jest analogiczna do ruchów Browna cząstki kurzu zanurzonej w wodzie. Na cząstkę działa siła oporu lepkiego i czas jej przebywania w ograniczonym obszarze można oszacować za pomocą pojęć z fizyki elementarnej. Średni kwadrat przesunięcia $\langle x^2 \rangle$ w przedziale czasu Δt wynika z teorii błędzenia przypadkowego i wynosi $\langle x^2 \rangle = 2D\Delta t$, gdzie D jest współczynnikiem dyfuzji, danym związkiem Einsteina $D = k_B T/\alpha$. Dla atomu o prędkości takiej, że $k \cdot v < \Gamma$, działająca nań siła ma charakter oporu lepkiego: $F = -\alpha v$. Otaczając atom sześcioma wiązkami rozprzestrzeniającymi się w kierunkach osi $\pm x$, y i z , tworzymy morze fotonów działających jak wyjątkowo lepki płyn – „melasę optyczną”¹. Jeśli utrzymuje się małe natężenie światła, atomy szybko ochładzają się do temperatury bliskiej T_{\min} . Gdy atomy zostaną ochłodzone, przebywają w obszarze o rozmiarach centymetra przez czas rzędu nawet ułamka sekundy.

W tej sytuacji Leo i ja odłożyliśmy na półkę nasze plany budowy spektrometru elektronowego i całą energię poświęciliśmy otrzymaniu melasy optycznej. Prędko skonstruowaliśmy „wydmuchiwane” źródło atomów sodu, niezbędne do wypełnienia układu melasy. Aby sprawy uprościć, rozpoczęliśmy pracę z kulką sodu w temperaturze pokojowej. Zamiast borykać się z komplikacjami powodowanymi przez matrycę neonową, postanowiliśmy powiększyć liczbę zimnych atomów z naszego źródła przez ich spowolnienie jeszcze przed rozpoczęciem doświadczeń z melasą optyczną. Było już kilka wcześniejszych eksperymentów, w których spowalniano wiązki ato-

mowe za pomocą światła laserowego (pełną dyskusję prac do roku 1985 zawiera artykuł [24]), jednakże atomy sodu powinny być spowolnione do prędkości 200 – 300 cm/s (a więc praktycznie zatrzymane!), zanim można by umieścić je w pułapce. Dwóm zespołom udało się osiągnąć ten przełomowy cel pod koniec roku 1984. Dokonała tego grupa kierowana przez Billa Phillipsa z Państwowego Biura Wzorców (NBS) w Gaithersburgu w stanie Maryland [25] posługując się malejącym wzdłuż biegu wiązki polem magnetycznym, oraz druga grupa, także z NBS, lecz z Boulder w stanie Colorado, prowadzona przez Jana Halla [26]. Postanowiliśmy skopiować metodę zaproponowaną przez Ertmera i współpracowników [26] i posłużyć się generatorem elektrooptycznym w celu uzyskania pasma bocznego o regulowanej częstotliwości. Światło o częstotliwości tego pasma bocznego jest skierowane w stronę atomów nadbiegających od strony powierzchni sodu i gdy atomy są spowalniane, częstotliwość jest przestrajana tak, aby utrzymać światło w rezonansie z atomami, dla których przesunięcie dopplerowskie ulega zmianom.

Leo był lepszym elektronikiem ode mnie i przyjął na siebie odpowiedzialność za część projektu związaną z częstotliwościami radiowymi. Ja natomiast rozpocząłem budowę linii transmisyjnej z szerokopasmowym modulatorem elektrooptycznym. Jedną z zalet pracy w Laboratoriach Bella jest możliwość znalezienia na miejscu konsultanta-eksperta. Pionierskie prace nad modulatorami elektrooptycznymi wykonano w Laboratoriach w Holmdel w latach sześćdziesiątych, a w roku 1983 nadal byliśmy liderami w tej dziedzinie. Nauczyłem się budować modulatory elektrooptyczne dzięki lekturze słynnej książki napisanej przez kolegę, Ivana Kaminowa [27]. Larry Buhl współpracował przy wycinaniu i polerowaniu kryształu LiTaO_3 do modulatora. Rod Alferness nauczył mnie dopasowywania impedancji mikrofalowych, a także dostarczył urządzeń niezbędnych do dostrojenia elektroniki sporządzonej przez Leo do linii transmisyjnej mojego modulatora. W miesiąc po decyzji o wstępnym chłodzeniu atomów za pomocą lasera o zmiennej częstotliwości mieliśmy już działający szerokopasmowy, gigahercowy modulator elektrooptyczny i mogliśmy roz-

¹ Chciałem zatytułować nasz artykuł „Demonstration of optical molasses” (Demonstracja melasy optycznej). John Bjorkholm jest purystą i uważał, że taki tytuł jest przykładem żargonu specjalistycznego w najgorszym wydaniu. Poszliśmy na kompromis i nie użyliśmy tego sformułowania w tytule, lecz posłużyliśmy się nim w tekście pracy.



Rys. 3. U góry: fotografia aparatury używanej do uzyskania melasy optycznej i pierwszej atomowej pułapki optycznej. Zdjęcie to otrzymano przez dwukrotną ekspozycję, raz w normalnych warunkach oświetleniowych, a drugi raz w zaciemnionym pokoju. W drugim przypadku wzdłuż wiązek laserowych przesuwano białą kartkę. Wiązka lasera impulsowego YAG (o częstości powtarzania 10 Hz i długości fali 532 nm, uzyskanej przez podwojenie częstości), służącego do odparowania kuleczki sodu, jest widoczna jako linia kropkowana. U dołu: Art Ashkin i autor przy aparaturze w roku 1986, wkrótce po ukończeniu pierwszego doświadczenia z pułapką optyczną.

począć wstępne chłodzenie atomów pochodzących z naszego „wydmuchiwanego” źródła.

Wczesną wiosną 1984 r. rozpoczęliśmy z Leo od zupełnie pustego stołu optycznego, bez komory próżniowej i bez modulatora. Jeszcze tej samej wiosny dołączył do nas John Bjorkholm, który wcześniej wykazał istnienie siły dipolowej przez ogniskowanie wiązki atomowej. Wczesnym latem 1984 r. zatrudniłem Alexa Cable’a, świeżo upieczonego absolwenta z Rutgers. Oficjalnie był on zatrudniony jako technik, nieoficjalnie zaś stał się superdoktorantem. Po niecałym roku przestaliśmy do druku nasz artykuł o melasie optycznej [28]². Dwie prace, w których przedstawiono wyhamowanie wiązek atomowych, zostały opublikowane miesiąc wcześniej [25,26].

Aparatura, którą zbudowaliśmy do otrzymania melasy optycznej, przedstawiona jest na rys. 3. Posiadaliśmy komorę ultrawysokiej próżni, jednak nie chcieliśmy, by długie czasy wygrzewania, niezbędne do uzyskania dobrej próżni, opóźniały naszą pracę. Zbudowaliśmy więc osłonę kriogeniczną pomalowaną substancją o nazwie Aquadag, zawierającą grafit. Po ochłodzeniu do temperatury ciekłego azotu osłona działała jak bardzo wydajna pompa sorpcyjna – można było otworzyć komorę próżniową jednego dnia i używać jej ponownie już następnego. Szybkość pracy jest dla mnie bardzo ważna. Nie można uniknąć błędów, więc zawsze staram się tak projektować aparaturę, aby błędy można było naprawić tak szybko, jak tylko można.

Pierwsze sygnały uzyskane dla atomów uwięzionych w melasie optycznej pozwoliły oszacować czas pułapowania na kilkadziesiąt milisekund, lecz wkrótce udało się nam zwiększyć czas uwięzienia o ponad rząd wielkości. Zdumiewające, że dopiero po tygodniu od uzyskania melasy po prostu zajrzeliśmy do komory próżniowej własnymi oczami zamiast używać fotopowielacza. Gdy się wreszcie na to zdecydowaliśmy, naszą nagrodą był widok przedstawiony na rys. 4.

W tej wczesnej fazie prac staraliśmy się ukierunkować lasery w sposób przeciwbieżny tak dokładnie, jak tylko mogliśmy. Rok później przypadkowo wykonaliśmy doświadczenie w konfiguracji niewspółliniowej i – o dziwo – uzyskaliśmy czas

uwięzienia atomów większy o kolejny rząd wielkości. Taka konfiguracja wiązek świetlnych, zwana też supermelasą, dodatkowo dawała ściśnięcie atomów z obszaru o początkowej średnicy 1 cm do obszaru o średnicy około 2 mm. Mimo usilnych starań nie byliśmy w stanie zrozumieć przyczyn tego zjawiska i ostatecznie jedynie ogłosiliśmy sam wynik w materiałach konferencyjnych [29].

Podczas naszych pierwszych badań melasy optycznej zdaliśmy sobie sprawę, że tradycyjna metoda oceny temperatury poprzez pomiar poszerzenia dopplerowskiego atomowej linii rezonansowej nie będzie dobrze działać w temperaturach tak niskich, jakie mieliśmy nadzieję otrzymać. Zamiast tego wprowadziliśmy metodę czasu przelotu, pozwalającą na bezpośredni pomiar rozkładu prędkości atomów. Po osiągnięciu przez atomy w melasie stanu równowagi wyłączyliśmy światło na chwilę o różnej długości. Atomy szybko uciekały z melasy, podczas gdy atomy powolne były ponownie przez nią wychwytywane. Metoda ta umożliwiła nam bezpośredni pomiar rozkładu prędkości. Nasze pierwsze wyniki dały temperaturę 185 μK , nieco poniżej minimalnej temperatury wynikającej z teorii chłodzenia dopplerowskiego. Popełniliśmy wtedy kardynalny błąd eksperymentatora – zamiast po prostu słuchać Przyrody, ulegliśmy naciskowi teoretycznych oczekiwań. Biorąc pod uwagę słabą znajomość mechanizmu umieszczania atomów w obszarze melasy, uznaliśmy nasz wynik za niesprzeczny z przewidywaniami teorii.



Rys. 4. Fotografia uwięzionych atomów sodu w naszym doświadczeniu z melasą optyczną. Przed wejściem w obszar działania sześciu skrzyżowanych wiązek laserowych atomy były wstępnie chłodzone za pomocą wiązek przeciwbieżnych.

² Aparatura została złożona z elementów pozostałych po poprzednich doświadczeniach. Laser barwnikowy pracy ciągłej, potrzebny do melasy optycznej oraz impulsowy laser YAG były przedtem używane w doświadczeniach nad spektroskopią pozytonium. Zapasowa komora próżniowa z sekcji wdrożeń Laboratoriów Bella stała się komorą z melasą optyczną.

4. W drodze do pułapkowania optycznego

Gdy już wykazaliśmy możliwość uzyskania melasy optycznej, zaczęliśmy badać drogi prowadzące do naszego głównego celu – optycznego pułapkowania atomów. Bill Phillips wraz ze współpracownikami opublikował pracę [30] o magnetycznym pułapkowaniu atomów na dwa tygodnie przed pojawieniem się naszego artykułu o melasie optycznej. Chociaż otrzymany w naszym pierwszym doświadczeniu czas uwięzienia atomów w melasie sięgał budzącej szacunek długości 0,36 s, to jednak melasa nie zapewnia istnienia siły, która by wciągała atomy do środka pułapki.

Pomimo że dysponowaliśmy znakomitym źródłem zimnych atomów, droga prowadząca do pułapkowania nie była dla nas jasna, a to z kilku powodów. 1) Pułapki optyczne działające wyłącznie na zasadzie siły rozproszeniowej wydawały się niemożliwe ze względu na tzw. twierdzenie optyczne Earnshawa. Twierdzenie to było opublikowane w odpowiedzi na wcześniejsze propozycje zbudowania pułapek działających właśnie na zasadzie siły rozproszeniowej [31] (omówienie tego twierdzenia oraz innych o niemożliwości pułapkowania można znaleźć w [32]). 2) Uważaliśmy, że pułapka wykorzystująca wiązki przeciwbieżne nie będzie w praktyce działać ze względu na znaczący efekt podgrzewania, związany z procesami wymuszonymi. 3) Na koniec, odrzuciliśmy możliwość użycia pojedynczego, zogniskowanego lasera ze względu na bardzo mały obszar pułapkowania. Myliliśmy się we wszystkich trzech punktach.

Wkrótce po naszych doświadczeniach z melasą optyczną spróbowaliśmy zbudować pułapkę o dużej objętości, wykorzystującą wiązki o okresowo zmiennym kierunku rozchodzenia się, tak jak to sugerował Ashkin [33]. Nasza próba nie powiodła się i po paru miesiącach zaczęliśmy szukać innych pomysłów. Jedną z możliwości była pułapka nieco innego typu niż proponowana przez Ashkina. Przedstawiłem ją na konferencji w grudniu 1986 r. [34], jednak chcieliśmy mieć coś prostszego. Zimą 1986 r., w czasie jednej z naszych burz mózgow, gdy zastanawialiśmy się, co robić dalej, John Bjorkholm próbował powrócić do idei pułapki z jedną zogniskowaną wiązką laserową, zgodnie z sugestią Ashkina z 1978 roku [17]. Szybko odrzuciłem ten pomysł ze względu na małą objętość. Pułapka o głębokości ok. 5 mK, wytworzona

przez zogniskowaną wiązkę lasera o mocy rzędu 1 W, miałaby objętość rzędu 10^{-7} cm³. Gęstość atomów w naszej melasie była rzędu 10^6 atomów na cm³, tak więc mielibyśmy w takiej pułapce mniej niż jeden atom, otoczony przez 10^6 atomów w melasie. Gdy już przekonałem moją grupę, że taka pułapka nie będzie działać, po paru dniach zorientowałem się, że jednak będzie można uwięzić w niej znacznie więcej atomów niż to wynikało z moich pierwotnych oszacowań. Atom znajdujący się w otoczeniu pułapki może nie być od razu wychwycony, jednak podczas błędzenia przypadkowego w melasie będzie miał wiele powtarzających się szans wejścia do niej.

Pułapka zadziałała. Mogliśmy na własne oczy zobaczyć jej zapełnianie się w wyniku błędzenia przypadkowego. Maleńka, świecąca kropka stała się coraz jaśniejsza, gdy coraz więcej atomów wpadało do pułapki. W ciągu pierwszych dni udanego pułapkowania, chodząc po korytarzu zapraszałem ludzi do naszej pracowni, aby podzielić się z nimi radością z naszego sukcesu. Mój dyrektor Chuck Shank wykazał kurtuazyjne zainteresowanie, choć nie jestem pewien, czy rzeczywiście widział nasz sygnał nadbiegający z chmury fluoryzujących atomów i ukryty wśród odbić od komory próżniowej. Zagrypony Art Ashkin odwiedził nas wkrótce po naszym początkowym sukcesie. Przyznał się później, że miał wątpliwości, gdy leżał złożony grypą, czy to aby nie gorączka spowodowała, że zdawało mu się, iż mamy działającą pułapkę.

Staraliśmy się zarejestrować maleńką plamkę świetlną za pomocą aperturowanego fotopowielacza, lecz przy najmniejszej niedokładności ustawienia przyrządu mieliśmy zbyt wiele światła pochodzącego od otaczającej melasy. To było denerwujące – nie byliśmy w stanie uzyskać powtarzalnego sygnału na fotopowielaczu, chociaż widzieliśmy świecące atomy gołym okiem. Zaświtało mi wtedy, że skoro widzimy sygnał gołym okiem, to możemy go zarejestrować za pomocą czulej kamery wideo, a następnie analizować otrzymany na taśmie zapis. Miejscowy przedstawiciel RCA, zafrapowany moim podnieceniem, wypożyczył nam odpowiednią kamerę. Nasz artykuł zawierał zdjęcie uwięzionych atomów, a czasopismo *Physical Review Letters* po raz pierwszy opublikowało kolorową fotografię [35].

Gdy zaczęliśmy pułapkować atomy, Art postanowił uwięzić cząstki szklane o rozmiarach

mikrometrów w pojedynczej, zogniskowanej wiązce. Miał to być „dowód” zasady działania pułapki atomowej. Zamiast atomów w melasie optycznej używał krzemionkowych i szklanych kulek zanurzonych w wodzie. Taka kulka jest znacznie bardziej polaryzowalna niż atom, dlatego też Ashkin uważał, że może być ona pułapkowana w temperaturze pokojowej, jeśli tylko gradient natężenia światła w kierunku osiowym, wciągający szklany paciorek do ogniska, będzie wystarczający do pokonania siły rozproszeniowej, która wypycha cząstkę z pułapki. Szybko udało się zbudować tę makroskopową wersję szczypiec optycznych, co pozwoliło nam mocniej uwierzyć, że pułapka atomowa będzie działać [36]. Nie zdawaliśmy sobie wówczas sprawy, jak bardzo owocne okaże się to doświadczenie „dla zabawy”.

Wkrótce po wykazaniu działania pułapki optycznej zatrudniłem Marę Prentiss jako stałą pracowniczkę mojego działu. Zajęła się ona zagadką supermelasy. Wtedy też zatelefonował do mnie Dave Pritchard z MIT. Powiedział mi, że wraz z doktorantem Erikiem Raabem pracują nad pułapką wykorzystującą siłę rozproszeniową w sposób pozwalający obejść twierdzenie optyczne Earnshawa. Twierdzenie to mówi, że pułapka wykorzystująca siłę rozproszeniową nie może działać, gdy siła rozproszeniowa F_{roz} jest proporcjonalna do natężenia światła laserowego I . Dowód jest prosty: $\nabla \cdot \mathbf{F} = 0$, ponieważ w dowolnym obszarze przestrzeni strumień wpływający musi być równy strumieniowi wypływającemu. Wobec tego nie ma takiego obszaru, w którym linie sił wektora F_{roz} zbiegałyby do stabilnego punktu pułapkowania. Pritchard, Carl Wieman i ich koledzy zauważyli, że założenie $F_{roz} \propto I$ nie musi być spełnione [37]. Następnie proponowali możliwe konfiguracje zewnętrznych pól magnetycznych lub elektrycznych, którymi można by się posłużyć do zbudowania stabilnej pułapki optycznej.

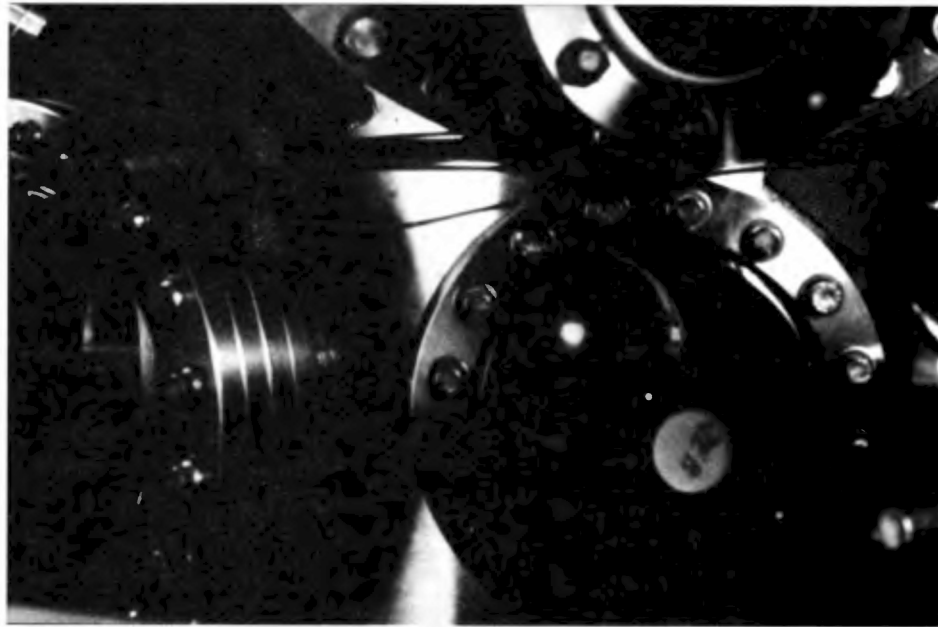
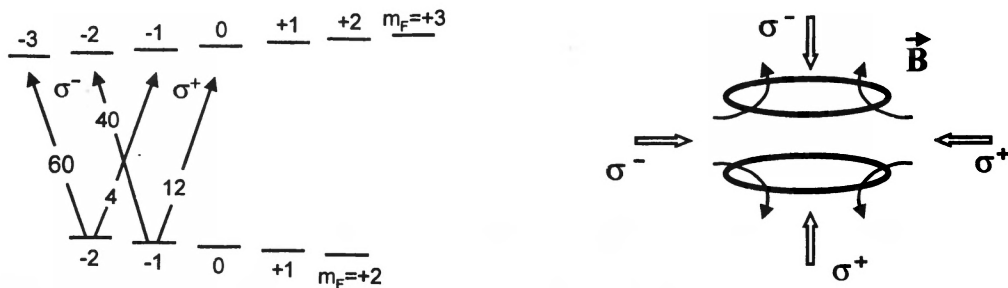
Raab miał trudności z uruchomieniem swej pułapki, działającej na zasadzie siły rozproszeniowej, i ostatnią próbą przed zarzuceniem tego pomysłu było pytanie, czy bylibyśmy zainteresowani współpracą nad tym problemem. Podstawowa idea przedstawiona jest na rys. 5 dla przypadku atomu o $F = 1$ w stanie podstawowym i $F = 2$

w stanie wzbudzonym, gdzie F jest liczbą kwantową całkowitego momentu pędu. W polu magnetycznym słabej sferyczno-kwadrupolowej pułapki magnetycznej wystąpi rozszczepienie zeemanowskie podpoziomów atomu wielopoziomowego, oświetlonego przez przeciwbieżne, kołowo spolaryzowane wiązki laserowe. Ze względu na małe przesunięcie zeemanowskie atomy znajdujące się na prawo od środka pułapki będą pompowane optycznie przede wszystkim do stanu $m_F = -1$. Gdy tylko atomy znajdą się w tym stanie, duża różnica między szybkościami rozpraszania światła o polaryzacji σ^- i σ^+ spowoduje, że atom doświadczy działania wypadkowej siły rozproszeniowej, skierowanej ku środkowi pułapki. Atomy na lewo od środka będą rozpraszać więcej fotonów z wiązki o polaryzacji σ^+ . Ponieważ częstość lasera jest mniejsza od częstości wszystkich rozszczepionych składowych zeemanowskich, zachodzić będzie także przez cały czas chłodzenie typowe dla melasy optycznej. Uogólnienie tej sytuacji na przypadek trójwymiarowy nie nastęca żadnych trudności.

Koncepcja ta jest niezwykle pomysłowa, a wszystko, co musieliśmy zrobić przed jej wypróbowaniem, to dodać do naszego układu skromną parę cewek do wytwarzania pola magnetycznego. Nawinałem rurki chłodzące na cewki, jednak ode-rwałem się od tej pracy, musiałem bowiem sprostać podjętemu zobowiązaniu pomocy w ustawieniu doświadczenia ze spektroskopii mionium, które prowadzili Allan Mills i Ken Nagamine ze współpracownikami³. Kilka dni później, gdy byłem w Japonii w laboratorium mionowym, otrzymałem telefon od Alexa. Głosem drżącym z podniecenia poinformował mnie, że pułapka działa nadspodziewanie dobrze i chmura atomowa świeci oslepiająco w porównaniu z naszą pułapką dipolową. Zamiast mizernego tysiąca (w naszej pierwszej pułapce) uzyskano od 10^7 do 10^8 atomów [38].

Podstawową zasadę działania pułapki wymyślił Jean Dalibard, podopieczny Claude’a Cohena-Tannoudjiego. Pomysł Jeana powstał pod wpływem dyskusji z Dave’em Pritchardem na temat obejścia ograniczeń wynikających z twierdzenia Earnshawa. Zadzwoiłem więc do Jeana w Paryżu chcąc go przekonać, że jego nazwisko powinno po-

³ Do udziału w doświadczeniach nad spektroskopią mionium namówił mnie Allan Mills. Pracuję w tej dziedzinie równoległe z pracą nad chłodzeniem laserowym i pułapkowaniem atomów od 1985 r.



Rys. 5. U góry: pułapka magneto optyczna dla atomów o $F = 2$ w stanie podstawowym i $F = 3$ w stanie wzbudzonym. Niewielkie przesunięcia energetyczne podpoziomów zeemanowskich sprawia, że symetria zostaje naruszona i atomy są pompowane przede wszystkim do stanu $m_F = +2$ dla $B < 0$ ($B > 0$). Atomy, gdy tylko znajdą się w optycznie pompowanych stanach, są popychane w kierunku obszaru o $B = 0$ ze względu na dużą różnicę prawdopodobieństw przejść. Względne prawdopodobieństwa przejść dla światła o polaryzacji σ^+ i σ^- pokazano na rysunku dla przejść ze stanów o $m_F = -2$ i -1 . U dołu: fotografia atomów uwięzionych w pułapce magneto optycznej. Jasna linia poniżej kulki atomów pułapkowanych jest fluorescencją pochodzącą od wiązki atomowej służącej do zapelnienia pułapki.

jawić się wśród współautorów pracy, którą właśnie pisaliśmy. Jean jest tyleż błyskotliwy, co skromny, uważał więc za niewłaściwe być współautorem pracy, w której nie miał bezpośredniego udziału (historię tych wydarzeń omówiłem w [32]; patrz także [39]).

Pułapka magneto optyczna (w skrócie zwana MOT – magneto-optic trap) natychmiast przykuła uwagę rosnącej społeczności „chłodziarzy” i „pułapkaczy”. Grupa Carla Wiemana wykazała, że pułapka może być napełniana bezpośrednio atomami pochodzącymi z rozrzedzonej pary, bez kroku pośredniego, polegającego na spowalnianiu

wiązki atomowej [40]⁴. Mnie wraz z Kurtem Gibble'em udało się, poprzez zwiększenie rozmiaru wiązek laserowych, uwięzić aż około 4×10^{10} atomów [41]. Wolfgang Ketterle, Pritchard i inni [42] pokazali, że gęstość atomów w pułapce magneto optycznej można znacznie zwiększyć. Osiągnęli to przez zasłonięcie wiązki repompującej w centralnej części pułapki, dzięki czemu atomy w tym obszarze rozpraszają mniej światła. Pod wpływem tego pomysłu wraz z moimi współpracownikami w Stanforderze wykazaliśmy, że zwykle osłabienie światła repompującego w końcowym stadium melasy prowadzi do bardzo znacznego wzro-

⁴ Raab i Pritchard w MIT próbowali zbudować pułapkę na zasadzie siły rozproszeniowej, wylapującą atomy bezpośrednio z pary. Ciśnienie pary okazało się zbyt wysokie, aby uzyskać wydajne pułapkowanie.

stu gęstości niskotemperaturowych atomów uwięzionych w pułapce magnetoptycznej [43].

Wynalazek i rozwój pułapek magnetoptycznych jest przykładem tego, jak dziedzina chłodzenia i pułapkowania wyrosła ze wspólnoty koncepcji i współpracy międzynarodowej społeczności naukowej. Jest więc rzeczą bardzo logiczną, że pułapka magnetoptyczna jest punktem wyjścia w większości doświadczeń z laserowo chłodzonymi atomami.

5. Melasa optyczna raz jeszcze

Zimą 1987 r. zdecydowałem się opuścić „wieżę z kości słoniowej”, jaką są Laboratoria Bella, i przyjąć stanowisko profesora w Stanfordzie. Niedługo przedtem udało nam się wykazać, że pułapka magnetoptyczna działa, i było jasne, że jest ona idealnym narzędziem do całej serii doświadczeń. Przyjechawszy do Stanfordu jesienią 1987 r. nie wiedziałem, jak wiele czasu zajmie mi zebranie nowego zespołu badawczego⁵. Bill Phillips i Claude Cohen-Tannoudji tworzyli silne grupy, jakie nie mogły powstać w Stanfordzie. Dave Pritchard miał inną silną grupę w MIT. Inni fachowcy w dziedzinie fizyki atomowej, jak Carl Wieman czy Alain Aspect, właśnie zaczęli badania w tym obszarze. A ja musiałem zaczynać wszystko od nowa, pisząc projekty badawcze i rozmawiając z potencjalnymi doktorantami. Gdybym w obliczu takiej konkurencji przemyślał starannie stworzenie nowego zespołu, pewnie nie przenośliłbym się.

Tak jak w wielu innych aspektach mojej kariery, moje posunięcie może nie było zbyt mądre, ale na pewno szczęśliwe. Lata 1988–93 to najbardziej produktywny okres w mojej dotychczasowej pracy naukowej. Trójka moich pierwszych doktorantów to Mark Kasevich, Dave Weiss i Mike Fee. W ciągu pierwszego roku mojej pracy w Stanfordzie jako stażyści po doktoracie dołączyli jeszcze Yaakov Shevy i Erling Riis. W styczniu 1988 r. Dave i Yaakov uruchomili pułapkę magnetoptyczną w oryginalnej komorze, której używaliśmy do demonstracji melasy optycznej i pułapki dipo-

lowej. Planowaliśmy udoskonalić technikę pułapkowania, a następnie posłużyć się nowymi metodami chłodzenia i pułapkowania dla zbadania nowych problemów fizycznych, właściwych dla zimnych atomów.

Mark i Erling budowali inną komorę z zamiarem badania „kwantowego odbicia” atomów od zimnych powierzchni. Jeszcze podczas pracy w Laboratoriach Bella, Allan Mills i Phil Platzman zainteresowali mnie badaniem kwantowego odbicia z użyciem ultrazimnych atomów. Problem ten można po prostu przedstawić tak: rozważmy atom o dużej długości fali de Broglie’a λ , wchodzący w obszar wyidealizowanego, krótkozasięgowego potencjału przyciągającego. W ogólnym przypadku mamy falę przepuszczoną i odbitą, lecz w granicy, gdy λ jest znacznie większa niż charakterystyczna długość związana z potencjałem, otrzymuje się niezgodny z intuicją wynik, że prawdopodobieństwo odbicia dąży do jedności. Realistyczna powierzchnia ma potencjał przyciągający postaci $1/z^n$ i nie ma żadnej charakterystycznej długości. Atom znajdujący się blisko powierzchni doświadcza działania siły van der Waalsa o potencjale $1/z^3$, a w większej odległości potencjał ten jest typu $1/z^4$ ze względu na efekty retardacji, analizowane po raz pierwszy przez Casimira. W zagadnieniu tym pojawiają się dodatkowe subtelności, gdy w zakres rozważań włączymy możliwe kanały rozpraszania niesprężystego. Problem ten przyciągnął uwagę wielu teoretyków i eksperymentatorów.

Moje plany badawcze wkrótce trzeba było wyrzucić przez okno, a to ze względu na odkrycie, które zelektryzowało społeczność zajmującą się chłodzeniem laserowym. W roku 1987 różne grupy badawcze uzyskiwały melasę optyczną i osiągały temperatury w okolicach przewidywanej granicy [44,45], jednak wiosną 1988 roku Bill Phillips wraz ze współpracownikami donieśli, że atomy sodu w melasie optycznej mogą być ochłodzone do temperatur znacznie poniżej granicy przewidywanej przez teorię. Grupa z NIST stwierdziła, że temperatura atomów sodu ochłodzonych w melasie wynosi $(43 \pm 20) \mu\text{K}$, a ponadto jej zależ-

⁵ Staralem się namówić Alexa Cable’a, aby udał się wraz ze mną i został moim pierwszym doktorantem. W tym czasie zapowiadał się na pierwszorzędnego badacza. Wiedziałem, że świetnie sobie poradzi jako doktorant w Stanfordzie. On jednak nie przyjął mojej propozycji i po roku zrezygnował z pracy w Laboratoriach Bella. Jeszcze gdy był moim technikiem, założył firmę produkującą uchwyty optyczne. Jego firma „Thor Labs” jest teraz znaczącym dostawcą wyposażenia optycznego.

ność od częstości nie pokrywa się z teorią [46]. Rezultat ten był tak zdumiewający, że autorzy zastosowali trzy różne metody pomiaru czasu przelotu, aby sprawdzić swój wynik. W ciągu kilku miesięcy trzy zespoły, prowadzone przez Wiemana, Cohena-Tannoudjiego i przeze mnie, potwierdziły, że atomy sodu i cezu w melasie optycznej można ochłodzić znacznie poniżej granicy dopplerowskiej.

Tak jak w przypadku wielu wielkich „niespodzianek”, istniały wcześniejsze wskazówki, że coś jest nie tak. Moja grupa przedstawiała problem supermelasy na konferencjach począwszy od 1986 r. Na konferencji poświęconej spektroskopii laserowej, która odbyła się w Åre w Szwecji w 1987 roku, zespół z NIST doniósł o melasie, której czas życia zależał od częstości w sposób całkiem inny niż przewidywania, wynikające ze wzoru $\langle x^2 \rangle = 2D\tau/\alpha^2$, który opublikowaliśmy w naszej pierwszej pracy [47]. Grupa ta stwierdziła także, iż pułapka jest bardziej stabilna względem nierówności natężeń wiązek niż należałoby oczekiwać. Uniesieni zbiorową euforią chłodzenia i pułapkowania atomów, nie przeprowadziliśmy podstawowych badań własności melasy optycznej, i to ja jestem tu głównym winowajcą.

W końcu czerwca 1988 r. Claude i ja uczestniczyliśmy w konferencji na temat kwantowych układów spolaryzowanych spinów. W referacie pełnym samobiczowania dałem krótki przegląd znanych wówczas nowych niespodzianek, pojawiających się w dziedzinie chłodzenia laserowego [48]. Po referatach, w czasie lunchu z Claude'em porównaliśmy wyniki uzyskane w naszych laboratoriach. Teoria przewidująca minimalną temperaturę dla atomów dwupoziomowych była nie do obalenia. Czuliśmy, że uzyskane niższe temperatury muszą być jakoś związane z tym, że mamy do czynienia z realnymi atomami, które mają podpoziomy zeemanowski i strukturę nadsubtelną. Przeczucie mówiło nam, że mechanizm chłodzenia jest zapewne powiązany ze strukturą podpoziomów zeemanowskich, a nie ze strukturą nadsubtelną. Wynikało to stąd, że wartości temperatury dla cezu ($\Delta\nu_{\text{hfs}} = 9,19$ GHz) i dla sodu ($\Delta\nu_{\text{hfs}} = 1,77$ GHz) były podobne, jeśli przeskalowało się temperaturę do liczby odrzutów fotonowych $\frac{1}{2}k_{\text{B}}T = \frac{1}{2}mv_{\text{sr}}^2$, gdzie $v_{\text{sr}} \approx (4 - 5)v_{\text{od}}$, zaś $v_{\text{od}} = \hbar k/M$ jest zmianą prędkości atomu na skutek absorpcji fotonu o wektorze falowym

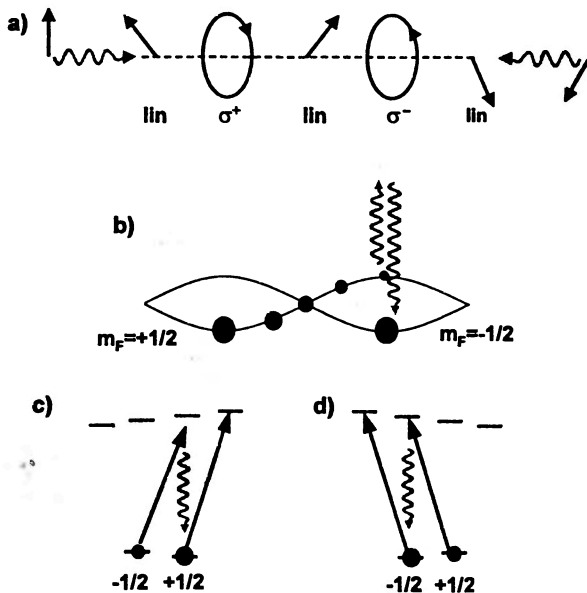
$k = 2\pi/\lambda$. W tym czasie wiedzieliśmy też, że najlepsze chłodzenie można uzyskać po zmniejszeniu pola magnetycznego do wartości poniżej 0,05 gaussa.

Po konferencji Claude powrócił do Paryża, podczas gdy ja utknąłem w „przestrzeni przezroczysty”, bowiem zobowiązałem się do wygłoszenia kilku referatów w Europie. W Monachium powiedziałem Tedowi Hänschowi, że musi to być efekt pompowania optycznego. Moja znajomość pompowania optycznego była powierzchowna, tak więc spędziłem pół dnia w bibliotece, czytając na ten temat. Byłem coraz bardziej zniechęcony, gdy natrafiłem na artykuł, w którym odwoływano się do „stanów Cohena-Tannoudjiego”. Zaczęło mi świtać, że Claude i Jean są znacznie lepiej przygotowani do rozwiązania zagadki.

Po Monachium odwiedziłem Pizę, gdzie mówiłem o naszych doświadczeniach dotyczących spektroskopii pozytonium i mionium [49-51]. To właśnie w Pizie zorientowałem się w końcu, jak melasa schładza atomy. Pomysł zrodził się pod wpływem uwagi, wypowiedzianej przez jednego z referentów: „...polaryzacja atomowa podąża za kierunkiem wymuszającego pola świetlnego...”. Uwaga ta przypomniła mi mój prosty model atomu jako chmury elektronowej, związanej z ciężkim jądrem za pośrednictwem słabo tłumionej siły harmonicznej. Zrozumiałem, że chłodzenie jest kombinacją zjawisk pompowania optycznego, przesunięć linii wywołanych przez światło, oraz faktu, że polaryzacja w melasie optycznej jest różna w różnych punktach przestrzeni. Światło spolaryzowane liniowo wymusza ruch chmury elektronowej w górę i w dół, podczas gdy światło spolaryzowane kołowo wprawia chmurę w ruch po okręgu. W melasie optycznej wiązki skierowane wzdłuż osi x , y i z mają wzajemnie prostopadłe polaryzacje liniowe, tak więc polaryzacja pola świetlnego zmienia się od miejsca do miejsca. Dla przykładu rozważmy przypadek jednowymiarowy, gdzie dwie przeciwnie skierowane wiązki mają wzajemnie prostopadłe polaryzacje liniowe – pokazuje to rys. 6. Chmura elektronowa ma wówczas tendencję do obrotu z eliptyczną spiralnością, która zależy od położenia atomu w przestrzeni.

Innym efektem, który trzeba wziąć pod uwagę, jest starkowskie przesunięcie poziomów w zmiennym polu. W obecności światła poziomy energetyczne atomu są przesunięte, i przesunięcie

to jest proporcjonalne do siły sprzężenia światła z atomem. Przypuśćmy, że atom o momencie pędu $F = 2$ znajduje się w polu o polaryzacji σ^+ dostrójonym poniżej rezonansu. Atom taki będzie pompowany optycznie do stanu $m_F = +2$ i jego energia w polu zmniejszy się. Jeżeli potem atom ten przemieści się do obszaru, gdzie światło ma polaryzację σ^- , to prawdopodobieństwo przejścia stanie się bardzo małe i w konsekwencji przesunięcie Starkowskie (w zmiennym polu) będzie małe.



Rys. 6. Chłodzenie metodą gradientu polaryzacji dla atomów o $F = 1/2$ w stanie podstawowym i $F = 3/2$ w stanie wzbudzonym. a) Interferencja dwóch liniowo spolaryzowanych wiązek o wzajemnie prostopadłych polaryzacjach daje pole o zmiennej polaryzacji eliptycznej. W warunkach słabego wzbudzenia atom przez większość czasu pozostaje w stanie podstawowym. b) Energia poziomów stanu podstawowego o $m_F = \pm 1/2$ w funkcji położenia w polu świetlnym. c) W polu o polaryzacji σ^+ atom jest pompowany głównie do stanu podstawowego o $m_F = +1/2$, czyli stanu o niższej energii. d) Gdy atom przemieszcza się do obszaru, gdzie pole ma polaryzację σ^- , jego energia rośnie ze względu na malejące, dla poziomu $m_F = +1/2$, przesunięcie Starka w zmiennym polu (przesunięcie świetlne). Atom zwalnia, a w okolicach szczytu wzgórza potencjału zaczyna być pompowany optycznie do stanu o $m_F = -1/2$, co ponownie sprowadza go do stanu o najniższej energii. Chłodzenie laserowe przez powtarzające się wspinanie atomu na górkę potencjału nazwano „chłodzeniem syzyfowym” ze względu na postać z mitologii greckiej: Syzyfa, skazanego na wieczne wtaczanie głazu pod górę.

Dla sodu w stanie $m_F = +2$, w polu o polaryzacji σ^+ energia jest 15 razy bardziej zmniejszona niż w polu σ^- . A zatem atom zyskuje energię wewnętrzną przez przemieszczenie się do ob-

szażu σ^- . Wzrost energii wewnętrznej musi odbyć się kosztem energii kinetycznej, i w końcu, znalazłszy się w nowym obszarze, atom będzie pompowany do stanu $m_F = -2$. Tak więc ze względu na pompowanie optyczne atom znów znajdzie się w stanie o niskiej energii. Zbiór atomów traci energię, ponieważ w stosunku do fotonów padających fotony wyemitowane spontanicznie są nieznacznie przesunięte w kierunku błękitu.

Chłodzenie w gradientach polaryzacji można odnieść do mechanizmu chłodzenia atomów dwupoziomowych w obecności dwóch przeciwniejących wiązek laserowych. W granicy małych natężeń siła jest opisana przez intuicyjną koncepcję rozpraszania dwóch niezależnych wiązek, tak jak to po raz pierwszy dyskutowali Hänsch i Schawlow [21]. Jednakże przy dużych natężeniach siła ta zmienia znak, tak że otrzymujemy chłodzenie przy dodatnich odstrojeniach. Siłę tę dla dowolnych natężeń rozważali w granicy małych prędkości Gordon i Ashkin [19], zaś Minogin i Serimaa badali granicę dużych natężeń przy dowolnych prędkościach [52]. Fizyczna interpretacja siły chłodzącej w polach o dużym natężeniu została podana przez Cohena-Tannoudjiego i Dalibarda [53] przy użyciu koncepcji atomów ubranych. W ich podejściu atom poruszający się w polu fali stojącej zyskuje energię wewnętrzną kosztem kinetycznej. Wzrost energii wewnętrznej ulega dyssypacji w drodze emisji spontanicznej, która jest najbardziej prawdopodobna, gdy atom osiąga maksimum energii wewnętrznej. W chwili, gdy zachodzi przejście, atom najczęściej znajduje się w minimach potencjału stanów ubranych. Idąc w ślady Alberta Camusa, Jean i Claude nawiązali do mitu o Syzyfie, nazywając ten mechanizm chłodzenia chłodzeniem syzyfowym (Sisyphus cooling). Syzyf był skazany na wieczne wtaczanie głazu pod górę, bo gdy tylko znalazł się na szczycie, głaz staczał się z powrotem do podnóża góry.

Nazwa „melasa optyczna” nabiera, w świetle nowego mechanizmu tłumienia, głębszego znaczenia. Początkowo używałem jej mając na myśli lepki płyn kojarzący się z niskimi temperaturami (angielskie powiedzenie „slow as molasses in January” oznacza: „rusza się jak mucha w smole” – S.K.). Wraz z nowym zrozumieniem zjawisk wiemy teraz, że chłodzenie w melasie jest dwuetapowe. Przy większych prędkościach na atomy działa lepka siła oporu, lecz przy mniejszych pręd-

kościach, gdy przesunięcie dopplerowskie staje się znikomo małe, dalsze chłodzenie zaczyna przejmować na siebie pompowanie optyczne. Atom zachowuje się tak, jakby szedł w bagnisku melasy, za każdym krokiem zapadając się coraz głębiej, do coraz niższych stanów energetycznych. Następny krok wymaga energii, aby unieść drugą stopę z bagna, i z każdym krokiem atom stopniowo traci energię.

Konferencja w Pizie skończyła się w piątek, a w niedzielę udałem się do Paryża, aby wziąć udział w Międzynarodowej Konferencji Fizyki Atomowej. Tegoż niedzielnego popołudnia spotkałem się z Jeanem w celu porównania notatek. Od razu stało się jasne, że model chłodzenia opracowany przez Jeana i Claude'a jest zgodny z moim. Jean, który miał mieć referat w czasie konferencji, przedstawił ich model [54]. Ja otrzymałem wspaniałomyślną zgodę na włączenie w ostatniej chwili do programu mojego wystąpienia i przedstawienie mojej wersji nowego mechanizmu chłodzenia [55].

Szczegółowe opisy mechanizmów chłodzenia w polu świetlnym z gradientami polaryzacji opublikowano rok później w specjalnym zeszycie *JOSA B*, poświęconym chłodzeniu i pułapkowaniu. Dalibard i Cohen-Tannoudji przedstawili elegancki, kwantowy opis prostych układów modelowych [56]. Omówili dwa różne typy chłodzenia, w zależności od tego, czy dwie przeciwbieżne wiązki mają wzajemnie prostopadłe polaryzacje liniowe, czy też polaryzacje kołowe σ^+ i σ^- . Dzięki takiemu podejściu wyprowadzili siłę chłodzącą i dyfuzję pędu (podgrzewanie) jako funkcje parametrów mierzalnych doświadczalnie, takich jak odstrojenie, szerokość atomowych linii widmowych, czas pompowania optycznego itp.

W tym samym zeszycie [57] wspólnie z moimi doktorantami przedstawiliśmy nasz opis mechanizmu chłodzenia syzyfowego. W celu uzyskania ilościowych danych, które moglibyśmy porównać z naszymi wynikami doświadczalnymi, rozważyliśmy optyczne równania Blocha uogólnione dla przejścia ze stanu podstawowego $F = 2$ do stanu wzbudzonego $F = 3$ w atomie sodu. Podobnie jak Dalibard i Cohen-Tannoudji, wyprowadziliśmy stacjonarne siły chłodzące jako funkcje prędkości atomowej dla tych samych dwóch prostych konfiguracji polaryzacji wiązek laserowych, lecz zrobiliśmy to dla atomów sodu, a nie dla ukła-

dów modelowych. Stwierdziliśmy, że stacjonarne siły nie mogą być stosowane do oszacowania rozkładu prędkości, gdyż istotna jest chwilowa reakcja atomu w melasie na gradienty polaryzacji (patrz rys. 13 w pracy [56]). Słabą stroną naszej pracy były zrobione *ad hoc* założenia dotyczące dyfuzji pędu. Uzyskane metodą Monte Carlo rozkłady prędkości były czułe na dokładną postać tych założeń. Później opracowano bardziej ścisłe, kwantowe obliczenia Monte Carlo.

Artykułowi temu towarzyszyła praca doświadczalna [58], w której opisaliśmy pomiary obliczonych teoretycznie, nietermicznych rozkładów prędkości chłodzonych laserowo atomów. Zmierzyliśmy także rozkłady prędkości atomów chłodzonych światłem $\sigma^+ - \sigma^-$ (w pracy [59] wykazaliśmy, że siła zależna liniowo od prędkości, tj. $F(v) = -\alpha v$, prowadzi do rozkładu Maxwella-Boltzmann). Pompowanie optyczne w tych warunkach doprowadza atomy sodu do efektywnej konfiguracji dwupoziomowej, składającej się ze stanów $3S_{1/2}$, $F = 2$, $m_F = +2$ oraz $3P_{3/2}$, $F = 3$, $m_F = +3$. Konfiguracja taka pozwoliła nam, w trzy lata po uzyskaniu chłodzenia dopplerowskiego, w końcu zweryfikować zależność temperatury atomu dwupoziomowego od częstości. W trakcie naszych doświadczeń Dave Weiss odkrył chłodzenie indukowane polem magnetycznym [58], które można było wyjaśnić używając pojęć chłodzenia typu syzyfowego i pompowania optycznego [57]. Ten mechanizm chłodzenia był dalej szczegółowo badany przez Hala Metcalfa i współpracowników [60].

Odkrycie subdopplerowskich temperatur, dokonane w NIST, wskazało, że graniczna temperatura wynikająca ze zjawiska Dopplera nie stanowi w istocie ograniczenia. Doświadczenia pokazały, że możliwe jest ochłodzenie atomów do temperatur odpowiadających średniej prędkości rzędu czterech do pięciu prędkości odrzutu. Jaka jest więc fundamentalna granica dla chłodzenia laserowego? Można by sądzić, że granicą będzie energia odrzutu $k_B T \approx p_{od}^2/2M$, ponieważ ostatni wyemitowany spontanicznie foton da właśnie taki, losowo skierowany odrzut. Jednakże można obejść i tę barierę. Na przykład, silnie uwięziony w pułapce jon może wykorzystać masę pułapki do przejścia pędu odrzutu. Taki mechanizm chłodzenia, zwany chłodzeniem przy użyciu pasma bocznego, zaproponowali Dehmelt i Wine-

land (patrz np. [61]), zaś Wineland i inni [62] pokazali, że w zasadzie można ochłodzić jon tak, że względne obsadzenie stanów o różnicy energii ΔE może odpowiadać efektywnej temperaturze T_{ef} mniejszej niż temperatura odrzutu, przy czym T_{ef} zdefiniowana jest przez wyrażenie postaci $\exp(-\Delta E/k_B T)$.

W przypadku atomów swobodnych, posługując się metodami selekcji prędkości można tak ochłodzić chmurę atomów, że rozmycie prędkości jest mniejsze niż prędkość odrzutu fotonu. Zespół z Ecole Normale wymyślił pomysłowy mechanizm selekcji prędkości, polegający na wykorzystaniu zjawiska, które nazwali „selektywnym ze względu na prędkość spójnym pułapkowaniem obsadzeń” (velocity selective coherent population trapping) [63]. W ich pierwszej pracy metatrwałe atomy helu zostały ochłodzone wzdłuż jednego kierunku wiązki atomowej do poprzecznej (jednowymiarowej) temperatury wynoszącej $2 \mu\text{K}$, dwa razy mniejszej od temperatury odrzutu. Efektywna temperatura selekcjonowanych względem prędkości atomów maleje z grubszą jak pierwiastek kwadratowy z czasu trwania selekcji, a więc o wiele niższe temperatury otrzymuje się dla długich czasów chłodzenia. W dalszych doświadczeniach używano atomów wstępnie ochłodzonych w melasie optycznej i osiągnięto znacznie niższe temperatury w dwóch i trzech wymiarach [64]. Należy przy tym podkreślić, że metoda ta nie ma ścisłej granicy. Im dłużej trwa chłodzenie, tym mniejsze rozmycie prędkości. Jednak nie ma nic za darmo. Im niższa końcowa temperatura, tym mniejsza jest liczba atomów o tej temperaturze. Dzieje się tak dlatego, że atomom jest coraz trudniej trafić losowo do coraz mniejszego obszaru w przestrzeni prędkości. W końcu selektywne względem prędkości chłodzenie staje się rzeczywiście procesem selekcji prędkości w tym sensie, że liczba atomów o wybranej prędkości zaczyna maleć.

6. Zastosowania chłodzenia i pułapkowania laserowego

Podczas badań chłodzenia metodą gradientu polaryzacji myśleliśmy także niecierpliwie o zastosowaniach nowych metod chłodzenia i pułapkowania. W grupie kilku studentów i jednego stażysty rozpoczęliśmy pracę zgodną z projektami, które

napisałem po przyjeździe do Stanfordu, jednak i te plany wkrótce zarzuciliśmy.

Po ukończeniu badań melasy optycznej chłodzonej metodą gradientu polaryzacji, Erling Riis, Dave Weiss i Kam Moler skonstruowali dwuwymiarową wersję pułapki magnetoptycznej, w której zbierane były atomy sodu ze spowolnionej wiązki atomowej. Atomy te były potem ochładzane we wszystkich trzech kierunkach i przed opuszczeniem pułapki w kierunku osiowym poddane jeszcze kompresji radialnej [65]. Taki „lejek optyczny” pozwolił zwiększyć gęstość wiązki atomowej w przestrzeni fazowej o 5 rzędów wielkości. Osiągnięcie dalszych pięciu rzędów wielkości jest możliwe w przypadku atomów cezu, jeśli tylko we właściwy sposób wstrzeli się te atomy w obszar ze zmiennymi gradientami polaryzacji. Ertmer wraz z kolegami rozwinęli metodę dwuwymiarowej kompresji i chłodzenia w pułapkach magnetoptycznych [66]. Te dwa doświadczenia pokazały, z jaką łatwością można posłużyć się chłodzeniem laserowym do „ogniskowania” wiązki atomowej, i to bez ograniczeń wynikających ze znanego w optyce „twierdzenia o jasności”.

Mark Kasevich i Erling Riis otrzymali zadanie wykorzystania naszej drugiej komory w celu wytworzenia fontanny atomowej, co miało być pierwszym etapem w doświadczeniach dotyczących odbicia kwantowego. Planowałem, że doświadczenie to będzie tematem rozprawy doktorskiej Marka. Pomysł polegał na wystrzeliwaniu atomów w górę, w fontannie atomowej, z bardzo niewielką poziomą składową prędkości. Gdy atomy osiągały zenit, miały uderzać w pionowo ustawioną powierzchnię. Gdy przygotowywano to doświadczenie, poprosiłem o wykonanie kilku „szybkich” eksperymentów. Obiecałem, że te „szybkie” doświadczenia potrwać tylko kilka tygodni, a pierwsze z nich miało polegać na posłużeniu się fontanną atomową do precyzyjnych pomiarów spektroskopowych.

We wczesnych latach pięćdziesiątych Zacharias próbował uzyskać fontannę atomową, kierując wiązkę atomową w górę. Chociaż większość atomów uderzałaby w górną część komory próżniowej, to jednak najpowolniejsze powinny pod wpływem siły ciężkości poruszać się po torze balistycznym i spaść w okolicach miejsca, skąd zostały wystrzelone. Celem doświadczenia Zachariasia było wzbudzenie atomów w fontannie me-

tołą rozdzielonych pól (Ramseya), taką jaka jest wykorzystywana w atomowych zegarach cezowych (patrz np. [67]). Atomy znajdujące się początkowo w stanie $|1\rangle$ i poruszające się w górę wchodziłyby do wnęki mikrofalowej i ulegały tam wzbudzeniu do stanu superpozycji dwóch stanów kwantowych $|1\rangle$ i $|2\rangle$. W takim stanie względna faza zmieniałaby się z częstością $\hbar\omega = E_1 - E_2$. Przechodząc zaś w czasie swego ruchu w dół przez wnękę mikrofalową, atomy oddziaływałyby znów z polem mikrofalowym. Przy dostrojeniu generatora mikrofalowego dokładnie do częstości atomowej ω , drugi impuls wzbudzałby atomy dokładnie do stanu $|2\rangle$. Gdyby zaś źródło mikrofal miało fazę różną o π radianów od fazy atomów, to pod wpływem drugiego impulsu atom wracałby do stanu $|1\rangle$. Szerokość linii $\Delta\omega_{\text{rf}}$ dla takich przejść spełnia związek $\Delta\omega_{\text{rf}}\Delta t = \pi$, gdzie Δt jest odstępem czasu pomiędzy dwoma impulsami wzbudzającymi.

Zachowanie takie jest przejawem zasady nieoznaczoności Heisenberga – niepewność ΔE pomiaru energii pomnożona przez czas pomiaru musi być większa niż stała Plancka: $\Delta E\Delta t \geq \hbar$. Wykorzystanie fontanny atomowej powinno zwiększyć czas pomiaru o co najmniej dwa rzędy wielkości w porównaniu z konwencjonalnymi zegarami atomowymi, gdzie termiczne wiązki poruszają się poziomo. Zacharias miał nadzieję zmierzyć przewidziane przez Einsteina grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni. Identyczne zegary, umieszczone na różnych wysokościach w polu ciężkości, powinny mieć nieco przesunięte częstości. Zegar utworzony przez atom z fontanny atomowej i poruszający się wzdłuż swego toru powinien rejestrować czas krótszy niż stacjonarne źródło zasilające wnękę mikrofalową.

Niestety, doświadczenie Zachariasia nie udało się. Najpowszechniejsze atomy w rozkładzie Maxwella–Boltzmana były rozpraszane przez nadbiegające z tyłu atomy szybsze i tym samym nigdy nie powracały do wnęki mikrofalowej. Kilka aspektów tego niepowodzenia jest godnych uwagi. Osoby pracujące nad tym doświadczeniem znalazły – mimo jego niepowodzenia – dobrą pracę, a sama idea ciągle pozostawała w świadomości fizyków⁶. Dzięki naszemu źródłu zimnych atomów nie było trudno zbudować fontannę atomową [70].

Najpierw atomy zbierały się w pułapce magneto-ptycznej, a potem za pomocą innej wiązki laserowej, padającej z dołu, były wystrzeliwane w górę. Gdy osiągały szczyt toru balistycznego, poddawaliśmy je oddziaływaniu z dwoma impulsami mikrofalowymi. Przedział czasu między impulsami wynosił 0,25 sekundy, co dawało szerokość linii równą 2 Hz. Dołączył do nas Ralph DeVoe z centrum badań IBM w Almaden, zapewniając niezbędną pomoc w zakresie metod mikrofalowych. Nasza fontanna atomowa pozwoliła nam zmierzyć rozszczepienie nadsubtelne stanu podstawowego atomu sodu z dokładnością względną 10^{-9} .

Po rozwinięciu teorii chłodzenia metodą gradientu polaryzacji zorientowaliśmy się, że istnieją znacznie lepsze sposoby wystrzeliwania atomów. Wypychając atomy pojedynczą wiązką laserową skierowaną od dołu podgrzewaliśmy je, a to ze względu na losowy odrzut związany z rozproszonymi fotonami. Dobierając częstość wiązek tworzących melasę tak, aby gradienty polaryzacji występowały w układzie odniesienia poruszającym się względem układu laboratoryjnego, chłodziliśmy atomy właśnie w układzie poruszającym się. Dzięki temu atomy mogły być wystrzeliwane z dokładnie określonymi prędkościami, i to bez żadnego wzrostu temperatury [71].

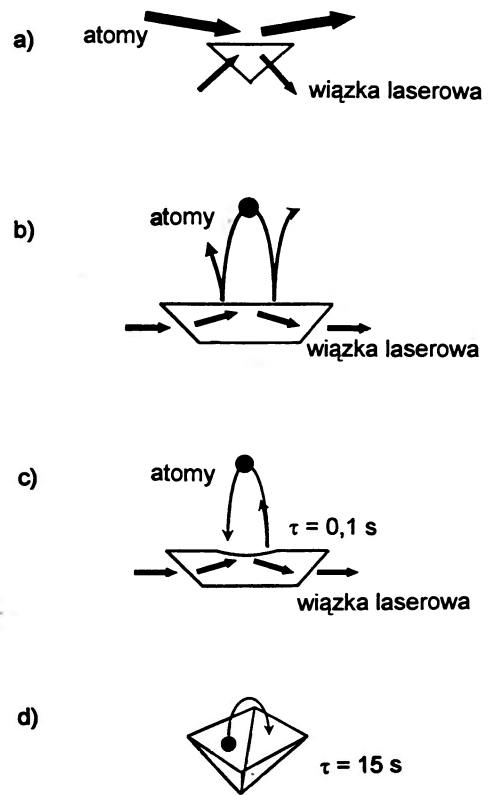
André Clairon i jego współpracownicy skonstruowali pierwszą cezową fontannę atomową [72]. Wraz z Kurtem Gibble'em przeanalizowaliśmy potencjalną dokładność wzorca częstości, jakim może być fontanna atomowa. Sugerowaliśmy, że przesunięcia fazowe związane ze zderzeniami mogą być czynnikiem stanowiącym ostateczne ograniczenie dokładności takiego zegara [69]. Później, na zasadzie fontanny atomowej, skonstruowaliśmy wzorzec częstości, którego stałość krótkookresowa była lepsza niż we wzorcach cezowych stosowanych w biurach standardów [73]. W pracy tej zmierziliśmy także przesunięcia fazowe związane z ultrazimnymi zderzeniami w fontannie – efekt systematyczny, mogący być czynnikiem ograniczającym stałość zegara cezowego. Grupa Clairona ostatnio przekroczyła uzyskaną przez nas stałość. Co więcej, uzyskali oni dokładność ocenianą na $\Delta\nu/\nu \leq 2 \times 10^{-15}$, ograniczoną jedynie stałością ich wzorca – masera wodorowego [74]. Taki zegar uruchomiony z chwilą po-

⁶ Patrz np. [68]. Słyszałem o tych próbach jeszcze jako doktorant w Berkeley. Omawialiśmy zalety cezowej fontanny atomowej jako zegara atomowego w pracy [69].

wstania Wszechświata dzisiaj spóźniałby się lub spieszył o mniej niż cztery minuty, a upłynęło przecież około 15 miliardów lat.

Następnym po fontannie atomowej „szybkim doświadczeniem” miało być odbicie atomów od fali zanikającej (ang. evanescent wave) przy padaniu normalnym. Bałykin i inni [75] odchylali wiązkę atomową o mały kąt za pomocą zanikającej warstewki światła, rozpościerającej się ze szklanego pryzmatu. Jeśli światło jest dostrojone powyżej rezonansu atomowego, to indukowany moment dipolowy \mathbf{p} jest w przeciwfazie z polem wymuszającym. Atom o energii $-\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$ jest wtedy odpychany od pola świetlnego przez siłę dipolową. Stwierdzenie odbicia laserowo ochłodzonych atomów przy padaniu normalnym było koniecznym pierwszym krokiem ku poszukiwaniu odbicia kwantowego. Posługując się naszymi zimnymi atomami, chcieliśmy utworzyć „trampolinę atomową” odbijając atomy od zakrzywionej powierzchni świetlnej, utworzonej przez wewnętrzne odbicie wiązki laserowej od soczewki płasko-wklęsłej. Niestety jednak soczewka, której użyliśmy, dawała sporo światła rozproszonego, a ta mgiełka świetlna powodowała „lewitację” atomów i nie pozwoliła nam zaobserwować atomów odbitych. Mark zamówił soczewkę o wysokiej jakości. W oczekiwaniu na nią rozpoczęliśmy odbijanie atomów od pryzmatu w kształcie jaskółczego ogona [76]. Nigdy nie wykorzystaliśmy zamówionej soczewki, ponieważ pojawił się nowy, frapujący pomysł. Parę lat później trampolina została zbudowana przez grupę Cohena-Tannoudjiego [77]. Ewolucja pułapek grawitacyjno-optycznych zobrazowana jest na rys. 7.

Czekając na nadejście zamówionej soczewki, zaczęliśmy myśleć o następnym etapie doświadczeń nad kwantowym odbiciem. Rozkład prędkości w kierunku poziomym miał być wyznaczony przez szczelinę kolimacyjną, co mi się nie podobało. Kwantowe odbicie wymagało bardzo zimnych atomów o rozrzucie prędkości odpowiadającym zakresowi temperatury dużo mniejszemu od $1 \mu\text{K}$. Ze względu na rozmiar chmury atomów uwięzionych w naszej pułapce magneto-optycznej, bardzo małe rozmiary szczeliny kolimacyjnej ograniczyłyby strumień atomów do niezadowalająco niskiego poziomu. Wreszcie, wąska szczelina wywoływałaby dyfrakcję atomów.



Rys. 7. Niektóre z osiągnięć w rozwoju odbicia atomów od warstw optycznych utworzonych ze światła dostrojonego po niebieskiej stronie rezonansu atomowego: a) Bałykin, Letochow, Owczynnukow i Sidorow (1987), b) Kasevich, Weiss i Chu (1989), c) Aminoff i in. (1993), d) H.J. Lee i in. (1996). Ponieważ atomy spędzają wiele czasu spadając swobodnie, pułapki optyczne wykorzystujące wiązki odstrojone ku błękitowi pozwalają na całkiem efektywne chłodzenie za pomocą impulsów ramanowskich. W pułapce z odwróconą piramidą, utworzoną przez cztery warstwy świetlne (d), uzyskano ponad 3×10^6 atomów ochłodzonych tą metodą do temperatury odrzutu. Otrzymano gęstość ok. 2×10^{11} atomów na cm^3 .

W czasie powrotu do domu po pewnym wykładzie zaświtało mi rozwiązanie problemu selekcji prędkości. Zamiast używać szczeliny kolimacyjnej można wykorzystać selekcję prędkości, wynikającą ze zjawiska Dopplera. Zazwyczaj czułość dopplerowska jest ograniczona przez szerokość przejścia optycznego. Gdybyśmy za pomocą dwóch laserów o częstościach ν_1 i ν_2 wymusili przejście dwufotonowe pomiędzy dwoma podpoziomami stanu podstawowego, wówczas nie byłoby szerokości związanej ze stanem wzbudzonym. Jeśli wiązka o częstości ν_2 byłaby generowana za pomocą modulatora elektrooptycznego tak, aby $\nu_2 = \nu_1 + \nu_{\text{rf}}$, to niestałość częstości lasera wzbudzającego nie miałaby znaczenia, ponieważ istotna byłaby tylko różnica częstości

$\nu_2 - \nu_1 = \nu_{\text{rf}}$. Szerokość linii $\Delta\nu$ byłaby ograniczona przez skończony czas Δt niezbędny do wymuszenia przejścia dwufotonowego, a fontanna atomowa dawała nam mnóstwo czasu do dyspozycji. Pomimo faktu, że rezonans zależałby od różnicy częstości, czułość dopplerowska byłaby zależna od sumy częstości, jeśli tylko dwie wiązki laserowe byłyby przeciwnie skierowane. Pomysł ten pozwoliłby osiągnąć czułość dopplerowską właściwą dla przejść w nadfiolecie, zaś częstość, której stałość musimy zapewnić, byłaby w zakresie mikrofalowym, w którym nie jest to trudne. Aby wykazać, że jest to dobre podejście, wytworzyliśmy chmurę atomów o rozrzucie prędkości równym $270 \mu\text{m/s}$, odpowiadającym „jednowymiarowej” temperaturze 24 pK i fali de Broglie’a o długości $51 \mu\text{m}$ [78]. Metodą czułości dopplerowskiej posługiwaliśmy się także w pomiarach rozkładów prędkości z rozdzielczością poniżej nanokelwina.

W roku 1990 wiedzieliśmy że kilka grup badawczych próbuje skonstruować interferometry atomowe, wykorzystujące dyfrakcję atomów na szczelinach mechanicznych lub na siatkach dyfrakcyjnych. Wysiłki te zachęciły nas do rozważenia innych sposobów podejścia do interferometrii atomowej. Wiedzieliśmy, że istnieje jedno-jednoznaczna odpowiedniość między czułością dopplerowską a odrzutem, jakiego doświadcza atom dokonujący przejścia optycznego. Dwufotonowemu przejściu ramanowskiemu w polu wiązek przeciwbieżnych odpowiada odrzut $\Delta p = \hbar k_{\text{ef}}$, gdzie $k_{\text{ef}} = k_1 + k_2$. Właśnie ten efekt odrzutu pozwolił nam zaprojektować nowy typ interferometru atomowego.

Atom mający pęd p i będący w stanie $|1\rangle$ jest opisany przez stan kwantowy $|1, p\rangle$. Atom ten po wzbudzeniu tzw. impulsem $\pi/2$ znajdzie się w stanie superpozycji stanów $|1, p\rangle$ i $|2, p + \hbar k_{\text{ef}}\rangle$ o jednakowych wagach stanów składowych. Po upływie czasu Δt dwie paczki falowe oddalą się od siebie na odległość $(\hbar k_{\text{ef}}/M)\Delta t$. Wzbudzenie za pomocą impulsu π sprawi, że dla paczki w stanie $|1, p\rangle$ zajdzie przejście $|1, p\rangle \rightarrow |2, p + \hbar k_{\text{ef}}\rangle$, natomiast dla paczki w stanie $|2, p + \hbar k_{\text{ef}}\rangle$ – przejście $|2, p + \hbar k_{\text{ef}}\rangle \rightarrow |1, p\rangle$. Po upływie następnego przedziału czasu Δt dwie paczki spotkają się ponownie i drugi impuls $\pi/2$ o odpowiednim przesunięciu fazowym względem fazy atomowej sprowadzi atom do jednego ze stanów $|1, p\rangle$ lub $|2, p + \hbar k_{\text{ef}}\rangle$.

Taki typ interferometru atomowego jest atomowym odpowiednikiem optycznego interferometru Macha–Zehndera i jest podobny do interferometru atomowego, omówionego po raz pierwszy przez Bordégo [79]. We współpracy z grupą Helmckego z Niemieckiego Biura Wzorców (PTB), Bordé używał takiego interferometru do wykrywania obrotów [80].

W styczniu 1991 roku, wkrótce po tym, jak uzyskaliśmy prążki interferencyjne, usłyszeliśmy, że grupa prowadzona przez Jürgena Mlynka w Konstancji zbudowała interferometr atomowy, będący atomową wersją doświadczenia Younga z dwiema szczelinami [81]. Natomiast grupie Dave’a Pritcharda z MIT udało się zbudować interferometr wykorzystujący siatkę dyfrakcyjną [82]. Podstawą naszego interferometru, zamiast termicznej wiązki atomowej, była fontanna laserowo ochłodzonych atomów. Zdawaliśmy sobie sprawę, że mamy znakomity przyrząd badawczy, pozwalający na długi czas pomiarów. Przed wysłaniem pracy do publikacji chcieliśmy jednak, posługując się nim, coś zmierzyć.

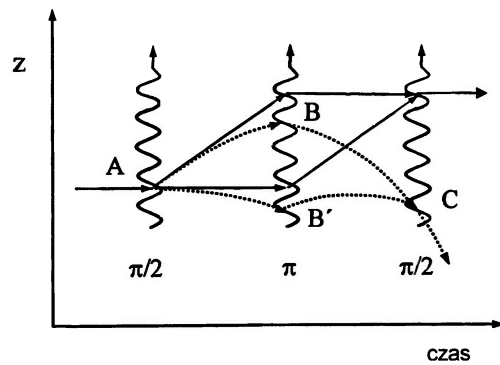
Gdy zastanawialiśmy się, co można by łatwo zmierzyć, Mark dokonał przypadkowego odkrycia. Interferometr wykazywał przesunięcie fazowe, które zmieniało się jak $(\Delta t)^2$, kwadrat czasu pomiędzy impulsami $\pi/2$ a π . Mark prawidłowo zidentyfikował to przesunięcie jako wynik przyspieszenia atomów w polu ciężkości. Atom przyspieszający doznaje przesunięcia dopplerowskiego względem laserów, które w układzie laboratoryjnym wysyłają światło w kierunku g . W zasadzie lasery świeciły poziomo, jednakże błąd ustawienia o wielkości zaledwie kilku miliradianów wystarczyło, aby pojawiło się łatwo obserwowalne przesunięcie fazowe.

Wstępna analiza tego przesunięcia fazowego wykorzystująca feynmanowskie całki po trajektoriach jest zawarta w pierwszej pracy o naszym interferometrze atomowym [83]. W dalszych pracach rozwinęliśmy to podejście [84-87]. Storey i Cohen-Tannoudji opublikowali na ten temat znakomitą pracę przeglądową [88]. Rozważmy wiązkę laserową rozprzestrzeniającą się w kierunku równoległym do przyspieszenia ziemskiego, jak to pokazano na rys. 8. Przesunięcie fazowe atomu składa się z dwóch przyczynków: 1) członu ewolucji swobodnej $e^{-iS_{\text{kl}}/\hbar}$, gdzie $S_{\text{kl}} = \int_{\text{kl}} L dt$ jest działaniem obliczonym wzdłuż toru klasycznego,

oraz 2) fazy związanej z oddziaływaniem atomu ze światłem. Obliczenie całek dla dwóch dróg wskazuje, że ewolucja swobodna nie daje żadnego wkładu do przesunięcia faz pomiędzy obydwo ramionami interferometru. Przyczynę do zmiany fazy związany z oddziaływaniem atom-pole można obliczyć wykorzystując fakt, że atom, który dokonuje przejścia $|1, p\rangle \rightarrow |2, p + \hbar k\rangle$, zyskuje czynnik fazowy $e^{-i(k_L z - \omega t)}$, gdzie z jest położeniem atomu w pionie, zaś $k_L = k_1 + k_2$ jest efektywnym wektorem falowym światła. Przejście $|2, p + \hbar k\rangle \rightarrow |1, p\rangle$ wprowadza dodatkowy czynnik fazowy $e^{+i(k_L z - \omega t)}$. Jeśli atom nie dokonuje przejścia optycznego, czynnik fazowy związany ze światłem jest równy jedności. Jeżeli k_L jest równoległe do wektora g , to w górnym ramieniu atom ma fazę całkowitą $\phi_g = k_L(z_A - z_B)$. W dolnym ramieniu atom zyskuje fazę $\phi_d = k_L(z_B - z_C)$. W nieobecności ciężenia $z_A - z_B = z_B - z_C$, więc nie ma różnicy faz między obydwo drogami. Jednakże gdy ciężenie jest obecne, mamy $z_B - z_A = (1/2)g(\Delta t)^2$, natomiast $z_B - z_C = 3g(\Delta t)^2/2$. A zatem sumaryczne przesunięcie fazy wynosi $\Delta\phi = k_L g(\Delta t)^2$. Zauważmy, że przyspieszenie jest mierzone w dziedzinie czasowej, rejestrujemy bowiem zmianę fazy $\Delta\phi = k_L \Delta z$, która pojawia się po upływie czasu Δt .

Przesunięcie fazowe w interferometrze mierzy się, rozważając względne fazy atomu w dwóch ramionach i fazę pola świetlnego w punkcie C. Jeśli światło jest zgodne w fazie z atomem, drugi impuls $\pi/2$ spowoduje powrót atomu do stanu $|1, p\rangle$. Jeśli zaś różnią się one fazą o π , atom znajdzie się w stanie $|2, p + \hbar k\rangle$. Wobec tego miarą przesunięcia fazowego jest względne obsadzenie obu stanów atomowych.

Dla długich czasów Δt , które są łatwo osiągalne w fontannie atomowej, przesunięcia fazowe mogą być bardzo duże. Dla $\Delta t = 0,2$ s na różnicę faz pomiędzy obydwo ramionami interferometru składa się ponad 4×10^6 okresów drgań. W naszej pierwszej pracy na temat interferometru uzyskaliśmy rozdzielczość rzędu $\Delta g/g = 10^{-6}$, a przy poprawionej izolacji od drgań osiągnęliśmy rozdzielczość $\Delta g/g = 10^{-8}$ [84]. Z pewnymi udoskonaleniami, przy użyciu układu aktywnej izolacji od drgań [89], byliśmy w stanie utrzymać pełny kontrast prążków przez czas Δt równy aż 0,2 s, a także poprawiliśmy rozdzielczość względną do 10^{-10} [87].



Rys. 8. Interferometr atomowy wykorzystujący impulsy optyczne. Faza pola optycznego jest rejestrowana przez atom w czasie przejścia z jednego obszaru do drugiego. Pod nieobecność ciężenia (linie ciągłe) atom poruszający się wzdłuż górnej drogi pomiędzy pierwszym impulsem $\pi/2$ a impulsem π rejestruje o trzy okresy fazy mniej niż przy ruchu wzdłuż drogi dolnej. Pomiedzy impulsem π a drugim impulsem $\pi/2$ fazę mniejszą o tę samą wartość rejestruje atom poruszający się wzdłuż drogi dolnej. Jeśli częstość wzbudzająca jest w ścisłym rezonansie, atom wraca do stanu początkowego. W obecności siły ciężenia (linie kropkowane) zmiana fazy rejestrowana na obu drogach jest różna, ponieważ $z_C - z_{B'}$ jest większe niż $z_B - z_A$. Wobec tego mierząc przesunięcia w czasie Δt za pomocą różnic faz, możemy zmierzyć zmiany prędkości spowodowane siłą ciężkości lub efektami odrzutu (rys. 9) w jednostkach czasu.

Wkrótce po zakończeniu pierwszych doświadczeń interferometrycznych Mark Kasevich wymyślił sposób ochładzania atomów przez wymuszone przejścia ramanowskie [90]. Ponieważ o szerokości przejść ramanowskich decyduje czas przejścia, uzyskaliśmy metodę pozwalającą wybierać atomy z bardzo wąskiego przedziału prędkości spośród całego zbioru uprzednio ochłodzonego metodą gradientu polaryzacji. Atomy są początkowo pompowane optycznie do pewnego stanu nadsubtelnego $|1\rangle$. Przejście ramanowskie $|1\rangle \rightarrow |2\rangle$ służy do „popchnięcia” niewielkiego podzbioru atomów w stronę $v = 0$. Zmiany różnic częstości $\nu_1 - \nu_2$ dla kolejnych impulsów umożliwiają przesuwanie różnych grup atomów w kierunku $v = 0$. Jest to analogiczne do metody chłodzenia powolnych wiązek atomowych metodą „świergotania” częstości (ang. frequency chirp). Zasadnicza różnica polega na tym, że impulsy ramanowskie pozwalają na znacznie większą rozdzielczość dzięki czułości dopplerowskiej. Po każdym impulsie ramanowskim używaliśmy innego impulsu pompującego atom z powrotem do stanu $|1\rangle$. W czasie tego procesu atomy emitują spontanicznie jeden lub

więcej fotonów i mogą cały czas pozostawać w otoczeniu $v = 0$. Dostrojenie impulsów jest tak dobrane, by atom rozpraszany do stanu o prędkości bliskiej $v = 0$ charakteryzował się małym prawdopodobieństwem dalszego wzbudzenia. Ta metoda chłodzenia jest analogiczna do spójnego uwięzienia obsadzeń, z tym że błędzenie w przestrzeni prędkości jest skierowane ku $v = 0$. W naszych pierwszych doświadczeniach ochłodziliśmy tą metodą atomy sodu do temperatury mniejszej niż $0,1 \times T_{\text{od}}$ w jednym kierunku, uzyskując 8-krotny wzrost liczby atomów w otoczeniu $v = 0$. W dalszych pracach rozwinęliśmy tę metodę chłodzenia także dla dwóch i trzech wymiarów [91].

Okazało się, że ta metoda chłodzenia działa także w optycznej pułapce dipolowej. Powróciliśmy do pułapek dipolowych pod wpływem wyników grupy Phillipsa [92] i Dana Heinzena [93], którzy uzyskali pułapki dipolowe dla bardzo dużego odstrojenia od rezonansu. W pułapkach tego typu ogrzewanie wywołane rozpraszaniem światła pułapkującego jest znacznie zmniejszone. Niedyssypatywne pułapki dipolowe okazały się pożyteczne w wielu zastosowaniach. Wykazaliśmy, że w pułapkach utworzonych przez warstwy światła odstrojonego ku błękitowi (będących rozwinięciem idei trampoliny atomowej) spójności (koherencji) atomowe mogą utrzymywać się nawet przez 4 sekundy pomimo setek odbić [94]. W pułapce dipolowej z odstrojeniem ku czerwieni, wytworzonej przez dwie przecinające się wiązki światła [95] (poprawione rezultaty podane są w pracy [96]) udało nam się uzyskać chłodzenie przez parowanie (ang. evaporative cooling). Chłodzenie ramanowskie można uzyskać zarówno w pułapkach z odstrojeniem ku błękitowi, jak i ku czerwieni [97,43]. W naszych ostatnich pracach, w pułapce dipolowej z odstrojeniem ku błękitowi uzyskaliśmy ponad 10^6 atomów ochłodzonych ramanowsko do temperatury mniejszej niż T_{od} . Jest to blisko 300 razy mniej niż trzeba do uzyskania kondensacji Bosego–Einsteina, lecz o czynnik 400 więcej niż dla gęstości „ciemnej plamki” w przestrzeni fazowej pułapki magnetoptycznej. Niestety, proces ogrzewania nie pozwolił nam osiągnąć kondensacji Bosego przez chłodzenie metodą parowania w pułapce optycznej. Ostatnio Wolfgang Ketterle i jego współpracownicy umieścili pułapce optycznej kondensat Bosego otrzymany w pułapce magnetycznej [98]. Posługując się tą pu-

łapką, otrzymali rezonanse Feshbacha [99], wyliczone dla sodu [100], w których długość rozpraszania fali s zmienia znak. Ponieważ taki rezonans ma szerokość zaledwie 1 Gs, pułapka niemagnetyczna sprawia, że jego detekcja jest znacznie łatwiejsza. Pułapek optycznych można też używać dla utrzymania kondensatów Bosego w stanach nieczułych na działanie pola magnetycznego, w celu dokonania precyzyjnych pomiarów interferometrycznych.

Nasza umiejętność pomiaru bardzo małych zmian prędkości za pomocą wymuszonych przejść ramanowskich sugerowała też inne zastosowanie interferometrii atomowej. Jeśli atom pochłania foton o pędzie $p_\gamma = h\nu/c$, to uzyskuje pęd $\Delta p = M\Delta v$. Wobec tego $h/M = c\Delta v/\nu$, a ponieważ Δv można zmierzyć jako przesunięcie częstości, więc możliwość precyzyjnego pomiaru h/M spadła nam jak z nieba. Skontaktowałem się z Barrym Taylorem z NIST i zapytałem go, czy taki pomiar, wraz z niezależnym pomiarem stałej Plancka, może dać nowy wzorec masy atomowej. Odparł, że pierwszym zastosowaniem precyzyjnego pomiaru h/M powinno być lepsze określenie stałej struktury subtelnej α , bowiem α można wyrazić jako

$$\alpha^2 = \frac{2R_\infty}{c} \frac{m_p}{m_e} \frac{M_{\text{at}}}{m_p} \frac{h}{M_{\text{at}}}.$$

Wszystkie wielkości ułamkowe [106] występujące w powyższym związku można dokładnie zmierzyć przez pomiar częstości lub ich przesunięć (prędkość światła c jest teraz wielkością zdefiniowaną; wartość 2 jest też dokładnie znana).

Temat rozprawy doktorskiej Dave’a Weissa został zmieniony. Jego zadaniem stał się teraz pomiar h/M przez wykorzystanie właśnie uzyskanej przez nas czułości dopplerowskiej. Geometria interferometru, którą wybrał, była już tu dyskutowana jako rozszerzenie techniki ramseyowskiej do obszaru optycznego [79]. Używając dwóch par impulsów $\pi/2$ można wytworzyć dwa interferometry o przesuniętych punktach końcowych, jak to pokazuje rys. 9. Przesunięcie odczytujemy jako różnicę faz względnych obsadzeń (populacji) w obu interferometrach, w sposób analogiczny do tego, którym posługiwaliśmy się przy pomiarach przyspieszenia ziemskiego. Przesunięcie to można zwiększyć przez zastosowanie impulsów π pomiędzy dwoma parami impulsów $\pi/2$. Pracując z Brentem Youngiem, Dave Weiss zmierzył h/M z dokładnością do około jednej części na 10^7 [101,102].

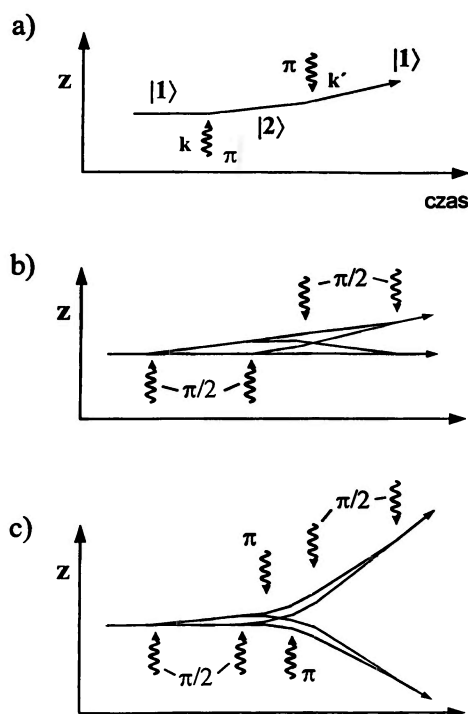
W pracy tej zaobserwowano pewne efekty systematyczne rzędu 10^{-6} . Zamiast jednak próbować je zrozumieć, postanowiliśmy zmierzyć \hbar/M budując nowy interferometr atomowy o geometrii pionowej.

Zamiast impulsów pędu pochodzących od nierezonansowego wzbudzenia ramanowskiego, chciałem wykorzystać metodę transferu adiabaticznego, opracowaną przez Klausa Bergmanna ze współpr. [103]. Piękno metody transferu adiabaticznego polega na tym, że jest ona nieczuła na małe zmiany parametrów doświadczalnych, takich jak natężenie czy częstota, które z kolei mają ujemny wpływ na nierezonansowe impulsy π . Ponadto wykazaliśmy, że przesunięcie Starka w zmiennym polu, potencjalnie kłopotliwy efekt systematyczny w nierezonansowych przejściach ramanowskich, jest nieobecne przy transferze adiabaticznym w układach ściśle trójpoziomych [104].

Rozważmy atom o dwóch podpoziomach stanu podstawowego i jednym wzbudzonym, jak na rys. 10a. Bergmann i inni wykazali, że w zdiaagonalizowanym układzie atom-pole układ taki będzie zawsze miał „ciemny” stan własny, i to nie związany ze stanem wzbudzonym. Przypuśćmy dla prostoty, że amplitudy $A_1 = \langle e|H_{EM}|g_1\rangle$ oraz $A_2 = \langle e|H_{EM}|g_2\rangle$ są równe, zaś H_{EM} jest hamiltonianem oddziaływania atom-pole. Atom, początkowo w stanie $|g_1\rangle$, jest w stanie ciemnym, jeśli obecne jest tylko światło o częstocie ω_2 . Jeżeli teraz będziemy powoli zwiększać natężenie wiązki o częstocie ω_1 aż obie wiązki osiągną jednakowe natężenie, to stan ciemny będzie adiabaticznie ewoluował do stanu $(1/\sqrt{2})(|g_1\rangle - |g_2\rangle)$. Jeśli następnie będziemy zmniejszać natężenie wiązki ω_2 bez zmiany natężenia wiązki ω_1 , to uzyskamy atom w stanie $|g_2\rangle$. Tak więc atom może zmieniać stan od $|g_1\rangle$ do $|g_2\rangle$, nigdy nie przechodząc przez stan wzbudzony.

Praca Bergmanna podsunęła Marte’emu, Zollerowi i Hallowi [105] pomysł, że taki proces transferu może być wykorzystany do zmiany pędu atomu. Zespoły prowadzone przez Marę Prentiss [106] i Billa Phillipsa [107] szybko potwierdziły mechaniczny aspekt tego przejścia. W ich doświadczeniach otrzymano czasowo opóźnione impulsy światła przepuszczając atomy przez przestrzenie rozdzielone wiązki laserowe. My zaś, mając atomy poruszające się powoli w fontannie ato-

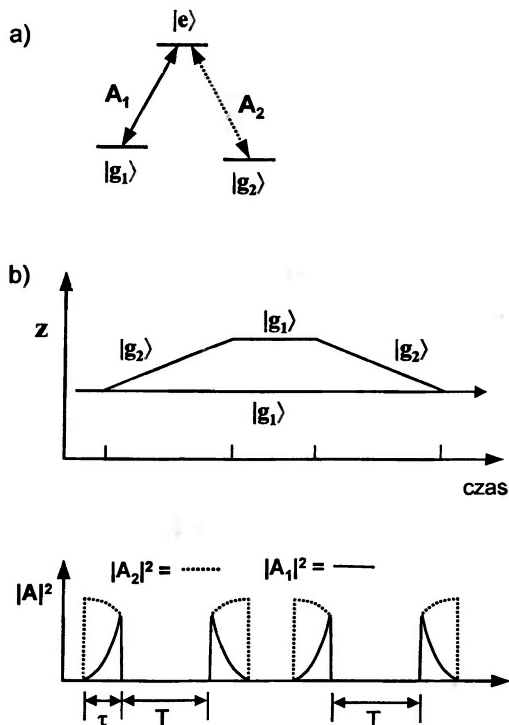
mowej, mogliśmy za pomocą modulatorów akustooptycznych niezależnie zmieniać natężenie każ-



Rys. 9. a) Podstawowa metoda pomiaru prędkości odrzutu wymaga dwóch przeciwniejących impulsów świetlnych. Ze względu na zachowanie energii i pędu, światło wzbudzające musi spełniać warunek $\hbar\omega - \hbar\omega_{21} = k \cdot v \pm (\hbar k)^2/2m$, gdzie v jest prędkością atomu, k wektorem falowym fali świetlnej, zaś znak zależy od tego, czy stan początkowy ma energię wyższą czy też niższą niż stan końcowy. Atom w spoczynku w stanie $|1\rangle$ jest wzbudzany impulsem π o częstocie $\omega = \omega_{12} + \hbar k^2/2m$. Atom, będący po odrzucie w stanie $|2\rangle$ i mający prędkość $v = \hbar k/m$, jest sprowadzony ponownie do stanu $|1\rangle$ przez przeciwniejący foton o częstocie $\omega' = \omega_{12} - \hbar k \cdot k'/m + \hbar k'^2/2m$. Dwa rezonanse są przesunięte względem siebie o $\Delta\omega = \omega' - \omega = \hbar(k+k')^2/2m$. b) Aby zwiększyć rozdzielczość bez straty w szybkości zliczeń, zamiast impulsów π , używaliśmy dwukrotnie pary impulsów $\pi/2$. Uzyskaliśmy w ten sposób dwa interferometry atomowe, których końce są rozdzielone przestrzennie ze względu na efekt odrzutu. Ponieważ pomiary dotyczą położenia względnego dwóch podobnych interferometrów, pewne wspólne wielkości odejmują się, co zwiększa dokładność pomiarów. c) Aby dalej zwiększyć osiąganą rozdzielczość, pomiędzy dwiema parami impulsów $\pi/2$ stosowaliśmy impulsy π , które nadbiegały z przeciwnych kierunków. Rysunek pokazuje tylko dwa takie impulsy π , jednak w doświadczeniu używaliśmy ich nawet 60, przy czym każdy impuls π rozdziela interferometry w przestrzeni prędkości o $4\hbar k/m$.

dej z wiązek. Ta swoboda pozwoliła nam skonstruować interferometr atomowy wykorzystujący metodę transferu adiabaticznego [108]. W różnych punktach obszaru oddziaływania atom-pole po-

trzebowałimy różnie ukształtowanych impulsów, co ilustruje rys. 10. Na przykład pierwszy „adia-



Rys. 10. a) Układ atomowy o podpoziomach $|g_1\rangle$ i $|g_2\rangle$ w stanie podstawowym, $|e\rangle$ w stanie wzbudzonym oraz amplitudach przejść A_1 i A_2 . b) Prześtrzenno-czasowy schemat naszego interferometru adiabaticznego. Pierwsze oddziaływanie przeprowadza atom ze stanu $|g_1\rangle$ do stanu superpozycji $(1/\sqrt{2})(|g_1\rangle + |g_2\rangle)$. W drugim obszarze, światło o obydwóch częstościach zostaje włączone jednocześnie. Stan atomowy $|\Psi(T + \tau)\rangle$ jest rzutowany na będący superpozycją stan ciemny $|\Psi(T + \tau)\rangle_D$, określony na początku impulsu. Stan ten, przez oddziaływanie światła o profilach pokazanych w drugim obszarze oddziaływania, ewoluje adiabaticznie do $|g_1\rangle$. Aby zamknąć interferometr, sekwencja ta jest powtórzona dla przekazów adiabaticznych z wektorem k_{ef} skierowanym w odwrotnym kierunku, jak na rys. 9. Drogi atomów nie dających wkładu do sygnału interferencyjnego nie zostały pokazane.

batyczny dzielnik wiązki” wymaga, aby pole ω_2 włączane było jako pierwsze, lecz oba pola, ω_1 i ω_2 , winny być wyłączane jednocześnie. Natomiast w drugim punkcie oddziaływania oba pola ω_1 i ω_2 włączają się jednocześnie, lecz ω_1 wyłącza się jako pierwsze. Posługując się interferometrem z adiabaticznym transferem, mogliśmy rozdzielić dwa interferometry atomowe na odległość (w jednostkach pędu) do ok. $250 \hbar k$ bez znaczących strat w stosunku sygnału do szumu.

W tej chwili nasza interferometryczna metoda pomiaru h/M_{Cs} ma rozdzielczość względną

około 2×10^{-9} (1×10^{-9} w pomiarach α), co odpowiada rozdzielczości prędkości lepszej niż 1/30 średnicy atomowej na sekundę. Przy użyciu pojęć spektroskopii dopplerowskiej dokładność ta odpowiada rozdzielczości przesunięcia dopplerowskiego mniejszej niż $100 \mu\text{Hz}$ na 10^{15} Hz . Szukaliśmy efektów systematycznych przez ubiegłe 5 miesięcy i przed opublikowaniem uzyskanej wartości h/M chcemy jeszcze wykonać kilka testów. W niedalekiej przyszłości planujemy dalsze pomiary wielkości niezbędnych do wyznaczenia α . Pomiary stosunków mas m_e/m_p , m_p/M_{Cs} , a także częstości linii D_1 w czynie będą wykonane z dokładnością względną lepszą niż 10^{-9} . Ciekawe, że niektóre z najbardziej dokładnych metod wyznaczenia stałej struktury subtelnej α są zastosowaniami trzech Nagród Nobla: zjawisk Josephsona (56×10^{-9}), kwantowego efektu Halla (24×10^{-9}) oraz porównania momentu magnetycznego elektronu zmierzzonego w pułapce jonowej z obliczeniami na gruncie elektrodynamiki kwantowej ($4,2 \times 10^{-9}$) (aktualny stan pomiarów α – patrz [109]).

7. Inne zastosowania w fizyce atomowej

Tematy, które omówiłem, są jedynie małą, uwarunkowaną czynnikami osobistymi próbką wielu zastosowań nowych metod chłodzenia laserowego i pułapkowania atomów. Metod tych już użyto w optyce nieliniowej, a także w doświadczeniach optyki kwantowej. Laserowo chłodzone atomy są powszechnie używane do badania ultrazimnych zderzeń. Można mieć nadzieję, że pułapki atomowe pozwolą na wykorzystanie pierwiastków promieniotwórczych w badaniach nad niezachowaniem parzystości w oddziaływaniach słabych oraz w bardziej czułych doświadczeniach nad załamaniem się symetrii względem odwrócenia biegu czasu.

Sz szczególnie spektakularnym wykorzystaniem zimnych atomów jest doświadczenie uzyskanie kondensacji Bosego–Einsteina przez Erica Cornella, Carla Wiemana wraz ze współpracownikami [110]. Później kondensację uzyskali także Wolfgang Ketterle [111] oraz Randy Hulet [112]. Wytworzenie tego nowego stanu materii otwiera bardzo ciekawe możliwości badania zjawisk kolektywnych w układach kwantowych za pomocą czułych metod diagnostycznych spektroskopii laserowej. Wzrost gęstości fazowej atomów tworzących

kondensat Bosego–Einsteina także otwiera nowe możliwości, podobnie jak zwiększenie gęstości fazowej atomów przez laserowe chłodzenie i pułapkowanie.

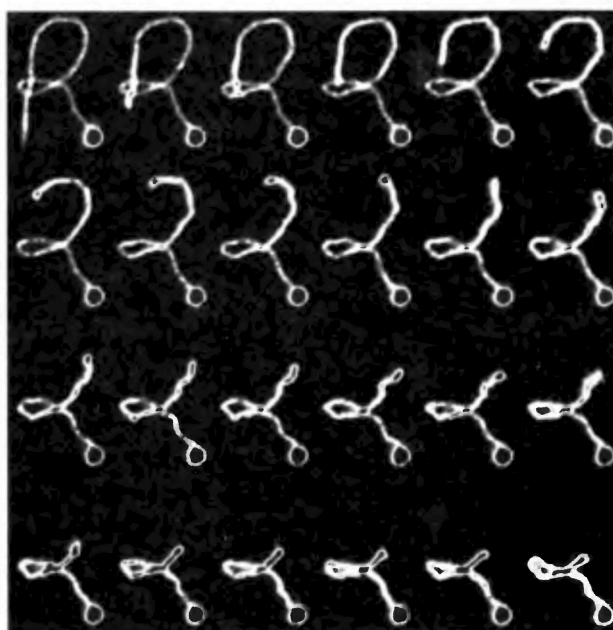
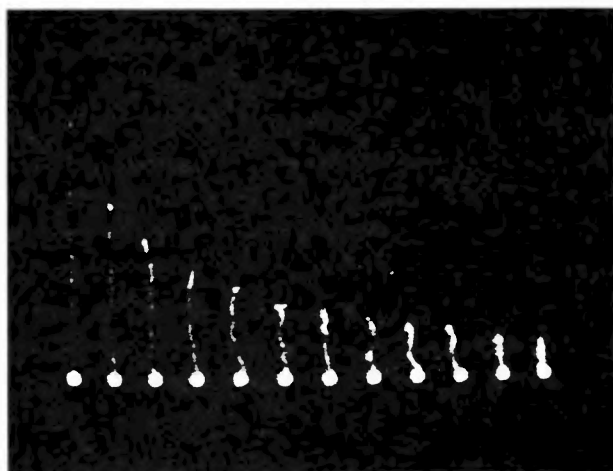
8. Zastosowania w biologii i badaniach polimerów

W roku 1986 poruszenie na świecie wzbudziła możliwość pułapkowania atomów. W tym też czasie Art Ashkin, pułapkując cząstki o rozmiarach mikrometrów, rozpoczął pracę nad szczypcami optycznymi. Eksperymentując z wirusami mozaiki tytoniowej [113] zaobserwował w swojej próbie bardzo małe obiekty półprzezroczyste. Wpadając do mojej pracowni w podnieceniu oznajmił, że właśnie „odkrył życie”. Poszedłem za nim do jego laboratorium, sądząc po trosze, że praca w ciągu ostatnich lat w końcu mu zaszkodziła. W pracowni był obiektowy mikroskopowy ogniskujący wiązkę lasera argonowego na szalce Petriego wypełnionej wodą. Z boku stał zwykły, staroświecki mikroskop. Zerkać w mikroskop zobaczyłem swoje rzęsy. Wysiliwszy się nieco, udało mi się zobaczyć jakies półprzezroczyste obiekty. Wiele z tych obiektów było, w obliczu mojego kwaśnego nastroju, po prostu śmieciami, które poruszały się, gdy mrużyłem oczy. Art zapewnił mnie, że są tam inne obiekty, nie poruszające się przy mruganiu. Faktycznie, było tam coś, co było pułapkowane i mogło odpłynąć, gdy wyłączyło się światło. Art znalazł w swoich próbkach z paciorkami coś realnego: bakterie, które mogły rosnąć i mnożyć się.

Jego odkrycie pozwoliło szybko stwierdzić, że za pomocą zogniskowanej wiązki promieniowania podczerwonego o gęstości rzędu 1 MW/cm^2 można pułapkować na całe godziny żywe bakterie *Escherichiae coli* oraz drożdże, i to bez żadnych uszkodzeń [114]. Inne prace dotyczyły manipulacji wewnątrz komórek roślinnych, pierwotniaków, jak również rozciągania lepkosprężystej cytoplazmy [115]. Steve Block i Howard Berg wkrótce wykorzystali szczypce optyczne do badań napędu flagelli [116], a zespół Michaela Burnsa posługiwał się tą metodą do manipulowania żywą spermą [117]. Metodą szczypiec optycznych można także manipulować obiektami o wymiarach molekularnych. Block i inni przeprowadzili na powierzchni sfery bardzo rozrze-

dzone motoryczne cząsteczki kinezy, a następnie umieścili sferę na mikrotubuli. Zmierzono siłę i przesunięcie wytwarzane przez pojedynczą cząsteczkę kinezy [118] w wyniku jej aktywacji przez ATP. Podobne doświadczenia dotyczące motorycznych cząsteczek aktyny/miozyny w mięśniach szkieletowych przeprowadzili Jeff Finer, Bob Simmons i Jim Spudich [119]. Posługiwali się oni szczypcami optycznymi z aktywnym sprzężeniem zwrotnym, które skonstruowaliśmy wspólnie w mojej pracowni [120]. Dołączając polistyrenowe „uchwyty” do pojedynczej cząsteczki DNA, opracowaliśmy, wraz ze Steve’em Kronem, metodę pozwalającą utrzymać cząsteczkę i jednocześnie ją oglądać [121,122]. Dzięki tym doświadczeniom można było dać biologom ważne narzędzie pracy, i to zarówno na poziomie komórkowym, jak i molekularnym. Zastosowania w biologii rozwinęły się błyskawicznie, może nawet prześcignęły zastosowania w fizyce atomowej (przegląd tych działań – patrz [123]).

Moim początkowym celem pracy nad metodami manipulacji DNA było badanie w czasie rzeczywistym ruchu enzymów ku tej drobinie. Gdy tylko rozpoczęliśmy pracę z cząsteczkami, zauważyliśmy, że po zniknięciu siły rozciągającej cząsteczka DNA sprężynowała z powrotem jak taśma gumowa, co pokazuje rys. 11. Takie zachowanie się cząsteczki wynika z rozważań na temat entropii. Konfiguracje sprężystego polimeru są numerowane przez liczbę możliwych dróg błędzenia przypadkowego o dużej, lecz skończonej liczbie kroków. Cząsteczka rozciągnięta znajduje się w mało prawdopodobnej konfiguracji. Układ będzie dążyć do znacznie bardziej prawdopodobnej konfiguracji typu losowych zwojów. Nasza przypadkowa obserwacja pojedynczej cząsteczki zachowującej się jak taśma gumowa otworzyła jeszcze inną możliwość. Cząsteczka DNA pochodząca z wirusa lambdafagu jest dostatecznie duża, aby ją zobaczyć i nią manipulować, a jednocześnie wystarczająco mała na to, żeby podstawowe równania ruchu opisujące polimer były ciągle słuszne. Natrafiliśmy więc na nowy sposób szukania odpowiedzi na dawno postawione pytania, dotyczące dynamiki polimerów. Seria tak rozpoczętych doświadczeń na temat dynamiki polimerów (pierwsze wyniki podano w pracy [124]) trwa do dnia dzisiejszego [125-131].



Rys. 11. U góry: seria obrazów wideo, pokazujących relaksację pojedynczej cząsteczki DNA, zachowującej się jak „taśma gumowa”. Początkowe rozciągnięcie uzyskano przez przepływ cieczy wzdłuż cząsteczki. DNA jest znakowany w przybliżeniu jedną drobiną barwnika na każde 5 par zasad. Obraz otrzymano za pomocą mikroskopu optycznego [132]. U dołu: relaksacja znacznej cząsteczki DNA w splecionym roztworze nieznakowanego DNA. Widzimy, jak cząsteczka wciągnięta do roztworu polimeru za pomocą szczypiec optycznych, relaksuje wzdłuż swego konturu. Wynik ten pokazuje graficznie „rurkowaty” (tube-like) ruch polimeru w splecionym roztworze. Wynik ten, wraz z oddzielnymi pomiarami dyfuzji DNA w podobnych roztworach polimerowych, potwierdza teorię reptacji de Gennesa, której używa się do wyjaśnienia ogólnych własności skalowania w materiałach lepkosprężystych.

9. Uwagi końcowe

Metody, które przedyskutowałem, pozwoliły na wiele sposobów „wyciągnąć rękę i dotknąć”

(reach out and touch) atomów i cząstek obojętnych, jeśli posłużyć się sloganem reklamowym AT&T. Lasery świecą do komór próżniowych, wychytując i chłodząc atomy do temperatur rzędu mikrokelwina oraz wyrzucając je w górę w fontannie atomowej. Za pomocą tych metod stworzono nową generację zegarów atomowych. Dzielono atomy na kwantowe części i łączono je potem ponownie, tworząc interferometry atomowe. Otrzymaliśmy w ten sposób czujniki bezwładnościowe, które pozwolą nam zmierzyć stałe fundamentalne z bezprecedensową dokładnością. Pułapkowanie atomów i nowe metody chłodzenia doprowadziły do uzyskania kondensatu Bosego–Einsteina złożonego z atomów. Dzięki temu zaczęliśmy badać efekty wielu ciał w zupełnie nowym zakresie parametrów fizycznych. Kondensaty stają się coraz lepszym źródłem atomów, które uczymy się wykorzystywać. Pułapki laserowe pozwoliły uchwycić pojedyncze żywe komórki, jak również organelle wewnątrzkomórkowe, i to bez przebijania błony komórkowej. Pojedyncze cząsteczki DNA są używane do badań podstawowych kwestii dynamiki polimerów. Możemy dzisiaj zmierzyć siłę i przesunięcie wywołane przez cząsteczkę dynezyiny po „spaleniu” jednej drobin ATP. Taki rozwój zastosowań w fizyce, biologii i medycynie zaszedł w ciągu niecałego dziesięciolecia. Nie ma wątpliwości, że pojawią jeszcze inne zastosowania nowo powstałej metody manipulowania materią.

W roku 1985, gdy moi koledzy i ja wykazaliśmy po raz pierwszy działanie melasy optycznej, nie było sposobu, aby przewidzieć bogactwo zastosowań, które pojawią się w ciągu paru lat. Nie miałem wtedy szerokiej perspektywy. Zamiast pracować z jasną wizją przyszłości, działałem „na nosa”, z głową przy ziemi podążając drogą, gdzie trop był najwyraźniejszy.

Wszystkie moje osiągnięcia omówione w tym wykładzie są rezultatem współpracy z wymienionymi wyżej, utalentowanymi współpracownikami. Bez nich zdziałałbym nieporównanie mniej. Myśląc w szerszej skali trzeba stwierdzić, że wiedza, jaką zdobywamy, jest addytywna. Źródłem tego jest nasza umiejętność korzystania z wiedzy zdobytej przez innych. Piękno nauki polega też na tym, że niekoniecznie musi pochodzić od dalekowzrocznych geniuszy, stojących na ramionach równie wielkich poprzedników.

Dziedzina chłodzenia i pułapkowania zbudowana została ze splatających się wkładów wielu badaczy. Wraz z moimi współpracownikami byliśmy inspirowani przez innych; nasi koledzy z całego świata wielce się przyczynili do naszych osiągnięć. Uważam, że ta Nagroda Nobla jest wyrazem uznania dla naszych wspólnych wysiłków. Jako naukowcy mamy nadzieję, że inni, wiedząc, co my zrobiliśmy, podążą dalej w kierunkach, których dziś nawet sobie nie wyobrażamy. W ten sposób ciągle wzbogacamy naszą wielką i kolektywną spuściznę naukową.

Tłumaczył *Stanisław Kryszewski*
Instytut Fizyki Teoretycznej
i Astrofizyki UG
Gdańsk

Literatura

- [1] R. Conti, P. Bucksbaum, S. Chu, E. Commins, L. Hunter, *Phys. Rev. Lett.* **42**, 343 (1979); patrz także S. Chu, E. Commins, R. Conti, *Phys. Lett.* **60A**, 96 (1977).
- [2] S. Chu, H.M. Gibbs, S.L. McCall, A. Passner, *Phys. Rev. Lett.* **45**, 1715 (1980).
- [3] S. Chu, H.M. Gibbs, S.L. McCall, *Phys. Rev. B* **24**, 7162 (1981).
- [4] P. Hu, S. Chu, H.M. Gibbs, w: *Picosecond Phenomena II*, red. R.M. Hochstrasser, W. Kaiser, C.V. Shank (Springer-Verlag, 1980), s. 308.
- [5] S. Chu, S. Wong, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 738 (1982); patrz także Comments, *Phys. Rev. Lett.* **49**, 1293 (1982).
- [6] S. Chu, A.P. Mills, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1333 (1982); S. Chu, A.P. Mills, Jr., J.L. Hall, *Phys. Rev. Lett.* **52**, 1689 (1984).
- [7] V.G. Minogin, V.S. Letokhov, *Light Pressure on Atoms* (Gordon and Breach Science, New York 1987).
- [8] J.C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, wyd. III z 1897 r. (Dover Publications, New York 1954).
- [9] P. Lebedev, *Ann. Phys.* **6**, 433 (1901).
- [10] E.F. Nichols, G.F. Hull, *Phys. Rev.* **17**, 26, 91 (1903).
- [11] A. Einstein, *Phys. Z.* **18**, 121 (1917); tłumaczenie angielskie w: *Sources of Quantum Mechanics*, red. B.L. Waerden (North-Holland, Amsterdam 1967).
- [12] O.R. Frisch, *Z. Phys.* **86**, 42 (1933).
- [13] A. Ashkin, *Biophys. J.* **61**, 569 (1992).
- [14] G.A. Askar'yan, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **42**, 1567 (1962).
- [15] V.S. Letokhov, *Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **7**, 348 (1968).
- [16] A. Ashkin, *Science* **210**, 1081 (1980).
- [17] A. Ashkin, *Phys. Rev. Lett.* **40**, 729 (1978).
- [18] J.E. Bjorkholm, R.R. Freeman, A. Ashkin, D.B. Pearson, *Phys. Rev. Lett.* **41**, 1361 (1978).
- [19] J.P. Gordon, A. Ashkin, *Phys. Rev. A* **21**, 1606 (1980).
- [20] S. Chu, AT&T Internal Memo, 11311-840509-12TM (1984).
- [21] T.W. Hänsch, A.L. Schawlow, *Opt. Comm.* **13**, 68 (1975).
- [22] D.J. Wineland, W.M. Itano, *Bull. Am. Phys. Soc.* **20**, 637 (1975).
- [23] D.J. Wineland, W.M. Itano, *Phys. Rev. A* **20**, 1521 (1979).
- [24] W.D. Phillips, J.V. Prodan, H.J. Metcalf, *J. Opt. Soc. Am. B* **2**, 1751 (1985).
- [25] J. Prodan, A. Migdall, W.D. Phillips, I. So, H. Metcalf, J. Dalibard, *Phys. Rev. Lett.* **54**, 992 (1985).
- [26] W. Ertmer, R. Blatt, J.L. Hall, M. Zhu, *Phys. Rev. Lett.* **54**, 996 (1985).
- [27] I.P. Kaminow, *An Introduction to Electro-optic Devices* (Academic Press, New York 1974), s. 228–33.
- [28] S. Chu, L. Hollberg, J.E. Bjorkholm, A. Cable, A. Ashkin, *Phys. Rev. Lett.* **55**, 48 (1985).
- [29] S. Chu, M.G. Prentiss, A. Cable, J.E. Bjorkholm, w: *Laser Spectroscopy VII*, red. W. Persson, S. Svanberg (Springer-Verlag, Berlin 1988), s. 64; Y. Shevy, D.S. Weiss, S. Chu, w: *Spin Polarized Systems*, red. S. Stringari (World Scientific, Singapore 1989), s. 287.
- [30] A.L. Migdall, J.V. Prodan, W.D. Phillips, T.H. Bergeman, H.J. Metcalf, *Phys. Rev. Lett.* **54**, 2596 (1985).
- [31] A. Ashkin, J.P. Gordon, *Opt. Lett.* **8**, 511 (1983).
- [32] S. Chu, w: *Laser Manipulations of Atoms and Ions*, Proceedings of the International School of Physics „Enrico Fermi”, course CXVIII, red. E. Arimondo, W.D. Phillips, F. Strumia (North-Holland, Amsterdam 1992), s. 239.
- [33] A. Ashkin, *Opt. Lett.* **9**, 454 (1984).
- [34] S. Chu, J.E. Bjorkholm, A. Ashkin, L. Hollberg, A. Cable, *Methods of Laser Spectroscopy*, red. Y. Prior, A. Ben-Reuven, M. Rosenbluth (Plenum, 1985), s. 41 (te materiały konferencyjne dają obraz naszego sposobu myślenia w grudniu 1985 roku).
- [35] S. Chu, J.E. Bjorkholm, A. Ashkin, A. Cable, *Phys. Rev. Lett.* **57**, 314 (1986).
- [36] A. Ashkin, J.M. Dziedzic, J.E. Bjorkholm, S. Chu, *Opt. Lett.* **11**, 288 (1986).
- [37] D.E. Pritchard, E.L. Raab, V.S. Bagnato, C.E. Wieman, R.N. Watts, *Phys. Rev. Lett.* **57**, 310 (1986).
- [38] E.L. Raab, M. Prentiss, A. Cable, S. Chu, D.E. Pritchard, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 2631 (1987).
- [39] D. Pritchard, W. Ketterle, w: *Laser Manipulations of Atoms and Ions*, Proceedings of the International School of Physics „Enrico Fermi”, course CXVIII, red. E. Arimondo, W.D. Phillips, F. Strumia (North-Holland, Amsterdam 1992), s. 473.
- [40] C. Monroe, W. Swann, H. Robinson, C.E. Wieman, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 1571 (1990).
- [41] K. Gibble, S. Kasapi, S. Chu, *Opt. Lett.* **17**, 526 (1992).

- [42] W. Ketterle, K. Davis, M. Joffe, A. Martin, D. Pritchard, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 2253 (1993).
- [43] H.J. Lee, C.S. Adams, M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **76**, 2658 (1996).
- [44] D. Sesko, C. Fan, C. Weiman, *J. Opt. Soc. Am. B* **5**, 1225 (1988).
- [45] W.D. Phillips, informacja prywatna.
- [46] P. Lett, R.N. Watts, C. Westbrook, W.D. Phillips, *Phys. Rev. Lett.* **61**, 169 (1988).
- [47] P. Gould, P. Lett, W. Phillips, w: *Laser Spectroscopy VIII*, red. W. Person, S. Svanberg (Springer-Verlag, Berlin 1987), s. 64.
- [48] Y. Shevy, D. Weiss, S. Chu, w: *Spin Polarized Quantum Systems*, red. S. Stringari (World Scientific, Singapore 1989).
- [49] S. Chu, w: *The Hydrogen Atom*, red. G.F. Bassani, M. Inguscio, T.W. Hänsch (Springer-Verlag, Berlin 1989), s. 144.
- [50] M.S. Fee, A.P. Mills, S. Chu, E.D. Shaw, K. Danzmann, R.J. Chichester, D.M. Zuckerman, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 1397 (1993); M.S. Fee, S. Chu, A.P. Mills, E.D. Shaw, K. Danzmann, R.J. Chichester, D.M. Zuckerman, *Phys. Rev. A* **48**, 192 (1993).
- [51] S. Chu, A.P. Mills, Jr., A.G. Yodh, K. Nagamine, H. Miyake, T. Kuga, *Phys. Rev. Lett.* **60**, 101 (1988).
- [52] V.G. Minogin, O.T. Serimaa, *Opt. Commun.* **30**, 373 (1979); V.G. Minogin, *Opt. Commun.* **37**, 442 (1981).
- [53] J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, *J. Opt. Soc. Am. B* **2**, 1707, (1985).
- [54] J. Dalibard, C. Solomon, A. Aspect, E. Arimondo, R. Kasier, N. Vansteenkiste, C. Cohen-Tannoudji, w: *Atomic Physics 11*, red. S. Haroche, J.C. Gay, G. Grynberg (World Scientific, Singapore 1989), s. 199.
- [55] S. Chu, D. Weiss, Y. Shevy, P. Ungar, w: *Atomic Physics 11*, red. S. Haroche, J.C. Gay, G. Grynberg (World Scientific, Singapore 1989), s. 636.
- [56] J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, *J. Opt. Soc. Am. B* **6**, 2023 (1989).
- [57] P.J. Ungar, D.S. Weiss, E. Riis, S. Chu, *J. Opt. Soc. Am. B* **6**, 2058 (1989).
- [58] D.S. Weiss, E. Riis, Y. Shevy, P.J. Ungar, S. Chu, *J. Opt. Soc. Am. B* **6**, 2072 (1989).
- [59] Y. Shevy, D.S. Weiss, P.J. Ungar, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **62**, 1118 (1988).
- [60] S-Q. Shang, B. Sheehy, P. van der Straten, H. Metcalf, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 317 (1990).
- [61] H. Dehmelt, *Science* **247**, 539 (1990).
- [62] F. Diedrich, J. C. Berquist, W. Itano, D.J. Wineland, *Phys. Rev. Lett.* **62**, 403 (1989).
- [63] A. Aspect, E. Arimondo, R. Kaiser, N. Vansteenkiste, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **61**, 826, (1988); *J. Opt. Soc. Am. B* **6**, 2112, (1989).
- [64] J. Lawall, S. Kulin, B. Saubamea, N. Bigelow, M. Leduc, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 4194 (1995).
- [65] E. Riis, D.S. Weiss, K.A. Moler, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **64**, 1658 (1990).
- [66] J. Nellessen, J. Werner, W. Ertmer, *Opt. Commun.* **78**, 300 (1990).
- [67] N.F. Ramsey, *Molecular Beams* (Oxford Press, Oxford 1956).
- [68] A. de Marchi, G.D. Rovera, A. Premoli, *Metrologia* **20**, 37 (1984).
- [69] K. Gibble, S. Chu, *Metrologia* **29**, 201 (1992).
- [70] M.A. Kasevich, E. Riis, S. Chu, R.G. DeVoe, *Phys. Rev. Lett.* **63**, 612 (1989).
- [71] D.S. Weiss, E. Riis, M. Kasevich, K.A. Moler, S. Chu, w: *Light Induced Kinetic Effects on Atoms, Ions and Molecules*, red. L. Moi, S. Gozzini, C. Gabbanini, E. Arimondo, F. Strumia (ETS Editrice, Pisa 1991), s. 35.
- [72] A. Clairon, C. Salomon, S. Guellati, W.D. Phillips, *Europhys. Lett.* **16**, 165 (1991).
- [73] K. Gibble, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 1771 (1993).
- [74] S. Ghezali, Ph. Laurent, S.N. Lea, A. Clairon, *Europhys. Lett.* **36**, 25 (1996).
- [75] V.I. Balykin, V.S. Letokhov, Yu.B. Ovchinnikov, A.I. Sidorov, *Phys. Rev. Lett.* **60**, 2137 (1988).
- [76] M.A. Kasevich, D.S. Weiss, S. Chu, *Opt. Lett.* **15**, 667 (1990).
- [77] C.G. Aminoff, A.M. Steane, P. Bouyer, P. Desbiolles, J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 3083 (1993).
- [78] M. Kasevich, D. Weiss, E. Riis, K. Moler, S. Kasapi, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 2297 (1991).
- [79] Ch. Bordé, *Phys. Lett. A* **140**, 10 (1989).
- [80] F. Riehle, Th. Kisters, A. Witte, S. Helmcke, Ch. Bordé, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 177 (1991).
- [81] O. Carnal, J. Mlynek, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 2689 (1991).
- [82] D. Keith, C. Eksstrom, O. Turchette, D. Pritchard, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 2693 (1991).
- [83] M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 181 (1991).
- [84] M. Kasevich, S. Chu, *Appl. Phys. B* **54**, 321 (1992).
- [85] K. Moler, D.S. Weiss, M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. A* **45**, 342 (1991).
- [86] B. Young, M. Kasevich, S. Chu, w: *Atom Interferometry*, red. P. Berman (Academic Press, New York 1997), s. 363.
- [87] A. Peters, K.Y. Chung, B. Young, J. Hensley, S. Chu, *Philos. Trans. R. Soc. London A* **355**, 2223 (1997).
- [88] P. Storey, C. Cohen-Tannoudji, *J. Phys.* **4**, 1999 (1994).
- [89] J. Hensley, A. Peters, S. Chu, przesłane do druku w *Rev. Sci. Instrum.* (1998).
- [90] M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **69**, 1741 (1992).
- [91] N. Davidson, H.J. Lee, M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **72**, 3158 (1994).
- [92] S. Rolston, C. Gerz, K. Helmerson, P.S. Jessen, P.D. Lett, W.D. Phillips, R.J.C. Spreeuw, C.I. Westbrook, *Proc. SPIE* **1726**, 205 (1992).
- [93] J.D. Miller, R. Cline, D. Heinzen, *Phys. Rev. A* **47**, R4567 (1993).

- [94] N. Davidson, H.J. Lee, C.S. Adams, M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 1311 (1995).
- [95] C.S. Adams, H.J. Lee, N. Davidson, M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 3577 (1995).
- [96] H.J. Lee, C.A. Adams, N. Davidson, B. Young, M. Weitz, M. Kasevich, S. Chu, w: *Atomic Physics 14*, red. C. Wieman, D. Wineland (AIP, New York 1995).
- [97] M. Kasevich, H.J. Lee, C.A. Adams, S. Chu, w: *Laser Spectroscopy 12*, red. M. Inguscio, M. Allegrini, A. Sasso (World Scientific, Singapore 1996), s. 13.
- [98] D.M. Stamper-Kurn, M.R. Andrews, A.P. Chikkatur, S. Inouye, H.-J. Meisner, J. Strenger, W. Ketterle, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 2072 (1998).
- [99] H. Feshbach, *Ann. Phys.* **19**, 287 (1962).
- [100] A.J. Moerdijk, B.J. Verhaar, A. Axelsson, *Phys. Rev. A* **51**, 4852 (1995).
- [101] D.S. Weiss, B.C. Young, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 2706 (1993).
- [102] D.S. Weiss, B.C. Young, S. Chu, *Appl. Phys. B* **59**, 217 (1994).
- [103] U. Gaubatz, P. Rudecker, M. Becker, S. Schieman, M. Kültz, K. Bergmann, *Chem. Phys. Lett.* **149**, 463 (1988).
- [104] M. Weitz, B. Young, S. Chu, *Phys. Rev. A* **50**, 2438 (1994).
- [105] P. Marte, P. Zoller, J.L. Hall, *Phys. Rev. A* **44**, R4118 (1991).
- [106] J. Lawall, M. Prentiss, *Phys. Rev. Lett.* **72**, 993 (1994).
- [107] L.S. Goldner, C. Gerz, R.J.C. Spreew, S.L. Rolstom, C.I. Westbrook, W. Phillips, P. Marte, P. Zoller, *Phys. Rev. Lett.* **72**, 997 (1994).
- [108] M. Weitz, B.C. Young, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **73**, 2563 (1994).
- [109] T. Kinoshita, *Rep. Prog. Phys.* **59**, 1459 (1996).
- [110] M.H. Anderson, J.R. Ensher, M.R. Matthews, C.E. Wieman, E.A. Cornell, *Science* **269**, 198 (1995).
- [111] K.B. Davis, M.-O. Mewes, M.R. Anderson, N.J. van Druten, D.S. Durfee, D.M. Kurn, W. Ketterle, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 3969 (1995).
- [112] C.C. Bradley, C.A. Sackett, R.G. Hulet, *Phys. Rev. Lett.* **78**, 985 (1997).
- [113] A. Ashkin, J.M. Dziedzic, *Science* **235**, 1517 (1987).
- [114] A. Ashkin, J.M. Dziedzic, T. Yamane, *Nature* **330**, 769 (1987).
- [115] A. Ashkin, J.M. Dziedzic, *Science* **253**, 1517 (1987); *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **86**, 7914 (1989).
- [116] S. Block, D.F. Blair, H.C. Berg, *Nature* **338**, 514 (1989).
- [117] Y. Tadir, W. Wright, O. Vafa, T. Ord, R. Asch, M. Burns, *Fertil. Steril.* **52**, 870 (1989).
- [118] S. Block, L. Goldstein, B. Schnapp, *Nature* **348**, 348 (1990); K. Svoboda, S. Block, *Cell* **77**, 773 (1994) oraz odnośniki w tych pracach.
- [119] J.T. Finer, R.M. Simmons, J.A. Spudich, *Nature* **368**, 113 (1994).
- [120] H.M. Warrick, R.M. Simmons, J.F. Finer, T.Q.P. Uyeda, S. Chu, J.A. Spudich, w: *Methods in Cell Biology*, t. 39 (Academic Press, New York 1993), rozdz. 1, s. 1; R.M. Simmons, J.T. Finer, S. Chu, J.A. Spudich, *Biophys. J.* **70**, 1813 (1996).
- [121] S. Chu, S. Kron, *Int. Quantum Electronics Conf. Tech. Digest* (Optical Soc. of Am., Washington DC 1990), s. 202; M. Kasevich, K. Moler, E. Riis, E. Sunderman, D. Weiss, S. Chu, w: *Atomic Physics 12*, red. J.C. Zorn, R.R. Lewis (AIP, New York 1990), s. 47.
- [122] S. Chu, *Science* **253**, 861 (1991).
- [123] A. Ashkin, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **94**, 4853 (1997).
- [124] S. Chu, *Science* **253**, 861 (1991).
- [125] T.T. Perkins, D.E. Smith, S. Chu, *Science* **264**, 819 (1994).
- [126] T.T. Perkins, S.R. Quake, D.E. Smith, S. Chu, *Science* **264**, 822 (1994).
- [127] T.T. Perkins, D.E. Smith, R.G. Larson, S. Chu, *Science* **268**, 83 (1994).
- [128] D.E. Smith, T.T. Perkins, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 4146 (1995).
- [129] D.E. Smith, T.T. Perkins, S. Chu, *Macromolecules* **29**, 1372 (1996).
- [130] S.R. Quake, S. Chu, *Nature* **388**, 151 (1997).

Quo vadis, metrologio?*

Dieter Kind

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Niemcy

Terry Quinn

Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, Francja

Metrology: quo vadis?

Abstract: Nowadays the standard volt and the standard ohm are linked to exotic quantum phenomena. But the standard kilogram is still just a hunk of platinum in a basement outside Paris.

1. Wstęp

Metrologia – nauka o mierzeniu – ma coraz większy udział w infrastrukturze technicznej uprzemysłowionego świata. Niemal wszystkie rodzaje działalności ludzkiej wymagają przeprowadzania pomiarów. Grają one podstawową rolę np. w przetwórstwie przemysłowym. Handel międzynarodowy wymaga dokładnych, ogólnie przyjętych wzorców miar. To samo dotyczy transportu, nawigacji, czy łączności. Zdrowie i bezpieczeństwo zależą od stosowania dokładnych miar w diagnostyce i leczeniu, produkcji żywności i ochronie konsumentów.

Globalne prognozy ewolucji klimatu i ochrona środowiska wymagają dokładnych i wiarygodnych pomiarów, prowadzonych przez długie okresy czasu. Natomiast na podstawowych teoriach fizyki można polegać tylko w takim zakresie, w jakim ich przewidywania dają się ilościowo sprawdzić. Wymaga to często pomiarów o najwyższej dokładności.

Wspólną cechą tych wszystkich przykładów jest potrzeba dokładności pomiarów na pozio-

mie odpowiednim do danego zastosowania. Dokładność pomiaru oznacza stopień zgodności jego wyniku z prawdziwą wartością mierzonej wielkości [2]. „Dokładny pomiar” to taki, który poprawnie oddaje rzeczywistą wartość na poziomie współmiernym z zadeklarowaną niepewnością. Wynik musi oczywiście być podany w stabilnych, uniwersalnych jednostkach wraz z oszacowaną niepewnością.

Błędy pomiarowe mogą mieć poważne konsekwencje. Na przykład błąd w pomiarze tempa podawania dawki w terapii radiacyjnej może prowadzić do śmierci pacjenta, gdy dawkowanie jest zbyt duże lub zbyt małe. Pewien poziom błędu jest nieunikniony, ale dzięki dobrej wprawie pomiarowej użytkownik może ufać, że wyniki odpowiadają postawionemu celowi.

2. Konwencja Metryczna

Współczesna metrologia zaczęła powstawać wraz z rozwojem międzynarodowego handlu towarami przemysłowymi w połowie XIX w. Po-

* Artykuł ten jest zmienioną wersją pracy [1]. Ukazał się w *Physics Today* 51, nr 8, cz. 2, BG15 (1998) i został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission. Copyright ©1998 by American Institute of Physics] (przyp. Red.).

trzeba ogólnoświatowego uzgodnienia jednostek miar sprawiła, że 17 państw podpisało w 1875 r. Konwencję Metryczną. Obecnie ma ona 48 sygnatariuszy, w tym główne kraje uprzemysłowione.

Konwencja Metryczna stanowi podstawę międzynarodowych porozumień w sprawach związanych z metrologią i jednostkami miar. Dzięki niej powstało Międzynarodowe Biuro Wag i Miar (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) w Sèvres pod Paryżem – laboratorium poświęcone przede wszystkim pomiarom fizycznym. Złożono w nim wówczas nowe, międzynarodowe prototypy metra i kilograma [3].

Wkrótce po powstaniu BIPM-u kraje o najbardziej rozwiniętym wówczas przemyśle i handlu założyły swoje własne narodowe laboratoria wzorców. I tak np. w 1887 r. w Berlinie powstał Państwowy Instytut Fizyki i Techniki (Physikalisch-Technische Reichsanstalt), przemianowany w 1950 r. na Federalny Instytut Fizyki i Techniki (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB); Państwowe Laboratorium Fizyczne (National Physical Laboratory, NPL) w Teddington pod Londynem powstało w 1900 r., a Biuro Wzorców (Bureau of Standards) w Waszyngtonie – w 1901 r. (obecna nazwa: Państwowy Instytut Wzorców i Techniki, National Institute of Standards and Technology, NIST)¹.

Obecnie wszystkie kraje uprzemysłowione mają swoje państwowe instytuty metrologii (PIM). Wraz z Międzynarodowym Biurem Wag i Miar współtworzą one światowy system pomiarów, którego podstawą jest Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (Système International d'Unités), powszechnie nazywany układem SI. Główne instytuty państwowe na świecie wiążą sieć porównań wzorców jednostek, tzw. porównań kluczowych, pokrywających wszystkie główne obszary metrologii. Działalność metrologiczna odbywa się też pod auspicjami regionalnych grup PIM-ów, jak np. NORAMET w północnej i środkowej Ameryce, EUROMET w Europie, czy APMP (Program Metrologiczny Azja-Pacyfik) w Azji i na obrzeżu Pacyfiku.

Poza państwowymi instytutami metrologicznymi większość krajów utrzymuje rozbudowane służby kalibracji (wzorcowania) i akredytacji,

a także prowadzi tradycyjną działalność legalizacji i weryfikacji metrologicznej dla potrzeb handlu detalicznego, jak również pomiary bezpośrednio służące użytkownikom. Potrzeba zburzenia tzw. barier technicznych w handlu spowodowała zawieranie porozumień między państwami i grupami regionalnymi o wzajemnym uznawaniu kalibracji, sprawdzianów i akredytacji.

W każdym kraju służby metrologiczne kalibracji, sprawdzianów i legalizacji otrzymują wzorce pomiarowe ze swoich PIM-ów. Istnieje więc teraz potrzeba zawarcia odpowiedniego porozumienia między instytutami państwowymi o wzajemnym uznaniu wzorców jednostek miar i procedur kalibracyjnych. Wstępny szkic takiego porozumienia został nakreślony w lutym 1998 r. w Sèvres na spotkaniu dyrektorów PIM-ów z 38 krajów członkowskich Konwencji Metrycznej. Międzynarodową koordynacją służb akredytacyjnych zajmuje się Międzynarodowy Zespół ds. Akredytacji Laboratoriów (International Laboratory Accreditation Cooperation). Międzynarodowymi aspektami weryfikacji prawnej ma zajmować się Międzynarodowa Organizacja Metrologii Prawnej (International Organization for Legal Metrology).

Takie porozumienia powinny doprowadzić do stworzenia struktury, dzięki której pomiary wykonane w jednym miejscu będą mogły być powtórzone w innym. Ideę tę oddaje sformułowanie „spójność pomiarowa”.

3. Cui bono?

Komu mają służyć te wszystkie działania organizacji metrologicznych? Pozostają one na pewno daleko poza polem widzenia szerokiej publiczności. Nie wtajemniczeni mogliby na przykład całkiem rozsądnie zapytać: — Czyż wszystkie problemy jednostek nie zostały już dawno rozwiązane? Dlaczego istnieje wciąż potrzeba coraz dokładniejszych pomiarów?

Dodajmy, że na papierze wszystko już jest skodyfikowane [4]. Definicje podstawowych i pochodnych jednostek SI wiele się nie zmieniają, a PIM-y zdobyły już doświadczenie potrzebne do realizacji praktycznych. Jednakże w przypadku

¹ W Polsce utworzono w 1919 r. Główny Urząd Miar; do międzynarodowej Konwencji Metrycznej nasz kraj przystąpił w 1925 r. W 1972 r. zmieniono nazwę urzędu na Polski Komitet Normalizacji i Miar, od 1993 r. powrócono do nazwy Główny Urząd Miar – GUM (przyp. Red.).

zaawansowanych technologii, stawiających najwyższe wymagania, oraz pomiarów naukowych o wysokiej precyzji nawet one mają trudności z „realizacją”, czyli praktyczną aktualizacją abstrakcyjnych definicji jednostek SI i utrzymywaniem ich na wymaganym poziomie dokładności.

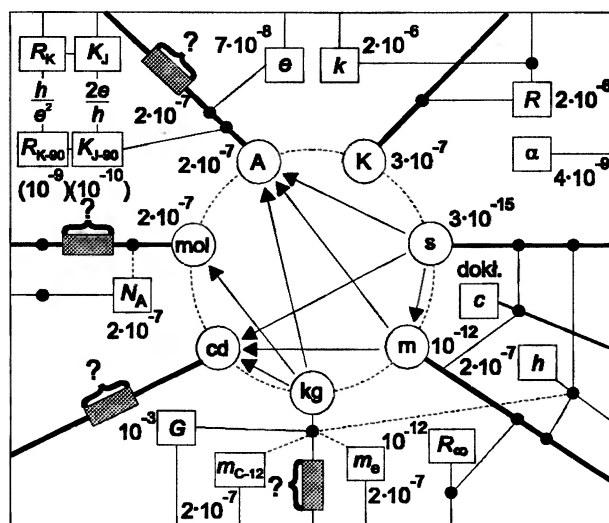
Doskonałym przykładem jest inżynieria ogólna. W ciągu ostatnich 30 lat dopuszczalne tolerancje produkcyjne zmniejszały się w każdej dekadzie o czynnik 3 i są nadal zaostrzane. W niektórych przypadkach wymagane tolerancje osiągnęły granice aktualnych możliwości. Teraz współzawodnictwo o lepszą jakość i wydajność jest już bezpośrednio związane z polepszaniem wzorców pomiarowych.

Realizacja wzorców spełniających te wysokie wymagania stanowi poważny problem. Nie jest to tylko ćwiczenie na papierze. Wytworzonych wzorców nie można po prostu schować do szafy, by je wyciągać wtedy, gdy są znowu potrzebne. Obecnie używane wzorce praktyczne nie są na ogół stabilne z wymaganą dokładnością. Trzeba je regularnie kalibrować względem wzorców państwowych, które z kolei okresowo się sprawdza przez porównanie z realizacjami podstawowych jednostek SI, wykorzystując najnowsze osiągnięcia fizyki. Każdy PIM musi uczestniczyć w ogólnosiwiatowych programach kalibracyjnych, sprawdzających, czy jego własne realizacje jednostek SI wytrzymują porównanie z realizacjami wykonanymi gdzie indziej.

Szczególną wagę przykładają się do dokładności. Choć można sobie wyobrazić sytuację, w której nie jest ważne, aby pomiary były w jakimkolwiek sensie bezwzględne lub powiązane z innym niż lokalny układem jednostek, to jednak wytwórcy nie działają w izolacji. Aby upewnić się, że dany pomiar jest zgodny z innym, wykonanym gdzie indziej, w innym czasie lub w innej gałęzi nauki, trzeba go koniecznie powiązać ze światowym układem jednostek, który nie zmienia się z upływem czasu i może być stosowany we wszystkich dziedzinach nauki.

Wymagania niezmienności w czasie i uniwersalnej stosowalności zmuszają nas do oparcia jednostek na stałych atomowych, czyli fundamentalnych, a nie na wytworach ludzkiej ręki. Na rysunku 1 pokazane są niektóre – bynajmniej nie wszystkie – powiązania między podstawowymi

jednostkami SI i fundamentalnymi stałymi fizycznymi.



Rys. 1. Związki podstawowych jednostek układu SI (kilogram, metr, sekunda, kelwin, amper, mol i kandela) ze stałymi fundamentalnymi i atomowymi [1]. Rozmieszczone na zewnątrz koła prostokąty, linie i niepewności względne reprezentują świat rzeczywisty. Znaki zapytania przy połączeniach z otoczeniem symbolizują niepewność długookresowej stałości sztucznego wzorca kilograma. Na przykład, definicja ampera zawiera kilogram, ale wartość ampera jest też związana ze stałą Josephsona K_{J-90} i stałą von Klitzinga R_{K-90} . Oba tym wielkościom przypisano w 1990 r. umownie przyjęte stałe wartości [2] (por. też rys. 2).

Stabilność wzorców pomiarowych jest oczywistym wymogiem przy badaniach klimatu świata. Poszukuje się tu małych, zachodzących w ciągu dziesiątków lat, zmian takich parametrów, jak napromieniowanie słoneczne, koncentracja ozonu w górnych warstwach atmosfery, temperatura morza i powietrza oraz stężenie CO_2 w atmosferze. Aby porównania pomiarów którejkolwiek z tych wielkości były wiarygodne, wyniki pomiarów wykonanych na początku i na końcu długich okresów monitorowania muszą być wyrażone w dokładnie w tych samych jednostkach, a ich niepewności muszą być znacznie mniejsze od badanych zmian. Takiej jednorodności nie osiągnięto jeszcze na przykład w pomiarach napromieniowania słonecznego [5].

4. Dlaczego aż tyle?

Dlaczego – uznając potrzebę stabilnych i precyzyjnie ustalonych wzorców jednostek – uwa-

żamy, że nie wystarczyłyby dla całego świata jeden instytut wzorców? Inaczej mówiąc, dlaczego nie możemy przynajmniej tak rozdzielić zadań, aby każdą jednostką miar zajmował się tylko jeden duży instytut? Zaczniemy od odpowiedzi na pierwsze z tych dwóch związanych ze sobą pytań. Praktyczna realizacja jednostek miar według ich definicji jest zadaniem trudnym i czasochłonnym, przeprowadzanym na granicy możliwości nauki. Wyniki można zweryfikować jedynie przez porównanie z rezultatami podobnych realizacji, przeprowadzonych niezależnie przez innych badaczy w innych miejscach. Jeśli w granicach oszacowanych niepewności pomiarów zostanie osiągnięta zgodność, to można ufać, że nasz układ pomiarowy jest naprawdę stabilny i właściwie powiązany ze stałymi fizycznymi. Aby utrzymywać światowy system pomiarowy, musimy więc polegać na tych nielicznych państwowych instytutach metrologicznych, które są zdolne przeprowadzać fundamentalne realizacje podstawowych jednostek miar SI.

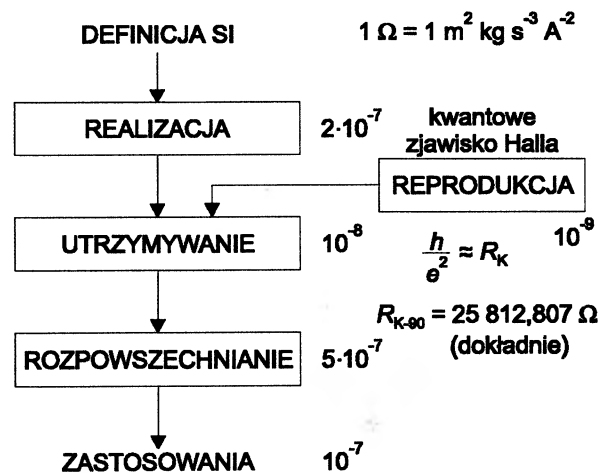
Jeśli chodzi o drugie pytanie, to podział zadań pomiędzy różne PIM-y, tak aby jeden zajmował się masą, inny wzorcami elektrycznymi, a jeszcze inny radiometrią, byłby rozwiązaniem nieskutecznym i technicznie wątpliwym. Realizacja jednostek miar SI na coraz wyższym poziomie dokładności wymaga niezależnego, światłego i twórczego krytycyzmu, tak aby światowy system pomiarowy był stabilny, zarówno po to, by mógł przetrzymać zdarzające się czasem niepowodzenia, jak i po to, by zapewnić odpowiednią obfitość danych do analizy statystycznej. Taka realizacja wymaga też wiedzy i doświadczenia w znacznie więcej niż jednej dziedzinie nauki. Rysunek 1 pokazuje, jak ściśle podstawowe jednostki miar SI są powiązane ze stałymi fizycznymi. Wzajemny przepływ idei i doświadczeń między różnymi dziedzinami nauki, który zachodzi teraz w największych państwowych instytutach metrologii, jest istotnym składnikiem ich bazy naukowej. Ten stan rzeczy należy utrzymać.

5. Quo vadis?

Dokąd zmierzasz, metrologio? Jest mało prawdopodobne, aby w układzie SI nastąpiły jakieś znaczące zmiany, z wyjątkiem wynikających z postępu nauki zmian w definicjach podstawowych jednostek lub w metodach ich realizacji.

Następną jednostką podstawową układu SI, której definicję trzeba będzie najprawdopodobniej zmienić, jest kilogram, ostatnia jednostka miar zdefiniowana za pomocą wytworu rąk ludzkich. Jej obecna definicja będzie musiała ustąpić definicji opartej na stałych atomowych, czyli fundamentalnych. Będzie to ważny krok, który połączy ostatecznie zbiór wszystkich podstawowych jednostek SI z niezmiennymi stałymi przyrody.

Nadal będą trwały prace, mające bardziej bezpośredni, praktyczny cel, nad doświadczeniami prowadzącymi do nowych „reprodukcji” jednostek. Reprodukcją nazywamy tu realizację wielkości fizycznych związanych z fundamentalnymi stałymi atomowymi. Nie są to jednak bezpośrednie realizacje jednostek podstawowych. Przykładem niech będą reprodukcje volta i oma, wykorzystujące odpowiednio zjawisko Josephsona i kwantowe zjawisko Halla (rys. 2). Wielkości, reprodukowane poprzez stałe atomowe, łączą z jednostkami SI oddzielne doświadczenia, nie należące do realizacji jednostek.



Rys. 2. Reprodukacja oma SI poprzez kwantowe zjawisko Halla. Jest ona możliwa dzięki przypisaniu kwantowi oporu wartości dokładnie równej h/e^2 . W 1990 r. przyjęto umowę, że wartość ta, nazwana stałą von Klitzinga R_{K-90} , wynosi $25\,812,807 \Omega$ (wg [1]).

Takie powiązania mają ogromne znaczenie. Istnieje wiele związków między stałymi atomowymi a jednostkami fizycznymi. Dzięki temu można sprawdzać zgodność teorii z doświadczeniem, porównując wartości stałych fizycznych wyznaczone przez różne kombinacje jednostek SI, a także wartości tych jednostek jako kombinacji stałych fizycznych. Takie porównania są po-

tężnym narzędziem, za pomocą którego można potwierdzić nowe przewidywania i zweryfikować spójność teorii, na której są oparte. Znaczenie tych związków rozciąga się daleko poza metrologię. Nawał codziennych obowiązków nie powinien więc powstrzymywać naukowców z PIM-ów od poświęcenia choćby skromnej części swych możliwości na przeprowadzanie takich fundamentalnych doświadczeń.

Poza pracami nad jednostkami SI i stałymi fundamentalnymi PIM-y poprzez swoje służby kalibracji i legalizacji przyczyniają się do osiągnięcia krajowej oraz światowej jednorodności i dostępności wyników pomiarowych.

Nie zanoszi się, aby zanikła potrzeba poprawiania dokładności pomiarów. Aktualny przykład: badania uhonorowane Nagrodą Nobla z fizyki w 1997 r. dają nadzieję na polepszenie dokładności zegarów, a więc poprawę realizacji sekundy, wynikającą z naszych nowych możliwości wykorzystania zimnych atomów. Prawdopodobnie doprowadzi to do co najmniej 10-krotnego polepszenia dokładności pierwotnych wzorców częstości. To z kolei będzie wykorzystane do poprawienia dokładności satelitarnych systemów nawigacji, których skuteczność bezpośrednio zależy od dokładności zegarów.

6. Inne dziedziny nauki

Obszarem działania metrologii, w który należałoby włożyć jeszcze wiele wysiłku, jest chemia. W ścisłej współpracy ze społecznością chemików PIM-y usiłują osiągnąć światowe porozumienie co do pomiarów analitycznych, na wzór umowy dotyczącej spraw pomiarów fizycznych. Nie należy przypuszczać, aby spowodowało to jakiegokolwiek zmiany w podstawowych jednostkach SI, stanowiłoby jednak znaczne rozszerzenie działalności większości PIM-ów oraz BIPM-u, odzwierciedlające wagę tego problemu.

Z metrologią w chemii związany jest problem pomiarów w układach biologicznych, szczególnie w ciele ludzkim. Rozwój światowego handlu aparaturą medyczną i większa świadomość ekonomicznego znaczenia pomiarów w medycynie będą prowadzić do nowych wymagań co do ogólnoświatowej jednorodności, zmierzających do zwiększenia zaufania do takich pomiarów.

Konwencja Metryczna ma już ponad 120 lat. Pod jej patronatem następował rozwój, już dziś uwieńczony znacznym powodzeniem, światowego systemu pomiarowego. Ponad 100 laboratoriów, instytucji, obserwatoriów i organizacji na całym świecie uczestniczy w sieci BIPM-u, utrzymującej ten system. Dokąd więc, jak spytaliśmy w tytule tego artykułu, zmierza metrologia? Ponieważ świat będzie coraz bardziej potrzebował wiarygodnych, coraz dokładniejszych pomiarów, metrologia musi odpowiedzieć krótko: dokładność to nasz jedyny cel!

Tłumaczyła *Barbara Wojtowicz*
Warszawa

Literatura

- [1] D. Kind, T.J. Quinn, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **44**, 85 (1995).
- [2] *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology* (ISO, Geneva 1993).
- [3] Bureau International des Poids et Mesures, *The BIPM and the Convention of the Metre* (BIPM, Sèvres 1997), także strona BIPM w Internecie: www.bipm.fr.
- [4] Bureau International des Poids et Mesures, *The International System of Units, SI*, wyd. 7 (BIPM, Sèvres 1998).
- [5] National Research Council, *Solar Influences on Global Change* (National Academy P., Washington, DC 1994).
- [6] T.J. Quinn, *Metrologia* **31**, 515 (1994/5).

Seminaria z fizyki teoretycznej Wrocław–Lipsk (1973–88). Sympozja Maksa Borna (1991–)*

Zygmunt Galasiewicz

Instytut Fizyki Politechniki Wrocławskiej

The Wrocław–Leipzig Seminars on Theoretical Physics (1973–88) and Max Born Symposia (1991–)

Na początku lat siedemdziesiątych prof. Jan Łopuszański, ówczesny dyrektor Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego, nawiązał współpracę naukową z A. Uhlmanem i E. Schmutzerem, profesorami Uniwersytetu w Lipsku. Na wspólnym spotkaniu w 1972 r. powstała idea oparcia kontaktów obu ośrodków na systematycznych spotkaniach – Seminariach Fizyki Teoretycznej. Pierwsze seminarium zorganizowano w 1973 r. we Wrocławiu. W ciągu roku odbywały się dwa seminaria. W maju grupa 10–15 osób przyjeżdżała do Lipska z Wrocławia, a w październiku-listopadzie z Lipska do Wrocławia. Teoretykom z Lipska towarzyszyło często kilku kolegów z Uniwersytetu w Dreźnie. Wśród nich pojawiła się osoba, która uciekła z Uniwersytetu w Karlsruhe, skąd przesyłała „na wschód” informacje wagi państwowej. Została za to uhonorowana profesurą w Dreźnie. Często uczestnikami Seminariów było kilku fizyków z Pragi i Brna oraz zawsze aktualnie przebywający goście zagraniczni Instytutu.

W 1984 r. odnotowano, że spotkanie we Wrocławiu miało charakter bardziej uroczysty, bo ob-

chodziliśmy 25-lecie naszego Instytutu. Dobrej współpracy z teoretykami z Lipska sprzyjały częste spotkania z nimi w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ) w Dubnej pod Moskwą. Nasz Instytut miał dobre kontakty naukowe z ZIBJ, a dla naszych sąsiadów zachodnich były to niemal jedyne wyjazdy „zagraniczne”, uzupełniane wyjazdami do Wrocławia. Poznając ich kłopoty dowiedzieliśmy się, że jeśli ktoś miał bliską rodzinę w zachodniej części Niemiec i próbował nawiązać z nią kontakty, to często otrzymywał odmowę zezwolenia na wyjazd nawet do Wrocławia.

Organizowaniem Seminariów we Wrocławiu zajmował się z wielkim zaangażowaniem dr hab. Zbigniew Oziewicz. Wrocławianie mieszkali w Lipsku zwykle w bardzo porządnym Domu Studenckim „Jennie Marx Heim”. Ówczesni decydenci żywili tyle miłości do ojca Jennie (Karola Marksa), że część jej mogli przenieść na córkę. Tej miłości było też wiele u pewnego profesora, który – jak nas poinformowano – oświadczył studentom, że jeśli stwierdzi, że któryś z nich nie był na pochodzie pierwszomajowym, to nie ma po co przychodzić do niego na egzamin.

*Wspomnienie, zamieszczone pierwotnie w *Biuletynie Informacyjnym Fizyków Wrocławskich*, nr 34 (1998) (przypr. Red.).

Jeśli chodzi o spotkania towarzyskie w Lipsku, to najmilej wspominam te w „Auerbachskeller” – piwnicy, w której Goethe napisał fragmenty *Fausta*, oraz Klosterkeller „Paulaner” z tradycją dobrych win. W Thomas-Kirche, gdzie Jan Sebastian Bach był do samej śmierci organistą-kantorem, organizowano stale koncerty muzyki sakralnej. Można było trafić na bardzo renomowane zespoły.

W roku 1988 odbyło się we Wrocławiu ostatnie, 32. Seminarium. Okazało się, że po przemianach, które nastąpiły, wrocławianie byliby w stanie znaleźć fundusze na kontynuowanie Seminarium, ale współpartner popadł w kłopoty finansowe, związane też pewnie z wstrząsami reorganizacyjnymi. Przeszłość została tam personalnie osądzona z urzędu i o pewnych profesorach (np. wspomnianych powyżej) słuch zaginął. Droga do tego była trudna. Protesty nasilały się. Raz np. będąc w Lipsku przez kilka godzin nie mogliśmy dostać się do Domu Studenckiego, bo policja z psami otoczyła demonstrantów domagających się wolnych wyborów, blokując szereg ulic. Miejscem spotkań opozycji był kościół (Nikolai-Kirche) położony blisko Uniwersytetu.

Warto podkreślić, że wiele kontaktów naukowych, a szczególnie przyjaźni zawartych w latach 1973–88, przetrwało do dziś. Próby wznowienia Seminarium nie ustawały. Ostatecznie zmaterializowało się zaproponowane przez prof. Jerzego Lukierskiego organizowanie przez nasz Instytut Sympozjów im. Maksa Borna. Trwają one 3–4 dni. Często organizowane są dwa razy w roku, aby jedno było poświęcone „teorii fazy skondensowanej”, a drugie „problemom teorii pola lub fizyki matematycznej”. Udział biorą najlepsi specjaliści w skali międzynarodowej.

Maks Born urodził się we Wrocławiu w roku 1882, a zmarł w Getyndze w 1970. Studiował na Uniwersytecie we Wrocławiu w latach 1901–02. W 1954 r. został uhonorowany Nagrodą Nobla „za badania podstawowe dotyczące mechaniki kwantowej...”. W Niemczech imieniem Borna nazwano dwie Szkoły i ustanowiono (wspólnie z brytyjskim Instytutem Fizyki) Medal Maksa Borna za osiągnięcia w dziedzinie fizyki.

Dzięki staraniom pracowników naszego Instytutu jego gmach znajduje się teraz przy placu Maksa Borna (dawniej Dąbrowszczaków). Tak więc łącznie z organizowanym tu Sympozjum

Maksa Borna został on uhonorowany we Wrocławiu może bardziej niż w Niemczech.

Organizując w 1993 r. IV Sympozjum chciałem zgromadzić na nim możliwie największą grupę uczniów Borna. Aby do nich dotrzeć, korespondencja była długa i bardzo żmudna. Aktywni jeszcze naukowo profesorowie: R. Peierls (Oxford), W. Ludwig (Münster), C. Domb (Ramat-Gan) nie mogli przyjechać z powodu innych, wcześniejszych ustaleń. Jednakże podkreślali wręcz poczucie winy z tego powodu. Profesor Noel K. Pope (Kingston, Kanada) i N. Kemmer (Edynburg) nie mogli przyjechać z powodu bardzo podeszłego wieku i złego stanu zdrowia. Profesor Kemmer przesłał mi książeczkę (współautor: R. Schlapp) *Max Born 1883 – 1970* wydaną w „Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society” (1971), która była podstawą mojego referatu o Bornie na IV Sympozjum. Ostatecznie referaty zgłosili profesorowie: W. Cochran (Edynburg) i W. Brenig (Garching). Przed samym Sympozjum zachorował ciężko prof. Cochran (który przy okazji planował z żoną wycieczkę po Polsce), tak że jedynym uczniem Maksa Borna na Sympozjum był prof. W. Brenig. Okazało się, że na realizowanie idei spotkania z malejącą wciąż grupą uczniów Borna było zbyt późno. Poniesiony trud zaowocował nieoczekiwanie obszerną korespondencją zawierającą osobiste wspomnienia, które na pewno wnoszą nowe szczegóły do biografii Borna.

Jednak wyjątkowy sukces w tym zakresie osiągnął organizator VI Sympozjum, dr hab. Janusz Jędrzejewski. Zaproszony na wykładowcę prof. N.W. Ashcroft (Cornell Univ.) określił się jako „naukowy wnuk” Borna i podał adres swojego nauczyciela, a jednocześnie ucznia Borna, D.J. Hutoona, profesora emerytowanego Uniwersytetu w Auckland (Nowa Zelandia). Profesor Hutoon zaakceptował wstępnie zaproszenie na VI Sympozjum, ale perspektywa długiej podróży i zły stan zdrowia sprawiły, że ostatecznie zrezygnował. Chcąc jednak podkreślić, jak wysoko ocenia wrocławską inicjatywę uhonorowania jego Mistrza organizowaniem Sympozjów, przekazał na ręce Jędrzejewskiego 5 zeszytów zawierających notatki Borna. Były to zarówno teksty jego wykładów, jak i notatki z wykładów, których był słuchaczem i które uznał za szczególnie interesujące (np. wykład C. Schwarzschilda). Zeszyty te

zostały przekazane Bibliotece Uniwersytetu Wrocławskiego. Jeden z nich jest przygotowany do druku.

Ponadto prof. Hutoon podarował trudno teraz osiągalne książki autorstwa Borna, wydane w okresie II wojny światowej, oraz obszerną korespondencję, którą z nim prowadził.

Wspominam tu IV i VI Sympozjum, a odbyło się już Sympozjum XI pt. „Anomalous Diffusion: from Basis to Applications”, zorganizowane przez prof. Andrzeja Pękalskiego (UWr) i dra hab. Ryszarda Kutnera (UW) w Łądku Zdroju, w dniach 20–24 maja 1998 r. [a także Sympozjum XII – por. sprawozdania Andrzeja Pękalskiego (*PF* z. 1/99, s. 43) oraz Bernarda Jancewicza (w tym zeszycie, s. 153) – Red.].

Po raz pierwszy w historii Sympozjów wykładowcą był laureat Nagrody Nobla, Pierre Gilles de Gennes, który został nagrodzony w 1991 r. za badania zjawisk uporządkowania, szczególnie w ciekłych kryształach i polimerach.

Lista Sympozjów Maksa Borna

1. „Grupy kwantowe”, dyr. J. Lukierski, 27–29 września 1991 r.;
2. „Spinory, twistory, algebry Clifforda i deformacje kwantowe”, dyr. Z. Oziewicz, 24–27 września 1992 r.;
3. „Stochastyczność i chaos kwantowy”, dyr. Z. Haba, 15–17 września 1993 r.;
4. „Ciało stałe”, dyr. Z. Galasiewicz, 28–30 września 1993 r.;
5. „Procesy dyfuzji – doświadczenie, teoria, symulacje”, dyr. A. Pękalski i J. Sznajd (INTiBS PAN), 1–4 czerwca 1994 r.;
6. „Natura stanu krystalicznego”, dyr. J. Jędrzejewski, 21–24 września 1995 r.;
7. „Zjawiska krytyczne w silnie oddziałującej materii”, dyr. K. Redlich i L. Turko, 13–15 października 1995 r.;
8. nie odbyło się;
9. „Nowe symetrie w teoriach oddziaływań fundamentalnych”, dyr. Z. Hasiewicz, J. Lukierski, Z. Popowicz i M. Mozrzyk, 24–28 września 1996 r.;
10. „Kwantowa przyszłość”, dyr. A. Jadczyk, 24–27 września 1997 r.;
11. „Anomalna dyfuzja – od teorii do zastosowań”, dyr. A. Pękalski i R. Kutner (IFD UW), 20–24 maja 1998 r.;
12. „Fizyka teoretyczna – fin de siècle”, dyr. W. Karwowski, 23–26 września 1998 r.

W Duisburgu o przyszłości nauczania fizyki

Henryk Z. Wrembel

Instytut Fizyki, Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Słupsk

In Duisburg on the future of physics education

Fizykę generalnie traktuje się jako podstawową dyscyplinę naukową, której jednym z ważniejszych zadań jest rozwój badań podstawowych (również w dziedzinach pokrewnych), inspirowanie działalności odkrywczej, kreowanie postępu technicznego, a także inicjowanie i rozwój nowoczesnych technologii i metod wytwórczych. Panuje też powszechne przekonanie, że fizycy z ogromną łatwością – nie spotykana w jakiegokolwiek innej grupie zawodowej – adaptują się do nowych warunków pracy i są zdolni do podejmowania nowych zadań oraz do wdrażania innowacyjnych rozwiązań. Świadczy o tym chociażby to, że przedstawiciele tej dyscypliny naukowej, jak żadnej innej, zdobywali Nagrody Nobla w niemal wszystkich dziedzinach, w których jest ona nadawana. Toteż członkowie gremiów kierowniczych, politycy i teoretycy nauki świadomi są tego, że jest to uniwersalna dziedzina działalności ludzkiej, stanowiąca pomost między różnymi obszarami nauki, techniki i działalności gospodarczej. W dodatku, jak żadna inna dziedzina, przyczynia się do kształtowania naukowego podejścia do otaczającej rzeczywistości. Niestety, w powszechnym odczuciu jest trudnym i nieciekawym przedmiotem szkolnym. Percepcję jej komplikuje wysoki stopień zmatematyzowania, a także skomplikowana technika eksperymentu fizycznego. Niemniej komisje rekrutacyjne na studia wyższe, a także szefowie działów kadr skwapliwie sprawdzają oceny na świadectwie maturalnym z tego przedmiotu.

Świadomość wagi fizyki występuje szczególnie wyraziście w krajach postindustrialnych, o wysokiej cywilizacji technicznej. Dzięki temu jest tam dużo chętnych do studiowania tej dyscypliny naukowej. W przodujących krajach Zachodniej Europy studenci fizyki stanowią 2–4% ogółu studiujących, co plasuje ich na 4–6 pozycji. I tak np. na ok. 2 miliony studentów w RFN prawie 45 tys. studiuje fizykę. W Wielkiej Brytanii, Francji, Japonii rzecz ma się podobnie, analogicznie jest też w USA. Mężowie stanu (którzy zastanawiają się nad skutkami dzisiejszych poczynań za lat dwadzieścia), a nawet politycy (których działania mają na celu „przetrwanie do jutra”), filozofowie nauki i techniki, teoretycy kształcenia, organizatorzy oświaty oraz nauczyciele zdają sobie też sprawę z tego, że przyszły postęp, rozwój nowoczesnych technik i technologii ma swój początek w dzisiejszych ławach szkolnych. Dlatego nauczanie fizyki, podawane w ramach tego przedmiotu treści naukowe i stosowane metody wzbudzają żywe zainteresowanie szerokich kręgów społeczeństwa. Stąd tak wiele uwagi poświęca się tendencjom rozwojowym nauczania fizyki – zarówno pod względem eksponowanych treści, jak również stosowanych metod i technik nauczania.

Wychodząc naprzeciw tym potrzebom, zorganizowano w dniach 20–21 sierpnia 1998 r. w Duisburgu (Północna Nadrenia-Westfalia – NRW) międzynarodowe sympozjum pod tytułem: „Future of Physics Education – Physics and Techno-

logy in General Education: Northrhein-Westfalia in Comparison with USA and Japan”. Organizatorami sympozjum były ośrodki naukowe trzech uczestniczących krajów, wymienionych w jego tytule. Sprawy organizacyjne powierzono prężnie działającemu Uniwersytetowi Gerharda Mercatora w Duisburgu – w szczególności Katedrze Dydaktyki Fizyki. Komitetowi naukowemu i organizacyjnemu przewodniczył prof. Gernot Born, były rektor tego Uniwersytetu – niezmiernie dynamiczny i powszechnie znany działacz i organizator nauki w NRW.

Na program sympozjum złożyły się: sesja plenarna z pięcioma wykładami przeglądowymi o kierunkach rozwojowych nauczania i dydaktyki fizyki w odpowiednich krajach oraz 3 sesje panelowe. Zasadniczym celem sympozjum było porównanie tendencji rozwojowych nauczania fizyki w szkołach w NRW, USA i w Japonii, a także opracowanie pewnych wniosków i sugestii dotyczących przyszłych działań na rzecz udoskonalenia nauczania fizyki dla zwiększenia zainteresowania nią uczniów i społeczeństwa. Biorąc pod uwagę różnice w systemach szkolnych, tradycjach kulturowych, w treściach i metodach nauczania fizyki w tych krajach, zadanie to do łatwych nie należało.

Aktualną sytuację w NRW – a szerzej w RFN – przedstawili w swych wykładach prof. Gernot Born z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Gerharda Mercatora w Duisburgu („Niemiecki punkt widzenia na przyszłość nauczania fizyki”) oraz prof. Dietmar Kath, prorektor tegoż uniwersytetu („Fizyka i technika w kształceniu ogólnym – Północna Nadrenia-Westfalia w porównaniu z USA i Japonią”). O przyszłości nauczania fizyki w Japonii mówiła prof. Tae Ryu z Uniwersytetu w Tokio („Przyszłe nauczanie fizyki w Japonii”). Fizykę traktuje się w tym kraju jako podstawę rozwoju naukowego i postępu technicznego. Stąd widzi się tu konieczność intensyfikacji działań mających na celu zwiększenie zainteresowania młodzieży fizyką, a także opracowania nowych programów i form nauczania tego przedmiotu zapewniających bardziej efektywną jej realizację w szkole i na studiach. Natomiast prof. Simon George z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Kalifornijskiego w Long Beach omówił panującą sytuację i obecne tendencje w szkolnictwie amerykańskim („Amerykański punkt widzenia na przyszłość nauczania

fizyki”). Autor stwierdził, że w szkolnictwie amerykańskim istnieją ogromne zaniedbania w systemie edukacji, zwłaszcza w odniesieniu do fizyki. Istnieje tam konieczność dokonania radykalnych reform systemu oświaty i nauczania, planowanych przez prezydentów Ronalda Reagana, George’a Busha i obecnego prezydenta Billa Clintona. Przy reformowaniu szkolnictwa amerykańskiego przewiduje się wykorzystanie na szeroką skalę doświadczenia kontynentalnej Europy.

Sesje panelowe poświęcone były 3 grupom zagadnień. Pierwsza, prowadzona przez prof. Aleksandra Bradshawa (Anglika, prezesa Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego), była poświęcona problemowi nauczania fizyki i techniki w liceach. Drugą, prowadzoną przez prof. Dietera Nachtigalla (z Uniwersytetu w Dortmundzie) poświęcono zagadnieniu, jakiej fizyki należy uczyć w szkole. Wreszcie trzecia (prowadzona przez prof. Jürgena Eulera z Uniwersytetu w Kilonii) dążyła problem, czy fizyka stanowi nadal część kultury, czy też jest podmiotem zaawansowanej techniki. Każdy z tych tematów wzbudzał żywe zainteresowanie audytorium, czego dowodem były bardzo ożywione, żarliwe dyskusje.

Obowiązkiem szkolnym w NRW (i w niektórych innych krajach RFN) objęte są dzieci i młodzież w wieku 6–17 lat (klasy 1–10). System szkolny składa się tam z 4-letniej szkoły elementarnej („Grundschule”, „Primärstufe”), którą stanowią klasy 1–4 nauczania początkowego. Następnym etapem jest „szkoła średnia” („Mittelschule”, „Sekundärstufe I”), którą stanowią „Hauptschule” i „Realschule” – 6-letnie szkoły uzupełniające kształcenie na poziomie szkoły powszechnej (klasy 5–10), a także klasy 5–10 dziewięcioletniego gimnazjum czy też, również dziewięcioletniej „Gesamtschule”. Natomiast klasy 11–13 w gimnazjum (i w „Gesamtschule”) – stanowią z kolei trzeci etap nauczania, tzw. „Sekundärstufe II”, i kończą się maturą.

Mimo owej wspólnej nazwy – „Mittelschule”, „Sekundärstufe I” – zarówno „Hauptschule”, jak i „Realschule” zamykają drogę do gimnazjum (czy „Gesamtschule”) z powodu istotnych różnic programowych. Ich zadaniem jest przygotowanie do nauki zawodu lub do podjęcia nauki w 2-letniej szkole zawodowej, umożliwiającej uzyskanie niepełnowartościowej matury zawodowej („Fachabitur”). Można ją również uzyskać po ukończe-

niu 12. klasy gimnazjum (lub „Gesamtschule”) i odbyciu odpowiedniej praktyki zawodowej. Zapewnia ona jednak tylko podjęcie studiów, na odpowiednich kierunkach, w Wyższych Szkołach Zawodowych, „Fachhochschule”. Pełną maturę („Abitur”, „Allgemeine Hochschulreife”), umożliwiającą podjęcie studiów na dowolnym kierunku w każdej szkole wyższej, uzyskują absolwenci klas 11–13 gimnazjum, a także absolwenci klas 11–13 owej „Gesamtschule”. Lansowane u nas ostatnio „blokowe” nauczanie – które przewidywano pierwotnie również i w „gimnazjum” – realizowane jest w NRW jedynie w klasach 1–4. Podobnie rzecz się ma i w szkołach japońskich, podczas gdy w szkołach amerykańskich stosuje się je najczęściej również i w „gimnazjum”.

Fizyka jako przedmiot szkolny realizowana jest w NRW począwszy od „szkoły średniej”, czyli od klasy 5. Zarówno w „Hauptschule”, jak i w „Realschule” (tutaj w obszerniejszym kursie) podawana jest przede wszystkim w ujęciu propedeutycznym i opisowym, opartym na doświadczeniu i pokazie, z wypukleniem praktycznych jej aspektów. W gimnazjum i „Gesamtschule” prowadzona jest w sposób bardziej usystematyzowany. Natomiast w klasach 11–13 następuje podział na węższe specjalizacje, a uczniowie tych klas wybierają grupę przedmiotów fakultatywnych, o powiększonym wymiarze zajęć szkolnych. W klasach o profilu matematyczno-fizycznym przeznaczają się na fizykę 5 godzin lekcyjnych tygodniowo i analogicznie na zajęcia z matematyki. Oba te przedmioty nauczane są na tym etapie kształcenia w sposób bardziej uporządkowany, z dość obszernym programem nauczania i na stosunkowo wysokim poziomie.

W Japonii i w USA obowiązują podobne systemy szkolne, analogiczne do wprowadzanego ostatnio u nas i obejmują 6-letnią szkołę podstawową plus 3-letnie gimnazjum plus 3-letnie liceum. Jednakże w USA naukę szkolną można zakończyć w klasie 11., natomiast ukończenie klasy 12. zapewnia mizerny na ogół odpowiednik europejskiej matury – aczkolwiek istnieją tam również, nieliczne co prawda, elitarne szkoły nauczające na bardzo wysokim poziomie. W Japonii panuje silna tendencja do edukacji całej młodzieży na poziomie maturalnym. Prócz tego szkoła japońska, poza czysto zewnętrznym podobieństwem do amerykańskiej, odbiega od niej w zasadniczy

sposób – zarówno pod względem treści programowych, jak i pod względem sposobu podawania wiedzy, a zwłaszcza jej rygorystycznego egzekwowania. Niezmiernie ważnym czynnikiem w systemie edukacji japońskiej jest powszechne, umiejętnie stymulowane współzawodnictwo uczniów. Między innymi dzięki temu w szkołach japońskich osiąga się bardzo wysoki poziom nauczania. Dlatego matury japońskie (podobnie jak i francuskie, wobec których również stawiane są wysokie wymagania) należą do najwyższych notowanych na świecie.

W Japonii przyjął się również anglosaski schemat kształcenia wyższego. Składa się on z 4-letnich studiów stopnia pierwszego (studia zawodowe), których ukończenie daje odpowiednik anglo-amerykańskiego stopnia „Bachelor”, 2-letnich studiów uzupełniających zakończonych odpowiednikiem naszego magistra („Master”) i wreszcie 3-letnich studiów doktoranckich. W odróżnieniu od tego, w liczących się uniwersytetach amerykańskich studia uzupełniające („magisterskie”) na kierunku fizyki przewidziane są na 3 lata. W NRW (analogicznie w pozostałych krajach RFN) studia wyższe są jednolite, a planowany czas pełnych studiów akademickich przewidziany jest na 10 semestrów – wyjąwszy medycynę i teologię, dla których planuje się 12 semestrów. Natomiast 4-letnich studiów zawodowych, w uczelniach typu „Fachhochschule” (a często i na uniwersytetach, np. w Duisburgu) kończących się tytułem zawodowym inżyniera nie można kontynuować na odpowiednich studiach akademickich. Studia fizyczne – planowane również na 10 semestrów – trwają realnie w RFN średnio przez 14,5 semestru. Średnia ta wynosi jednak w różnych uniwersytetach od 12 do 18 semestrów.

W sympozjum uczestniczyło ok. 100 osób, przede wszystkim z krajów-organizatorów, z innych krajów europejskich i z 11 krajów pozaeuropejskich. Sporą część uczestników stanowili goście, specjalnie zaproszeni przez organizatorów konferencji do udziału w sympozjum. Organizatorzy przewidują wydanie jesienią 1998 roku kompletu materiałów konferencyjnych, z pełnym opracowaniem dyskusji toczących się na sesjach panelowych.

Na zakończenie kilka słów na temat Uniwersytetu w Duisburgu. Powołano go w 1968 r., aczkolwiek istniał tu już wcześniej uniwersytet, który działał w latach 1655–1818. Należy do kil-

kudzieściu uczelni nowej generacji, utworzonych pod koniec lat sześćdziesiątych w ramach szeroko zakrojonej rozbudowy sieci wyższych uczelni w RFN. W jego skład wchodziły wydziały: matematyczny, przyrodniczy, techniczno-fizyczny, ekonomiczny i humanistyczny. W pełnym profilu akademickim kształci się tu na ponad 20 kierunkach studiów. Przy uniwersytecie istnieje ponadto szkoła (college) języków i prowadzi się wyższe stu-

dia zawodowe (odpowiadające studiom w „Fachschule”), a także szkolenie zawodowe. W Instytucie Fizyki szkoli się np. rzemieślników w zawodzie laboranta fizycznego. Na dobrym poziomie prowadzi się tu badania naukowe. Szczególnie wysoką pozycję (w skali światowej) osiągnęła fizyka ciała stałego. Obecnie kształci się na tej uczelni ponad 15 tys. studentów. Jest to więc – w skali europejskiej – uczelnia średniej wielkości.

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych

W dniach od 30 czerwca do 2 lipca 1998 r. w Poznaniu odbyła się XII konferencja „Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych”. Jej organizatorem był Wydział Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej. W konferencji uczestniczyli nauczyciele akademicy wykładający fizykę w wyższych szkołach technicznych oraz zaproszeni goście różnych specjalności. Konferencja odbyła się pod patronatem Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Ministra Edukacji Narodowej. Program obejmował referaty plenarne, komunikaty ustne, sesję plakatową, demonstracje nowych ćwiczeń laboratoryjnych oraz programów komputerowych wspomagających nauczanie fizyki. Podsumowaniem konferencji była dyskusja panelowa, w czasie której omówiono następujące zagadnienia: nauczanie fizyki w szkołach średnich pod kątem przygotowania do studiowania w wyższych szkołach technicznych, rolę fizyki w kształceniu inżynierów, miejsce fizyki w wielostopniowym systemie kształcenia inżynierów, programy i standardy wymagań fizyki w wyższych szkołach technicznych, system punktów kredytowych, kształcenie fizyków dla potrzeb przemysłu.

Dyskusję panelową prowadził prorektor Politechniki Poznańskiej ds. kształcenia, prof. Antoni Iskra, a do udziału w niej zaproszono także nauczycieli szkół średnich oraz dziekanów i pracowników różnych wydziałów. Podczas dyskusji w czasie trwania konferencji szczególną uwagę zwrócono na następujące sprawy:

1. W ostatnich latach w wyższych szkołach technicznych obserwuje się tendencję do ograniczania nauczania fizyki na rzecz innych przedmiotów, przy ciągłym obniżaniu się poziomu wykształcenia z zakresu fizyki absolwentów szkół średnich. Świadczy to o niedocenianiu roli fizyki w kształceniu przyszłych inżynierów. To właśnie szeroko rozumiana fizyka umożliwiła przecież absolwentom zrozumienie nowości technologicznych i właściwe ustosunkowanie się do nich. Dlatego jako hasło konferencji przyjęto:

„Fizyka dnia dzisiejszego – technologią jutra”. Miało ono na celu zobrazowanie niepodważalnej roli fizyki jako nauki podstawowej.

2. Uważa się za konieczne opracowanie jednolitego programu podstawowego w zakresie nauczania fizyki w wyższych szkołach technicznych („kanonu”). Znajduje to uzasadnienie w opracowanych przez europejską federację narodowych towarzystw inżynierskich (FEANI) standardowych wymaganiach w zakresie edukacji inżynierów dla uzyskania zawodowego tytułu Inżyniera Europejskiego (EUR ENG).

3. Poziom wiedzy z fizyki studentów rozpoczynających studia w wyższych szkołach technicznych jest na ogół bardzo niski, tymczasem musimy sprostać europejskim standardom edukacyjnym. W związku z tym wydziały uczelni technicznych powinny przygotować swoich studentów do konfrontacji z wymaganiami europejskimi (a także przyszłymi krajowymi) i stąd niezbędne jest podniesienie nie tylko wymiaru, ale i rangi nauczania fizyki, a także rozszerzenie możliwości prezentacji różnych zjawisk fizycznych.

4. Rangę nauczania fizyki podnieść można m.in. przez wprowadzenie obowiązkowego testu w zakresie fizyki lub egzaminu wstępnego. W przypadku, gdy egzamin wstępny nie zostanie wprowadzony, należy rozważyć możliwość prowadzenia kursów wyrównawczych, np. obowiązkowego kursu (we wrześniu) dla kandydatów z ocenami dostatecznymi i miernymi z matematyki i fizyki na świadectwach maturalnych. Inną możliwością jest, po wprowadzeniu systemu punktów kredytowych, prowadzenie zajęć z fizyki na różnym poziomie: poziom obniżony dla studentów bez egzaminów wstępnych z fizyki, normalny dla studentów wykazujących dość dobre przygotowanie ze szkoły średniej i podwyższony dla studentów z zaawansowaną wiedzą. Za zajęcia na różnym poziomie przysługiwałyby, oczywiście, różna liczba punktów.

5. O poziomie kandydatów na studia techniczne będzie w przyszłości decydowała niewątpliwie reforma ustroju szkolnego oraz związana z nią reforma progra-

mowa. Dużą szansę dla pozyskania dobrze przygotowanych kandydatów na uczelnie techniczne może stworzyć istnienie liceów o odpowiednich profilach kształcenia. Koniecznym wydaje się więc przeprowadzenie dyskusji na temat programów i siatek godzin nauczania fizyki, zwłaszcza w liceach technicznych, w których uczestniczyliby także nauczyciele akademicy. Szczególnie ważne jest, aby w ostatnich latach we wszystkich szkołach o profilu technicznym zostały utrzymane lekcje z fizyki. Średnie szkoły zawodowe powinny bowiem nie tylko przygotowywać do wykonywania zawodu, ale i do podjęcia studiów.

6. Niezależny od szkół system oceniania i egzaminowania, przejawiający się wprowadzeniem nowej matury powinien być przeprowadzony właściwie i kompetentnie (np. w zakresie fizyki z udziałem uznanych fizyków-dydaktyków). Należy dążyć do tego, aby fizyka, odgrywająca wyjątkowo ważną rolę edukacyjną, była przedmiotem egzaminacyjnym przynajmniej w obieralnej, jeśli nie obowiązkowej części matury. Egzamin z tego przedmiotu powinien być obowiązkowy dla osób zamierzających podjąć studia techniczne.

7. W opracowywanych programach i podręcznikach z fizyki dla uczniów szkół średnich i podstawowych należy zmniejszyć liczbę wzorów i wyprowadzeń matematycznych, powiększyć natomiast treść „fizyczną”, pozwalającą zrozumieć i wytłumaczyć obserwowane zjawiska fizyczne. Trzeba przede wszystkim pokazać, że fizyka jest nauką o przyrodzie, jej prawach i ich zastosowaniu. Należy dołożyć wszelkich starań, aby podręczniki z fizyki były napisane w sposób jasny i zrozumiały dla uczniów.

Uczestnicy konferencji zobowiązali Komitet Programowy do opracowania wniosków z konferencji i rozesłanie ich do prorektorów ds. kształcenia wszystkich uczelni technicznych w Polsce oraz do Ministerstwa Edukacji Narodowej z prośbą o wzięcie ich pod uwagę przy tworzeniu nowego systemu studiów technicznych oraz przy przygotowywaniu reformy systemu edukacji.

Prace przedstawione podczas konferencji zostały opublikowane przez Ośrodek Wydawnictw Naukowych w Poznaniu i mogą być udostępnione zainteresowanym osobom przez Komitet Organizacyjny.

Danuta Bauman
Instytut Fizyki PP
Poznań

GIREP '98

W dniach 23–28 sierpnia 1998 r. odbyła się w Duisburgu w Niemczech zorganizowana przez GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique) oraz ICPE (International Commission for Physics Education) konferencja „Hands-on Experiments in Physics Education” (Doświadczenia fizyczne „własnymi rękami”). Konferencja poświęcona była roli zabawek i prostych doświadczeń w nauczaniu fizyki. Jak zwykle były wykłady plenarne zamawiane przez organizatorów i wykłady w poszczególnych sekcjach. Zorganizowano sesje

plakatowe połączone z pokazami, płatne warsztaty oraz jeden wykład dla szerokiej publiczności. W konferencji wzięło udział prawie 300 osób przybyłych z najodleglejszych zakątków świata – zapadłej Syberii, Chin, Japonii, Filipin, Afryki, obu Ameryk i Europy.

I właśnie to spotkanie ludzi przybyłych na konferencję z tak odległych miejsc i pokazujących swoje bardziej lub mniej oryginalne doświadczenia i pokazy, często o kolorycie lokalnym (wykorzystanie mrozów syberyjskich), było najcenniejsze. Ważne było nie tylko podpatrywanie najprostszyc i najlepszych pomysłów, lecz nieomalże fizyczne odczucie wspólnoty i uniwersalności problemów związanych z nauczaniem fizyki, niezależnie od długości i szerokości geograficznej.

Zamiast bardziej szczegółowego sprawozdania, które byłoby listą świetnych doświadczeń i zabawek naukowych, przedstawię parę uwag bardziej ogólnej natury. Temat konferencji nadaje się na zajęcia typu warsztatów, wystawy, pokazy czy nawet festiwal nauki. Organizatorzy zapewnili czas na sesje plakatowe i równoległe warsztaty. Poszczególne pokazy doświadczeń i zabawki były słabo uporządkowane tematycznie i brakowało jednak głębszych analiz dotyczących użyteczności demonstrowanych modeli. Nie można było oczywiście uczestniczyć we wszystkim. Wydaje mi się, że opuściłam te ciekawsze warsztaty.

Wykład plenarny pani Beverly Taylor z Miami College był przedstawieniem wstępnego kursu fizyki opartego na zabawkach jako demonstracjach. Dość podobne były przedstawienia innych Amerykanów, którzy zademonstrowali zręczność i pomysłowość w konstruowaniu zestawów doświadczeń z fizyki z najprostszyc przedmiotów domowego użytku. Wszystko to warte naśladowania, zwłaszcza przez zagonione nauczycielki, pozbawione technicznej iskry twórczej i pozbawione szkolnego zaplecza. To co w naszej praktyce jest rzadkością, w Stanach jest, jak się wydaje, powszechną praktyką. Z przyjemnością można było oglądać filmy wideo (np. japoński i Katariny Teplanowej) z muzeów i festiwali nauki, ukazujące dzieci „bawiące się” doświadczeniami z fizyki. Oczywiście, że zamiast oglądać przeźrocza z muzeum Phänomenta (nowe muzeum w Niemczech) wolało by się zwiedzić je samemu.

Nie można się jednak oprzeć wrażeniu, że nauczanie fizyki znajduje się w impasie i wykonuje się obecnie rozpaczliwe wysiłki, by nie utonąć. Tonienie oznacza wszechogarniającą niechęć do fizyki i powszechne rugowanie jej z programów nauczania. Na szczęście trudne warunki, jak uczy historia kultury (w sztuce wszelkie zewnętrzne ciśnienie często bywało stymulujące), mogą być ożywcze.

Fakt, że fizyka jest nauką doświadczalną i musi być oparta na doświadczeniu nie jest niczym nowym. Zostały już dziesiątki lat temu opracowane zarówno szkolne zestawy demonstracyjne, jak i zestawy tzw. „zabawowe”. Obecne propozycje inteligentnie i pomysłowo wykorzystują nowe i tanie materiały, nowe technologie – ale na ogół to wszystko. Nie należy tego kierunku lekceważyć. Pobudza on inwencję twórczą nauczycieli. Ileż demonstracji fizycznych, a nawet pomiarów, można dokonać przy

pomocy plastikowych butelek, rurek, taśmy klejącej itp. Są to eksperymenty typu: „zrób i weź do domu”. To bardzo istotny i ważny element.

Zabawka jednak nie zastąpi przeprowadzonego w celu poznawczym doświadczenia. Uczestnicząc w konferencji chwilami miało się wrażenie, iż obecnie w ogóle zaprzestano nauczania fizyki, a w to miejsce wprowadzono gry i zabawy mające dopiero zachęcić do nauki. Naczelnym hasłem wielu prezentacji było „łatwo, mało i przyjemnie”.

W Stanach Zjednoczonych jest to tradycja szkół średnich. Większość młodzieży poważne, intensywne studia rozpoczyna w wieku 17 lat w college'ach i na uniwersytetach. Europejska tradycja w dłuższej trwającej szkole średniej miała ambitne zadania ogólnego solidnego kształcenia we „wszystkich” przedmiotach akademickich, w tym w fizyce. Ten model przeżywa kryzys; nie sprostano ogromowi wiedzy i wzrostowi powszechności kształcenia. Po ratunek sięga się po wzorce Stanów. Czy słusznie – to się okaże w przyszłości.

Natomiast ze smutkiem stwierdzam, że GIREP starzeje się. Nie widać wielu młodych ludzi wnoszących ożywcze idee. Stąd zapewne więcej amerykańskich i azjatyckich gości. Azjaci, często młodzi, chociaż przyjeżdżają by się czegoś na konferencji nauczyć, mają sami swoje pomysły, oryginalne propozycje (np. doskonały japoński model komory pęcherzykowej). Z przedstawionych przez nich referatów oraz licznych demonstracji wynika, iż eksperyment (w tym zabawki) towarzyszy raczej klasycznemu nauczaniu fizyki.

Spośród wykładów plenarnych bardzo korzystnie wybił się wykład pani dr hab. Cecylii Iwaniszewskiej z Torunia, która mówiła o prostych eksperymentach w nauczaniu astronomii. Przedstawione przez nią doświadczenia były osadzone w konkretnym materiale, dostosowane do rozmaitych poziomów uczniów, ponadto było starannie podane autorstwo pomysłodawców doświadczeń, co na całej konferencji było ewenementem.

Dużo z pokazywanych na konferencji zabawek, oprócz olbrzymich walorów ludzycznych, rzeczywiście posiada elementy dydaktyczne. Niestety, nie zawsze podawano dogłębną, poprawną analizę działania zabawek. A często jest ona dosyć trudna i zawiła (polecam opis działania pijącego ptaka w *Wiedzy i Życiu*, autorstwa Krzysztofa Ernsta). Zabawki demonstrowane w czasie pokazów dla publiczności doczekały się nawet prac doktorskich.

Na konferencji nie przedstawiono oddzielnego referatu na temat badania dydaktycznej użyteczności pokazywanych zabawek. Nikt nie sprawdzał, czego naprawdę uczą się uczniowie bawiący się jo-jo czy człowiek zbliżający się do tajemniczego grającego urządzenia (zmiana pojemności, pole wysokiej częstotliwości). Na konferencji brakowało referatów podsumowujących poszczególne sekcje, warsztaty czy wystawy demonstracyjne. Poza tym, tego typu impreza powinna być połączona z bardziej profesjonalnymi targami zabawek i ze zwiedzaniem muzeum nauki.

Podsumowując: na gruncie europejskim jest lansowana nowa metoda nauczania. Nie jest ona nowa w Stanach. Na takich konferencjach jak GIREP powinno się właśnie ją przedstawiać i dyskutować.

Następna konferencja GIREP-u jest za dwa lata. Tematem mają być małe i wielkie doświadczenia w fizyce. Te wielkie doświadczenia warto by przedstawić w CERN-ie lub Hamburgu.

Nie chciałabym wywoływać wrażenia, iż konferencja była nieciekawa. Wręcz przeciwnie, można było spotkać wielu interesujących ludzi, porozmawiać z nauczycielami fizyki z egzotycznych dla nas krajów, podpatrzeć bardzo ciekawe i proste doświadczenia. Przysłuchując się prezentacjom i oglądając propozycje doświadczeń z fizyki nie sposób jednak było nie utwierdzić się w poglądzie, że najważniejszy w nauczaniu fizyki jest dobry nauczyciel. To on, rozumiejąc zjawiska fizyczne, może wymyślać i projektować doświadczenia naukowe i wykorzystywać zabawki. Same, najlepsze nawet zabawki naukowe nie spełnią swej kształcącej roli.

Pragnę bardzo gorąco zachęcić nauczycieli fizyki do udziału w konferencjach GIREP-u. Jestem przekonana, że nie tylko mogą Państwo skorzystać, ale także mieć okazję do pokazania swoich osiągnięć, nie gorszych od innych.

Zofia Gołąb-Meyer

Instytut Fizyki UJ
Kraków

XII Sympozjum Maksa Borna

W dniach 23–26 września 1998 r. odbyło się we Wrocławiu XII Sympozjum Maksa Borna pt. „Fizyka Teoretyczna: Fin de Siècle”. Sympozjum połączono z jubileuszem 75. urodzin Profesora Jana Łopuszańskiego, byłego wieloletniego dyrektora Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego. Z tej okazji zaproszono wielu uczonych ze świata, jego byłych i obecnych współpracowników, aby przedstawili stan badań w dziedzinach wspólnie z nim uprawianych. Ponieważ Sympozjum odbywało się pod koniec naszego stulecia, mogło to być asumptem do różnego rodzaju podsumowań.

Wśród wykładowców było 9 fizyków z Niemiec, po jednym z Belgii, Holandii, Włoch, Wielkiej Brytanii i USA oraz 13 z Polski. Przewaga gości z Niemiec nie była przypadkowa, gdyż prof. Łopuszański jest wielce zasłużony w rozwijaniu od lat sześćdziesiątych współpracy naszego Uniwersytetu z ośrodkami niemieckimi z obu państw w czasie, gdy kraj ten był jeszcze podzielony. To on na początku lat siedemdziesiątych zainicjował wspólne seminarium Wrocław-Lipsk, które po przemianie ustrojowej przekształciły się w Sympozja Maksa Borna. Należy dodać, że przyczynił się on także do pojednania polsko-niemieckiego również z drugą częścią Niemiec, nie tak chętnie widzianą przez ówczesne władze. Nie było więc dziwnym, że w uroczystym otwarciu Sympozjum w Auli Leopoldyńskiej oprócz prorektora Uniwersytetu prof. Zdzisława Latajki,

przewodniczącego Oddziału PAN prof. Zdzisława Bubnickiego, dyrektora Instytutu Fizyki Teoretycznej prof. Jerzego Lukierskiego i innych mówców zechciał powiedzieć kilka serdecznych słów dr Roland Kliesow – konsul generalny Republiki Federalnej Niemiec.

Po uroczystym otwarciu Sympozjum przeniosło się do Sali Muzycznej w zabytkowym gmachu głównym Uniwersytetu, gdzie odbywały się jego zasadnicze obrady o strukturze elementarnych składników materii i teoriach matematycznych, służących do ich opisu. Część naukowa Sympozjum była bardzo udana – znakomite grono uczonych zapewniło jego wysoki poziom.

Rudolf Haag z Hamburga przedstawił głęboką refleksję nad potrzebnym dla teorii kwantowej wyodrębnieniem w Wszechświata układu skończonego, poddawanego obserwacji. Roman S. Ingarden z Torunia podjął się przeglądu aksjomatycznych podejść do mechaniki kwantowej z uwypukleniem interpretacji modalnych. Wolfhart Zimmermann z Monachium omówił zagadnienie związane z wczesnym okresem aksjomatycznej teorii pola, mianowicie zasadę redukcji w teorii cząstki posiadającej masę. Jerzy Lukierski z Wrocławia i Julius Wess z Monachium przedstawili drogę od supersymetrii, przez grupy kwantowe do deformacji kwantowych w teorii pola. Przeglądu efektów samograwitacji monopoli nieabelowych dokonał Dieter Maison, również z Monachium. Werner Rühl z Kaiserslautern zaprezentował metodę konstrukcji rozwiązywalnych kwantowych modeli dynamicznych. Kacper Zalewski z Krakowa ukazał perspektywę zaobserwowania nowych fascynujących zjawisk w wielorodnej produkcji cząstek przy występowaniu kondensacji Bosego–Einsteina. Leopold Halpern z Tallahassee (Floryda, USA) opisał zasadę bezwładności w tradycyjnej i współczesnej teorii grawitacji, wreszcie Armin Uhlmann z Lipska podszedł ściśle matematycznie do zagadnień typu Einsteina–Podolskiego–Rosena w kryptografii kwantowej.

Siłą napędową Komitetu Organizacyjnego, któremu przewodził Witold Karwowski, był Wojciech Cegła. Ponadto w Komitecie pracowali: Andrzej Borowiec i niżej

podpisany. Wsparcie finansowe przyszło ze strony Uniwersytetu Wrocławskiego, Fundacji Współpracy Polsko-Niemieckiej, British Council, Ministerstwa Edukacji Narodowej oraz Polskiej Akademii Nauk. Wykłady wygłoszone na Sympozjum ukażą się w druku nakładem Springer Verlag w serii „Lecture Notes in Physics”.

Zasłużony Jubilat ma wielu wychowanków naukowych. Materiały dla uczestników Sympozjum rozdawane były w tekturowych teczkach, na których wydrukowano drzewo genealogiczne, ukazujące doktorów wypromowanych przez Jana Łopuszańskiego, następnych doktorów wypromowanych przez nich, wreszcie doktorów trzeciego pokolenia. Na uroczystej kolacji przygotowano dla Mistrza i Nauczyciela 75 róż podzielonych na trzy bukiety, a każdy bukiet wręczany był przez przedstawiciela innego pokolenia.

Bernard Jancewicz

Instytut Fizyki Teoretycznej UWr
Wrocław

W związku z powyższą notatką pragnę złożyć moje bardzo serdeczne podziękowanie tym Koleżankom i Kolegom, którzy swoją wspaniałą pracą, jak również pomysłowością przyczynili się do sukcesu Sympozjum Maksą Borna, łączącego się z moją osobą oraz z moimi 75-tymi urodzinami. Dziękuję zwłaszcza pani Annie Jadczykowej, panu Andrzejowi Borowcowi, panu Wojciechowi Cegle, panu Bernardowi Jancewiczowi i – last but not least – panu Witoldowi Karwowskiemu. Są to bohaterzy dnia codziennego, cisi i pozostający w cieniu, nie liczący na jakiegokolwiek korzyści, swoją pracą dający świadectwo ciepłej przyjaźni, na którą nie wiem czy zasłużyłem. Bardzo sobie ich bezinteresowną przyjaźń cenię.

Dziękuję jeszcze raz!

Jan Łopuszański

Energia jądrowa i promieniotwórczość

Andrzej A. Czerwiński: *Energia jądrowa i promieniotwórczość*, Oficyna Wydawnicza Krzysztof Pazdro, Warszawa 1998, s. 192.

Z zainteresowaniem rozpocząłem lekturę książki Andrzeja A. Czerwińskiego *Energia jądrowa i promieniotwórczość*. Książka ma ciekawą szatę graficzną i jest ładnie wydana. W miarę czytania coraz bardziej utwierdzałem się w przekonaniu, iż mój zachwyty był przedwczesny. Lekturę zakończyłem z mieszanymi uczuciami.

1. Jest to książka popularnonaukowa i nie może pełnić roli podręcznika „radiochemii i chemii jądrowej w szkołach wyższych o profilu medycznym (medycyna, stomatologia i farmacja), przyrodniczym (biologia i geologia) lub wydziałach rolniczych i weterynarii, a także w wyższych szkołach pedagogicznych o wszystkich kierunkach przyrodniczych” (s. 6). Jeśli ma to być podręcznik radiochemii i chemii jądrowej, to jego tytuł nie odpowiada treści. Według mnie jest to książka z fizyki jądrowej. Zastanowienia wymaga nadruk na odwrocie strony tytułowej: „Polskie Towarzystwo Chemiczne rekomenduje Czytelnikom niniejszą publikację. Numer zalecenia 38”.

2. Od czasów Newtona wzory są wręcz niezbędne w formułowaniu praw fizycznych. Niemal programowe ich unikanie wyraźnie zuboża książkę, która w zamysle Autora miała być podręcznikiem akademickim. Przecież studenci znają matematykę na poziomie elementarnym. Ponadto nie można podawać samych faktów bez próby ich wytłumaczenia, np. dlaczego na danej orbicie elektron ma wyższą energię niż na innej.

3. Tak olbrzymiego materiału nie można przedstawić w małej książeczce. Razi szereg uproszczeń i trywializacji problemów. W podręczniku z dziedziny nauk przyrodniczych nie powinno być stwierdzeń wątpliwych, nieprawdziwych lub wręcz zacieranych z prasy codziennej, jak np. przytoczone poniżej:

— „Od tego czasu Albert Einstein nie opublikował już żadnej większej pracy naukowej. Według niektórych źródeł (m.in. jego krewnych) podobno opracował po wojnie epokową teorię (na miarę teorii względności), jednak obawiając się, że będzie ona znowu źle wykorzystana przez człowieka, przed śmiercią zniszczył wszystkie swoje notatki” (s. 168).

— „Na początku lat 90. polską i zagraniczną prasę obiegła wiadomość, że Rosja dysponuje nowym materiałem wybuchowym, zwanym »czerwoną rtęcią« [...] Wielu fachowców jednak podważa możliwość istnienia takiego materiału. W ich ręce dostały się różnymi drogami próbki czerwonej rtęci i po prostu była to nieszkodliwa mieszanina różnych związków np. tlenku rtęci i jodu. Inni twierdzą, że jest to tylko tlenek rtęci z dodatkiem tłuczony cegły [...] Zgodnie z niektórymi źródłami patent na czer-

woną rtęć w 1968 roku otrzymał Arthur Sicht, chemik z firmy Du Pont. Firma Du Pont otrzymała także w 1990 roku w Kanadzie patent na podobny preparat. Niektórzy twierdzą, że czerwona rtęć jest roztworem (amalgamem) plutonu w rtęci, przez co jest on niewykrywalny przez kontrolne służby celne” (s. 177-8).

— Prawdą jest, że koniec życia W.C. Roentgen spędził w samotności i w warunkach graniczących z nędzą. Natomiast wątpliwe jest następujące zdanie: „Spowodowały to zawiści i intrygi polityczne zazdrośnych kolegów” (s. 9).

4. Z przykrością odnotowuję brak precyzji, który jest niezbędny w każdej książce, a tym bardziej w podręczniku. Oto parę przykładów:

— „Na podstawie modeli Bohra i Rutherforda ustalono, że podstawowymi składnikami jądra atomowego są protony (p^+ ; $\frac{1}{1}p$)” (s. 18). Nie. Wniosek, iż w skład jądra atomowego wchodzi cząstki o ładunku dodatnim (protony) można było otrzymać tylko z danych doświadczalnych, a nie z modeli.

— „Bardzo szybko naukowcy ustalili, że protony, neutrony i elektrony nie są jedynymi składnikami atomu” (s. 20). Stwierdzenie to nie jest dalej rozwijane. Jest wyraźnie zbędne w części noszącej nazwę „Prawo Moseleya”.

— „Wodór jest jedynym pierwiastkiem, którego jądro nie zawiera neutronów. Jądro atomu wodoru ma jeden proton. Wiadomo jednak, że w przyrodzie występują w niewielkich ilościach jeszcze dwa inne rodzaje atomów wodoru. Wodór ciężki zwany deuterem (D), w którego jądrze obok protonu jest jeszcze jeden neutron” (s. 20). W podręczniku nie może być sformułowań nieprawdziwych i wzajemnie sprzecznych. Zgodziłbym się ze stwierdzeniem, że jądro wodoru ($\frac{1}{1}H$) jest jedynym nuklidem nie zawierającym neutronów, ale nie pierwiastkiem.

— „Atomy różnych pierwiastków mogą mieć tę samą masę. Wtedy nazywamy je izobarami, np. 3_1He i 3_2He ” (s. 21). Jądra atomowe pierwiastków mogą mieć tę samą liczbę masową, a nie masę.

— Parzystość w fizyce jest wielkością kwantową. Opisuje zachowanie funkcji falowej przy przejściu od jednego układu odniesienia do innego. Nie wolno jej utożsamiać z parzystą (lub nieparzystą) liczbą protonów i neutronów w jądrze atomowym, jak ma to miejsce w rozdziale „Parzystość jąder atomowych” (s. 25).

— „Okazało się, że »rodzina« mezonów jest dość liczna. Mezony π przy szybkim zahamowaniu przechodzą w lżejsze mezony μ (miony)” (s. 28), a także:

— „Eksperyment z wprowadzeniem nowych cząstek do atomu wykonano z ujemnie naładowanymi mionami (mezonami μ^-), cząstkami 200 razy cięższymi od elektronu” (s. 34). Obecnie nie można używać wymiennie określenia mezon μ^- – mion. Ponadto – co znaczy termin „szybkie hamowanie” mezonów π ?

— Nie wolno wśród bozonów (cząstek o spinie całkowitym) umieszczać „mezonu μ^- ” o spinie $1/2$ (fermionu), a tak jest w tablicy 2 na s. 34.

— „Okazało się, że przemianom β towarzyszy emisja neutrin (ν), które unoszą ze sobą część energii jądra. W zależności od rodzaju przemiany β (β^+ i β^-) noszą one nazwę antyneutrino ($\bar{\nu}$) lub neutrina (ν) i różnią się między sobą kierunkiem spinu” (s. 29) – względem czego? Ani słowa o skrętności neutrin.

— „Ze względu na swoją zerową masę neutrina (to, że neutrina ma prawdopodobnie masę w stanie spoczynku zostało wykazane w 1995 roku przez badaczy w Los Alamos, USA) bardzo słabo oddziaływują z materią gwiazdną, przez co z łatwością opuszczają obiekt, w którym zostały wytworzone” (s. 30). Jaka jest więc masa spoczynkowa neutrina? Nie można bardzo małego przekroju czynnego neutrina na oddziaływanie z materią tłumaczyć wyłącznie jego znikomą masą spoczynkową.

— „Natomiast antyneutrino reagując z protonami ($\bar{\nu} + p^+ \Rightarrow n + e^+ + Q$) wytworzy neutrony i pozytony e^+ (cząstki β^+)” (s. 30). Brak objaśnienia, co w tym wzorze oznacza Q . Na s. 28 litera ta określała ładunek cząstki. Ponadto brak jest konsekwencji w zapisie rozpadu β , gdzie nie występuje Q .

— „Szybkość rozpadu można wyrazić stosunkiem $\Delta N/N$, w którym ΔN jest ubytkiem substancji promieniotwórczej (wielkość ta może być przedstawiona liczbą atomów, liczbą moli lub jednostkami masy pierwiastka promieniotwórczego) ulegającego przemianie w czasie Δt . Wynik pomiaru jest tym dokładniejszy, im mniejszy jest przedział czasu, w którym mierzy się zmianę aktywności” (s. 47). Nie, wraz ze wzrostem czasu pomiaru maleje błąd statystyczny, a więc rośnie dokładność pomiaru. Drugim potknięciem jest definiowanie szybkości rozpadu za pomocą jednostek masy pierwiastka. Dany pierwiastek może mieć kilka izotopów promieniotwórczych o różnych okresach połowicznego rozpadu.

— „Okres półtrwania jest wielkością charakterystyczną dla każdego radionuklidu. Oblicza się go na podstawie pomiarów natężenia promieniowania dokonywanych w określonych odstępach czasu (ilustr. 4.2)” (s. 48). Nie oblicza się, a wyznacza; jest to istotna różnica.

— O widmie ciągłym promieniowania β nie można napisać, iż „Energia elektronów emitowanych przez jądro wykazuje rozrzut wartości w pewnym przedziale (ilustr. 48)” (s. 56).

— „Natura fizyczna promieniowania hamowania jest identyczna z promieniowaniem rentgenowskim o widmie ciągłym (białym). Hamowane elektrony (wiązki) o dużej energii w betatronie są źródłem promieniowania synchrotronowego. Są to efekty oddziaływania cząstek β z polem magnetycznym jądra” (s. 56). Ostatnie zdanie istotnie utrudnia zrozumienie mechanizmu powstawania promieniowania synchrotronowego – chodzi tam o pole magnetyczne betatronu, a nie jądra atomowego. Ponadto fragment ten nie pasuje do rozdziału „Przemiany β – promieniowanie β^- i β^+ ”.

— „Marzeniem fizyków jest stworzenie takich warunków, aby z reakcji $n \Rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$ powstawały atomy wodoru (z powstałych protonów i elektronów)” (s. 59). Nie rozumiem, na czym polega marzenie fizyków? Wodoru i jego związków mamy dość, zarówno na Ziemi, jak i we Wszechświecie. Prawdopodobnie Autor miał na myśli atomy antywodoru, które zostały już otrzymane z antyprotonów i pozytonów. Przykład ten dodatkowo pokazuje często występujące powtórzenia wyrazów.

— W rozdziale pt. „Efekty promieniowania γ ” jest taki fragment (s. 60): „Zjawisko to nazwano efektem fotoelektrycznym. Takie zjawisko szczególnie obserwuje się przy naświetlaniu fotonami o małej energii pierwiastków o dużej liczbie Z (np. cezu). Foton świetlny wybija wtedy elektrony z powłoki elektronowej atomu”. Tutaj dla fizyka jest zbędny wszelki komentarz.

— „Jądra uranu 238 i 235 ulegają w naturze także samorzutnej reakcji rozszczepienia. Proces ten jest jednak niesłychanie rzadki i okres półtrwania takiej reakcji jest rzędu $10^{15} - 10^{16}$ lat” (s. 64). Chyba chodzi tu o parcyjny półokres rozpadu ze względu na rozszczepienie spontaniczne izotopów uranu. Parcyjny półokres rozpadu α jest znacznie krótszy i wynosi $7,03 \times 10^8$ lat dla ^{235}U i $4,468 \times 10^9$ lat dla ^{238}U . Nie ma określenia „okres półtrwania reakcji”.

— Piotr Curie zginął w roku 1906, a nie 1908, jak podano na s. 11.

— Słusznie chlubimy się naszą wybitną rodaczką, Marią Curie-Skłodowską. Trzeba jednak pamiętać, że otrzymała ona Nagrodę Nobla nie jako przedstawicielka narodu polskiego, jak napisano na s. 11, lecz jako uczona francuska.

Wypisałem tylko niektóre błędy merytoryczne i nieścisłości. W części fizycznej książki jest ich więcej, mniej w rozdziałach o problematyce chemicznej. Sądzę, że podane wyżej przykłady w adekwatny sposób odzwierciedlają charakter tej książki.

5. Nie rozumiem, jak można zapomnieć o kardynalnej zasadzie zachowania masy i energii w następującym stwierdzeniu: „Natomiast przemianom β^+ , w których zachodzi przemiana protonu w neutron, towarzyszy powstanie neutrina: $\frac{1}{1}p \Rightarrow \frac{1}{0}n + \frac{0}{+1}e + \nu$ ” (s. 29). Ani słowa o tym, że jest to zapis uproszczony, zaś w procesie uczestniczą nukleony wchodzące w skład jądra atomowego i od niego pochodzi „brakująca” porcja energii, umożliwiająca tę przemianę. Proces ten nie zachodzi oczywiście dla swobodnego protonu.

6. Nie wolno w podręczniku sugerować, że negatywna ocena eksperymentu Fleischmanna i Ponsa jest przedwczesna, tym bardziej, że jest to końcowy fragment tej książki, który zwykle pozostawia trwałe ślady w pamięci czytelnika.

7. Aktualności szybko tracą swoje znaczenie i mogą być po kilkunastu latach niezrozumiałe. Podręcznik akademicki funkcjonuje zwykle ponad 10 lat. Przykłady:

— „Silnym napromienieniem uległo w ostatnim czasie szereg osób, które przemyślały przez granice izotopy promieniotwórcze bez specjalnych osłon” (s. 81).

— „W roku 1995 na Atolu Mururoa Francja wznowiła próby nuklearne (podwodne)” (s. 83).

8. Budzi zastrzeżenia styl oraz stosowana terminologia. Książka napisana jest niedbale. Odnoszę wrażenie, iż nie było recenzji wydawniczej lub miała ona powierzchowny charakter. Dość częste są błędy natury technicznej i redakcyjnej.

9. Książka jest bogatą kopalnią faktów, szczegółów technicznych, anegdot, którymi doświadczony nauczyciel akademicki mógłby ubarwić wykład. Byłaby to istotna i chyba jedyna zaleta tej książki, wybitnie nastawionej na sukces wydawniczy. Niestety, szereg nieścisłości i uproszczeń nakazuje daleko posuniętą ostrożność. Podane fakty i anegdoty, często o wydźwięku sensacyjnym, wymagają sprawdzenia ich w innych, bardziej wiarygodnych źródłach.

Fizyka polega na rozumieniu praw i umiejętności wyjaśnienia zjawisk, a nie na podaniu dużej ilości faktów i ciekawostek bez pokazania i wytłumaczenia powiązania między nimi.

Jestem przeciwny zalecaniu tej książki jako podręcznika.

[Korekta autorska: Do mojej recenzji wkradła się literówka. W zacytowanym fragmencie książki powinno być: ${}^3_1\text{H}$ i ${}^3_2\text{He}$ – M.B.]

Mieczysław Budzyński
Instytut Fizyki UMCS
Lublin

Odpowiedź autora książki na recenzję M. Budzyńskiego

Powszechne zainteresowanie promieniotwórczością oraz problemami chemii jądrowej znacznie spadło w ostatnich kilkunastu latach. Przyczyniła się do tego m.in. pewna stabilizacja polityczna na świecie, która oddaliła groźbę wojny nuklearnej. Również awaria w Czarnobylu w 1986 r., która spotęgowała strach społeczeństwa przed energetyką jądrową, wywołała niechęć do związanych z nią dziedzin nauki, takich jak chemia czy fizyka jądrowa. Brak zainteresowania tymi dziedzinami odbił się w programach studiów na wyższych uczelniach. Chemia jądrowa przestała być przedmiotem obowiązkowym i magister chemii nie musi nic wiedzieć na temat budowy jądra atomowego i przemian promieniotwórczych. Tymczasem izotopy promieniotwórcze przeżywają renesans zastosowań w naukach medycznych. Obserwuje się intensywny rozwój medycyny nuklearnej. Coraz to nowe izotopy stosuje się w diagnostyce i terapii. Przykładem może być sztucznie otrzymywany węgiel C-11, który na większą skalę zaczyna być stosowany jako znacznik promieniotwórczy w radiofarmaceutykach przeznaczonych do diagnostyki. Rozwój medycyny nuklearnej nie idzie w parze z edukacją studentów uczelni medycznych. Oznacza to, że izotopami promieniotwórczymi będą zajmować się

osoby, które w czasie swoich studiów nie poznały ich właściwości i nie znają zasad pracy w laboratorium radiochemicznym.

Od co najmniej kilkunastu lat nie pojawiła się na naszym rynku książka, która zagadnienia dotyczące promieniotwórczości oraz energetyki jądrowej omawiałyby w sposób przystępny. Celem mojej książki było wypełnienie tej luki i zapoznanie czytelnika z najważniejszymi informacjami oraz problemami dotyczącymi tych dziedzin. Chciałbym dodać, że książka *Radiation and Radioactivity on Earth and Beyond*, o podobnym charakterze, w której liczbę zależności matematycznych również sprowadzono do minimum, została wydana przez CRC Press (Boca Raton 1993). Autorami są specjaliści z chemii jądrowej: Y.G. Draganić, Z.D. Draganić i J.-P. Adloff. Zagadnienia promieniotwórczości i energii jądrowej są tam traktowane w podobny sposób jak przeze mnie.

Moja książka pojawiła się na rynku w lutym 1998 r. i od tego czasu zebrałem wiele pochlebnych opinii (również listownych), m.in. od profesorów wyższych uczelni w Polsce – wykładowców chemii i fizyki. Wiem, że jest ona już polecana studentom różnych wydziałów jako podręcznik uzupełniający informacje z chemii ogólnej i chemii fizycznej.

Recenzja prof. Budzyńskiego jest pierwszą reakcją krytyczną, która do mnie dotarła. Przeczytałem ją z zainteresowaniem. Nie chcę się dać ponieść emocjom i na postawione zarzuty odpowiadam bez zbędnych komentarzy, które pozostawiam Czytelnikowi. Mam jednak nadzieję, że prof. Budzyński mimo woli zachęcił wielu Czytelników do sięgnięcia po tę książkę.

1. Granica pomiędzy książką popularnonaukową a podręcznikiem jest bardzo płynna. Czy podręcznik w całej swojej powadze nie może także pełnić funkcji książki popularnonaukowej lub odwrotnie? Uważam, że tytuł *Energia jądrowa i promieniotwórczość* dobrze odzwierciedla treść książki, oraz że książka pełniąc funkcję podręcznika niekoniecznie musi na stronie tytułowej mieć napis, że jest podręcznikiem. Zakres zagadnień jest taki sam jak w większości podręczników chemii jądrowej lub radiochemii, starałem się tylko, żeby były one przedstawione w sposób możliwie przystępny i jednocześnie zaciekawiający. Tym bardziej książka ta nie może być podręcznikiem fizyki jądrowej, jak sugeruje Recenzent. Ponieważ jej treść dotyczy jednego z działów chemii, PTCh miało pełne prawo rekomendować czytelnikom książkę napisaną przez chemika. Myślę, że Towarzystwo wypowie się na ten temat, gdy otrzyma tekst recenzji oraz moją odpowiedź. Poniżej podaję definicję chemii jądrowej (*Encyklopedia PWN*, 1997): „Chemia jądrowa, nauka zajmująca się zagadnieniami związanymi z jądrowymi przemianami substancji oraz z wykorzystaniem energii jądrowej. Jest ściśle związana z fizyką jądrową. Przedmiotem badań chemii jądrowej jest głównie chemiczny aspekt przemian jądrowych. Obejmuje radiochemię, badania chemicznych efektów przemian jądrowych, efektów izotopowych; procesy chemiczne związane z otrzymywaniem i przerobem

paliw jądrowych; niekiedy do chemii jądrowej włącza się też chemię radiacyjną". Można odnieść wrażenie, że Recenzent założył, iż książka ta jest podręcznikiem fizyki jądrowej, w celu poddania jej krytyce z punktu widzenia fizyka.

2. Książka ta jest przeznaczona dla studentów takich kierunków jak medycyna, farmacja, biologia, weterynaria, geologia, czy wyższych szkół pedagogicznych. Kierunki czy wydziały takie nie prowadzą zajęć z chemii jądrowej lub fizyki jądrowej i książka ta powinna być wykorzystywana jako źródło dodatkowych informacji, których nie ma w podręczniku chemii ogólnej lub chemii fizycznej. Wielu studentów tych kierunków zakończyło edukację z matematyki (a także z fizyki) już po 2-3 latach nauki w szkole średniej, nie zdając żadnych końcowych egzaminów z tych przedmiotów (matematyka na maturze nie jest obowiązkowa). Z książki tej uczą się też słuchacze podyplomowych studiów dla nauczycieli chemii (absolwenci niechemicznych wydziałów) i wielu z nich dysponuje nikłym zakresem wiadomości z fizyki i matematyki.

Warto może tu powołać się na autorytet światowej sławy fizyka i chemika-teoretyka, prof. Włodzimierza Kołosa, który zadał sobie trud napisania m.in. książki *Elementy chemii kwantowej sposobem niematematycznym wyłożone* (PWN 1984). W przedmowie prof. Kołos pisze: „Przyczyną powolnego wprowadzania elementów chemii kwantowej na niższym szczeblu nauczania jest chyba fakt, że autorzy wielu podręczników, skądinąd bardzo przystępnych, gdy omawiają problematykę chemii kwantowej, nie mogą oprzeć się pokusie napisania równania Schrödingera, skomplikowanych funkcji, całek itp. Na wielu czytelników działa to odpychająco i pogłębia fałszywy pogląd, że zrozumienie pojęć i wyników chemii kwantowej wymaga opanowania zaawansowanych metod matematycznych i tym samym przekracza możliwości przeciętnego człowieka”.

3. Krytyczne stwierdzenie o uproszczeniach i trywializacji problemów jest gołosłowne. Nawiasem mówiąc, nie bardzo rozumiem zastosowaną przez recenzenta gradację ocen prawdziwości twierdzeń: wątpliwe, nieprawdziwe, zaczerpnięte z prasy codziennej (co na to dziennikarze?).

— Informacje o Albercie Einsteinie uzyskałem z książki Roberta Jungka *Jaśniej niż tysiąc słońc* (PIW 1967, s. 220). Zamieściłem ją w zestawie literatury polecanej. Autor napisał tę książkę na podstawie rozmów przeprowadzonych w Europie i Ameryce Płn. z większością uczestników Programu Manhattan oraz z ich bliskimi. Rozmawiał także z najbliższą rodziną Einsteina.

— Informacje na temat czerwonej rtęci zaczerpnąłem m.in. od kolegów, którzy tą problematyką interesowali się bardziej szczegółowo. Końcowa moja konkluzja o istnieniu tego środka jest sceptyczna. Chciałem też podkreślić, że tego typu informacje są w książce wydzielone jako ciekawostki, a nie wiadomości naukowe.

— Krótką informację o Roentgenie zakończyłem jednym zdaniem, w którym chciałem podsumować ostatnie lata jego życia. Może wydźwięk tej konkluzji jest trochę za ostry i subiektywny. Roentgenowi nie odpowiadała atmos-

fera panująca w tamtym czasie na Uniwersytecie w Monachium. Należy przypomnieć, że właśnie w Monachium zaczęły się przemiany, którym w latach 30. uległy już całe Niemcy. Roentgen miał dość trudny charakter i jednocześnie był życiowo niezadany. Po śmierci żony uległ całkowitemu załamaniu i żył w nędzy. Jak należy traktować postawę jego kolegów z uczelni, którzy dopuścili do tego, że odkrywca jednego z najważniejszych zjawisk przeżył ostatnie swoje chwile w takich warunkach? Musiało to być efektem niechęci środowiska do Roentgena. Można przypuszczać, że na jego stan psychiczny wpłynęła wyjątkowo nieszczerą postawą znanego fizyka Lenarda, który za plecami Roentgena starał się umniejszyć wartość jego odkrycia. Lenard w swojej książce o odkryciach w fizyce (wydanej w 1922 r.) nie wspominał nawet jednym zdaniem o odkryciu promieni X. Postać Lenarda może przybliżyć fakt, że był twórcą tzw. niemieckiej fizyki i bliskim współpracownikiem Hitlera. Informacje te zaczerpnąłem z biografii napisanej przez prof. J. Hurwicę, autorytet w tej dziedzinie. Chciałem jeszcze dodać, że gdybym dbał o tanie sensacje, jak to mi zarzuca prof. Budyński, to podałem np. informację, że Roentgen nie miał matry.

4. Chyba jest oczywiste, że modele atomu Rutherforda i Bohra zostały opracowane na podstawie danych doświadczalnych. Istnienie protonów w jądrze ustalono doświadczalnie na długo przed odkryciem neutronu. Warto jednak pamiętać, że istnienie neutrin początkowo uznano tylko na podstawie teorii. Mendelejew ułożył układ okresowy pierwiastków na długo przed stwierdzeniem, że atom nie jest kresem podzielności materii.

— Cytowane przez recenzenta zdanie ze s. 20 uważam za potrzebne. Mówiąc o stanie wiedzy na pewnym etapie jej rozwoju, należy wspominać, że później dokonał się postęp.

— Krytyka zdania o wodorze – pierwiastku, który zawiera w jądrze tylko jeden proton, jest słuszna. Nie wiem natomiast, dlaczego Recenzent twierdzi, że jądro wodoru jest nuklidem. Wydaje mi się to tak samo nieprecyzyjnym sformułowaniem jak moje.

— Zgadza się, że w definicji izobarów powinien być użyty termin liczba masowa, a nie masa. Chcąc być tak skrupulatnym jak Recenzent, mógłbym zauważyć, że zrobił on błąd, cytując z książki parę izobarów ${}^3_1\text{H}$ i ${}^3_2\text{He}$. W książce jest prawidłowa para (${}^3_1\text{H}$ i ${}^3_2\text{He}$).

— Nie wydaje mi się, żeby termin „parzystość” był zarezerwowany tylko dla wielkości kwantowych. Mam pytanie: czy można używać terminu „liczby parzyste i nieparzyste”?

— W podręcznikach stosuje się także termin „miony”. Mion i neutrino mionowe są wymieniane w Modelu Standardowym (np. ostatni numer *Świata Nauki* z 1998 r., s. 78). Podobnie jest w opracowaniach encyklopedycznych, np. *Współczesnej encyklopedii fizyki* (PWN 1983) czy *Encyklopedii powszechnej PWN* (1997) – hasła opracowane przez fizyków.

— Fakt, że mezon μ^- znalazł się wśród bozonów, jest wynikiem błędu edytorskiego – kreska oddzielająca fer-

miony od bozonów została umieszczona o jeden rząd za wysoko. Niestety, nie zauważyłem tego w trakcie korekty. Natomiast w tekście wyraźnie jest podane, jakie cechy mają fermiony, a jakie bozony i widać, że błąd jest natury technicznej, a nie merytorycznej. Uważni Czytelnicy zwrócili mi na to uwagę.

— Zgadzam się, że symbol Q powinienem był opisać i powinienem być także konsekwentny w zapisie drugiej reakcji, chociaż wydaje mi się, że Czytelnik nie ma problemów z tego zrozumieniem.

— Zdanie o szybkości rozpadu zostało przez Recenzenta wyrwane z kontekstu i błędnie zinterpretowane. Komentarz Recenzenta nie bardzo pasuje do krytykowanych fragmentów. W związku z tym podaję cały ten fragment: „Na podstawie tych obserwacji Rutherford i Soddy w 1902 roku doszli do wniosku, że aktywność substancji promieniotwórczej maleje w czasie w sposób wykładniczy. Szybkość rozpadu można wyrazić stosunkiem $\Delta N/\Delta t$, w którym ΔN jest ubytkiem ilościowym substancji promieniotwórczej (wielkość ta może być przedstawiona liczbą atomów, liczbą moli lub jednostkami masy pierwiastka promieniotwórczego) ulegającej przemianie w czasie Δt . Wynik pomiaru jest tym dokładniejszy, im mniejszy jest przedział czasu, w którym mierzy się zmianę aktywności. Zależność tę zapisuje się w postaci różniczkowej: dN/dt , która jest wprost proporcjonalna do całkowitej liczby atomów N ulegających przemianie. A zatem:

$$-dN/dt = \lambda N$$

gdzie λ jest stałą rozpadu (często nazywaną także stałą zaniku). Znak minus oznacza, że ilość substancji promieniotwórczej maleje w czasie. Po przekształceniu równania do postaci:

$$dN/N = -\lambda dt$$

i wykonując kolejną operację matematyczną – całkowanie, otrzymuje się: $\ln(N_t/N_0) = -\lambda t$. Zależność tę można zapisać w postaci wykładniczej:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

W równaniu tym N_0 oznacza liczbę atomów obecnych w dowolnie obranej chwili początkowej, a N_t liczbę atomów pozostałych po upływie czasu t .

— O tym, że szybkość rozpadu promieniotwórczego jest wielkością statystyczną, piszę na następnej stronie: „Należy pamiętać, że szybkość rozpadu promieniotwórczego jest wielkością statystyczną. Oznacza to, że po czasie $T_{1/2}$ ulegnie rozpadowi połowa atomów promieniotwórczych, ale nie można wskazać, które atomy ulegną tej przemianie. Jeśli mamy na przykład 25 atomów, to nie możemy twierdzić, że po czasie $T_{1/2}$ ulegnie przemianie 12,5 atomu. Jest to bez sensu. Przemianie ulegnie (statystycznie) 12 lub 13 atomów (a może 11 lub 15) i podobna sytuacja będzie po następnym okresie $T_{1/2}$. Dokładność oznaczenia okresu półtrwania zależy od liczby atomów, których okres życia jest mierzony – w myśl prawa wielkich liczb. Im większa liczba atomów, tym większa dokładność i im mniejsza ich liczba, tym okres półtrwania

jako zmienna losowa określany jest z mniejszym prawdopodobieństwem”.

— Przeoczeniem korektorskim jest fakt, że w zdaniu: „wielkość ta może być przedstawiona liczbą atomów, liczbą moli lub jednostkami masy izotopu pierwiastka promieniotwórczego”, pominięte zostało słowo „izotop”.

— Zgadzam się, że na końcu zdania o betatronie powinno być „magnetycznym”, a nie „magnetycznym jądra”. Zgadzam się także, że tę informację powinienem był umieścić w innej części podręcznika, np. przy opisie betatronu.

— Zdanie o wytworzeniu atomów wodoru podczas przemiany β^- swobodnych neutronów jest kontynuacją opisu bardzo ciekawego eksperymentu, przeprowadzonego w Darmstadzie. Pozbawiony całkowicie elektronów niepromieniotwórczy izotop dysprozu (^{66}Dy) ulegał przemianie β^- , przy czym powstały elektron nie opuszczał atomu i lokował się na jednej z powłok atomu dysprozu. Jestem przekonany, że gdyby powiódł się podobny eksperyment, w którym elektron, pochodzący z przemiany β^- swobodnego neutronu, pozostałby na powłoce wokół wytworzonego protonu, to na pewno byłaby to sensacja wśród fizyków. W tym zresztą tonie utrzymany jest artykuł „Zdumiewający rozpad beta” znanego fizyka S. Mrówczyńskiego w czasopiśmie popularnonaukowym *Wiedza i Życie*, nr 6 (1995), s. 12.

— Nie rozumiem stwierdzenia, że wodoru jest dużo i nie trzeba go produkować. Chyba fizykom w ich badaniach nie zależy głównie na opracowaniu technologii produkcji przemysłowej, lecz raczej na tym, aby zbadać jeszcze jeden fenomen natury.

— Wcale nie chodziło mi o wytworzenie antywodoru, piszę o tym w innej części rozdziału (s. 31-32).

— Zasada efektu fotoelektrycznego na przykładzie oddziaływania fotonów promieniowania świetlnego z materią jest tłumaczona studentom pierwszych lat różnych wydziałów, a nie fizykom.

— W cytowanym zdaniu o przemianach jąder uranu chodziło o reakcje samorzutnego rozszczepienia, a nie o rozpad α , jak pisze Recenzent. O przemianie α izotopów uranu piszę na s. 102. Natomiast wartości czasów połowicznego zaniku jąder ulegających samorzutnemu rozszczepieniu (sf) dla uranu 235 i 238 można znaleźć w wielu źródłach, np. *Radiochemii* Niesmiejanowa oraz *Chemii izotopów* Brodskiego (patrz polecane pozycje na końcu książki) i są one takie, jak podałem w książce ($10^{15} - 10^{16}$ lat).

— Przepraszam za błąd edytorski: rzeczywiście Piotr Curie zginął w 1906 r.

— Czy Maria Skłodowska-Curie nie była przedstawicielką narodu polskiego? Sama ten fakt podkreślała przez całe swoje życie. Chciałbym zwrócić uwagę, że pisze się Skłodowska-Curie, a nie Curie-Skłodowska (ta kolejność nazwisk jest często błędnie stosowana; niestety, błąd ten tkwi nawet w nazwie UMCS). Wystarczy spojrzeć na fotografię oryginału dyplomu Nagrody Nobla z 1911 r. (rys. 7, s. 11). Nagroda ta została przyznana Marii Skłodowskiej-Curie za osiągnięcia naukowe i nie wymieniono na dyplomie ani narodowości, ani obywatelstwa Laureatki.

Należy też pamiętać, że Polski nie było wówczas na mapie Europy, więc tym bardziej osiągnięcie Marii Skłodowskiej-Curie miało olbrzymie znaczenie dla wszystkich Polaków. Czy sukces Olszewskiego i Wróblewskiego w skraplaniu powietrza był osiągnięciem Austriaków, czy Polaków? — Stwierdzenie Recenzenta, że w części chemicznej też są błędy jest gołosłowne.

5. Opis reakcji przemian protonu z udziałem neutrin został wyrwany z kontekstu. Cały tekst (s. 29) mówi, że przemiany te zachodzą w jądrze atomowym.

6. Sensacja zwana „zimną fuzją” zapoczątkowana została przez nieprecyzyjne prace Fleischmanna i Ponsa, które w następnych latach zostały poddane słusznej krytyce. Ciągłe jednak w pismach naukowych ukazują się informacje (por. *J. Electroanal. Chem.* **444**, 155 (1998)) o uzyskaniu rezultatów wskazujących na to, że zachodzi reakcja nowego typu. Nie uważam się więc za upoważnionego, aby stwierdzić, że badacze ci oszukują, tym bardziej, że niektórych znam z ich wcześniejszych bardzo dobrych i rzetelnych prac dotyczących innych zagadnień. Wiem, że wielu fizyków także twierdzi, że reakcja ta jest możliwa. Nie mogę obrażać tych wszystkich ludzi, którzy do tej pory rzetelnie badają to zjawisko i wyciągają na podstawie swoich eksperymentów wnioski sprzeczne z obowiązującymi obecnie kanonami. Stąd takie właśnie moje końcowe stwierdzenie o „zimnej fuzji”. Wydaje mi się jednak, że rzetelnie opisałem całą historię tego wydarzenia. Ponadto informacja ta jest zaznaczona w tekście jako tzw. ciekawostka. Chciałbym także zauważyć, że w końcu XIX w. wielu badaczy uważało, że oprócz paru szczegółów wszystko w fizyce już zostało wyjaśnione.

7. Opisanie tragicznych w następstwach prób przemytu materiałów promieniotwórczych zostało zamieszczone jako ostrzeżenie dla Czytelnika i nie myślę, że straci

ono na aktualności z czasem. Natomiast przeprowadzenie prób jądrowych przez Francuzów jest wydarzeniem historycznym, mającym wydźwięk ogólnoświatowy i świadczącym o łamaniu pewnych norm współistnienia narodów. Nie przypuszczałem, że z takich informacji trzeba się tłumaczyć.

8. Stwierdzenia o stylu, terminologii itd. są gołosłowne.

9. Wszystkie informacje są rzetelne i zaczerpnięte z poważnych źródeł i myślę, że Recenzent powinien sam najpierw sprawdzić informacje przed podaniem zarzutu o ich nieprawdziwości. Recenzent sugeruje, że jestem nastawiony tylko na sukces wydawniczy. Jeżeli sukces wydawniczy polega na zainteresowaniu książką maksymalnej liczby czytelników, to myślę, że każdy autor do tego dąży i nie ma w tym nic nagannego.

Niestety, moja książka nie była poprzedzona skryptem (jak większość wydawanych podręczników), w którym już wcześniej mógłbym zauważyć błędy i niedociągnięcia. Na pewno w wydaniu tej książki są błędy, których nie udało mi się zauważyć pomimo wielu konsultacji i korekt. O tym, jak trudno uniknąć błędów, może świadczyć omawiana recenzja, w której Recenzent, krytykując zawartość książki, sam popełnił kilka błędów merytorycznych na zaledwie kilku stronach tekstu. Można tu jednak powiedzieć, że nie popełnia błędów ten, kto nic nie robi.

Pragnę podziękować Recenzentowi za trud włożony w opracowanie tej opinii.

Andrzej Czerwiński
Wydział Chemii UW
Warszawa

LISTY DO REDAKCJI

Adam Dziewoński laureat Nagrody Crafoorda 1998

W Kronice 5/98 ukazała się notatka o przyznaniu Nagrody Crafoorda w 1998 r. dwóm geofizykom. Chciałbym tutaj podać nieco więcej informacji o jednym z nich.

Przypomnijmy najpierw, że ufundowana w roku 1980 Nagroda Crafoorda przyznawana jest corocznie przez Królewską Szwedzką Akademię Nauk w dziedzinach nie objętych Nagrodą Nobla. Nagroda ta przyznawana jest cyklicznie w pięciu dziedzinach: matematyki, astronomii, nauk o Ziemi, nauk biologicznych i reumatologii. Po raz pierwszy przyznana została w roku 1982 w dziedzinie matematyki, a w 1997 r. w dziedzinie astronomii. W roku 1998 przyznano Nagrodę Crafoorda w dziedzinie nauk o Ziemi (500 tys. USD), a otrzymali ją prof. Don L. Anderson (California Institute of Technology, Pasadena, USA) oraz prof. Adam M. Dziewoński (Harvard University, Cambridge, USA) za ich fundamentalny wkład do wiedzy o strukturze i procesach we wnętrzu Ziemi. Nagrodę przyznaje ten sam komitet, który przyznaje Nagrody Nobla. Laureaci Nagrody Crafoorda odebrali ją z rąk króla Szwecji podczas specjalnej ceremonii, która odbyła się 16 września 1998 roku w Sztokholmie.

Adam Marian Dziewoński urodził się we Lwowie w 1936 r. Studiował na Uniwersytecie Warszawskim na ówczesnym Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii. Jeszcze jako student w ramach II Międzynarodowego Roku Geofizycznego prowadził pomiary elementów ziemskiego pola magnetycznego w obserwatorium magnetycznym Cha-Pa w Wietnamie. Studia ukończył w 1960 r. (specjalizacja: geofizyka), pisząc pracę magisterską „Dobowe zmiany aktywności magnetycznej w strefie równikowej”, opartą na magnetogramach zarejestrowanych w stacji Cha-Pa. Pracował w Zakładzie (obecnie Instytucie) Geofizyki PAN w Warszawie, a doktorat uzyskał na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 1964 r. w zakresie sejsmologii (sejsmogramy syntetyczne). W roku 1965 wyjechał do Stanów Zjednoczonych, gdzie kontynuował badania naukowe najpierw na Uniwersytecie Teksaskim w Dallas, a od 1972 r. do chwili obecnej na Uniwersytecie Harvarda.

Adam Dziewoński otrzymał Nagrodę Crafoorda za wybitne osiągnięcia w badaniu budowy i dynamiki wnętrza Ziemi. Jest autorem i współautorem szeregu metod analizy i interpretacji fal sejsmicznych generowanych przez trzęsienia Ziemi, mechanizmu ogniska trzęsienia Ziemi i tomografii sejsmicznej. Wspólnie z profesorem Donem L. Andersonem opracował model budowy Ziemi PREM (Preliminary Reference Earth Model), który przez wiele lat stanowił i stanowi nadal odniesienie dla porównań strukturalnych i procesów dynamicznych. Dziewoński jest autorem metody badania mechanizmów trzęsienia Ziemi (inwersja centroidalnego tensora momentu sejsmicznego) opartej na zapisie fal sejsmicznych. Kierowana przez niego tzw. Grupa Harvardzka corocznie publikuje wyniki badań mechanizmów dla kilkuset największych trzęsień. Profesor Dziewoński jest również twórcą globalnej tomografii sejsmicznej. Wykorzystując różnice prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych, można sporządzać mapy wnętrza Ziemi. Dzięki temu można m.in. obserwować geometrię chłodniejszych płyt litosferycznych zanurzających się w cieplejszym płaszczu Ziemi, aż do granicy z ciekłym jądrem zewnętrznym (warstwa D''). Ma to ogromne znaczenie w badaniach procesów dynamicznych odpowiedzialnych za dryf kontynentów, trzęsienia Ziemi, współczesne ruchy tektoniczne i wulkanizm. Dziewoński działa również bardzo aktywnie w organizowaniu światowej sieci stacji seismologicznych. Obecnie jest przewodniczącym Komitetu Wykonawczego IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), konsorcjum uniwersytetów i instytutów badawczych w dziedzinie seismologii i badań wnętrza Ziemi. Nowy program rozwoju światowej sieci stacji seismologicznych uwzględnia jej rozszerzenie na obszary oceaniczne (szerokopasmowe seismografy denne).

Profesor Adam M. Dziewoński będzie w tym roku uczestnikiem XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku, gdzie wygłosi wykład na temat budowy wnętrza Ziemi i procesów w nim zachodzących.

Marek Grad

Instytut Geofizyki UW
Warszawa

PTF

Oddział Katowicki

Dnia 15 grudnia 1998 r. odbyło się walne zebranie Oddziału Katowickiego. Ustępujący Zarząd, któremu przewodniczył Jerzy Warczewski, przedstawił sprawozdanie z dwuletniej działalności.

Oddział Katowicki liczy obecnie 55 członków, wśród nich 3 emerytów. W czasie ubiegłej kadencji znacznie wzrosła liczba członków – przyjęto 35 nowych, a skreślono 1 osobę. Wzrosła również z 12 do 18 liczba prenumeratorów *Postępów Fizyki*.

W okresie sprawozdawczym zorganizowano 23 konwersatoria, które cieszyły się dużą popularnością; brało w nich udział od 40 do 200 słuchaczy. Każdorazowo ogłoszenia o konwersatoriach ukazywały się w *Dzienniku Zachodnim* – największej gazecie codziennej na naszym terenie. Niejednokrotnie w gazecie tej ukazywały się również dłuższe artykuły i wywiady z zapraszonymi na konwersatoria wykładowcami.

W 1997 r. Oddział zorganizował XXXIV Zjazd Fizyków Polskich, który odbył się w dniach 15–18 września 1997 r. w Katowicach.

Członkowie naszego Oddziału biorą również udział w pracach Grupy Twórczej „Kwark” działającej przy Pałacu Młodzieży w Katowicach.

Na walnym zebraniu wybrano nowy Zarząd w składzie: przewodniczący – Andrzej Burian, z-ca przewodniczącego – Karol Kołodziej, sekretarz – Józef Komraus, skarbnik – Stanisław Kubiak, członek – Urszula Woźnikowska-Bezak.

Wiktor Zipper

Oddział Kielecki

W dniu 25 listopada 1998 r. odbyło się walne zebranie sprawozdawczo-wyborcze Oddziału. Przewodniczący ustępującego Zarządu, Marek Pajek, złożył sprawozdanie z działalności Oddziału w okresie 27.6.95 – 25.11.98. Działalność Oddziału skupiała się głównie na organizowaniu seminariów naukowych. W okresie od września 1997 r. odbyło się 18 spotkań z udziałem członków naszego Oddziału oraz gości z innych ośrodków naukowych w kraju i za granicą. W ramach działalności związanej z popularyzacją fizyki Oddział współpracuje ze Studentkim Kołem Naukowym „Kwant”, a także wspólnie z Wojewódzkim Ośrodkiem Metodycznym organizuje wykłady dla uczniów i nauczycieli szkół średnich.

Ustępującemu Zarządowi udzielono absolutorium większością głosów i wybrano nowy Zarząd w składzie: przewodniczący – Zbigniew Włodarczyk, z-ca przewodniczącego – Kazimierz Dworecki, sekretarz – Dariusz Ba-

naś, skarbnik – Jacek Semaniak, członek – Marek Pajek. Oddział liczy 36 członków.

Małgorzata Suchańska

Międzynarodowa Komisja Optyczna

Kolejne, coroczne posiedzenie Zarządu Międzynarodowej Komisji Optycznej (ICO) odbyło się 2 sierpnia 1998 r. Tym razem byliśmy gośćmi Uniwersytetu Nankai w Tianjin (Chiny), gdzie dzień później rozpoczęła się Międzynarodowa Konferencja ICO „Optics for the Information Infrastructure”.

Jak zwykle porządek posiedzenia był bogaty i mimo sprawnego prowadzenia przez przewodniczącego ICO, prof. Toshimitsu Asakurę (Uniwersytet Hokkaido, Sapporo, Japonia) i sekretarza dra Pierre'a Chavela (Instytut Optyki CNRS, Orsay, Francja) część spraw omawiana była dnia następnego.

Prócz rutynowych spraw organizacyjnych dyskutowane były żywo problemy związane z ogólnymi tendencjami rozwoju optyki na świecie i jej organizacją, a przyszłością ICO w szczególności. W swoim sprawozdaniu prof. Asakura omówił propozycje zmian organizacyjnych w ICO, których wprowadzenie wyszłoby naprzeciw oczekiwaniom i potrzebom międzynarodowego środowiska optyków.

ICO – istniejąca już ponad 50 lat międzynarodowa organizacja środowiska optycznego jest komisją afiliowaną przy IUPAP. Z tego względu ma strukturę wywodzącą się z formuły ICSU (International Commission of Scientific Unions), co oznacza, że członkami ICO nie są ani osoby fizyczne, ani organizacje, lecz kraje. Jest ich w tej chwili ponad 45 i pokrywają znaczącą część globu ziemskiego. Jednym z głównych zadań ICO jest promocja optyki poprzez udział w organizacji konferencji międzynarodowych, szkół tematycznych, czy pomoc w rozwoju optyki tam, gdzie sytuacja regionu tego wymaga. Jest to m.in. realizowane we współpracy z Międzynarodowym Centrum Fizyki Teoretycznej w Triście.

Jednakże ICO nie jest jedyną organizacją optyczną na świecie, nie pokrywa obecnie całego obszaru nauki należącej do szeroko pojętej optyki i nie ma monopolu na reprezentowanie interesów całego środowiska. Wiele międzynarodowych działań organizowanych jest poza ICO lub z jej tylko częściowym udziałem. Najprężniejsze i największe z równoległe działających organizacji to Amerykańskie Towarzystwo Optyczne (Optical Society of America – OSA), Międzynarodowe Towarzystwo Inżynierii Optycznej (International Society for Optical Engineering – SPIE), IEEE Lasers and Electrooptics Society, European Physical Society Quantum Electronics and Optics Division, European Optical Society oraz Asia-Pacific Optical Federation. Ich przedstawiciele są od lat zapraszani do

współpracy z ICO i na prawach obserwatorów uczestniczą w posiedzeniach Komisji. Dziś już to nie wystarcza. Odczuwa się potrzebę integracji i koordynacji wysiłków wszystkich organizacji optycznych, a ICO chce być gotowe do nowych wyzwań i wymagań stawianych przez szeroko pojętą społeczność optyków.

Również optyka jako hasło jest obecnie różnie pojmowana. Mówi się czasami zamiennie o optoelektronice lub fotonice. Dzięki rozwojowi nowych technologii, metody optyczne stają się konkurencyjne w wielu dziedzinach nauki i techniki. Uprawiane są one nie tylko przez specjalistów wywodzących się z fizyki, ale również przez inżynierów reprezentujących różnorodne specjalności techniczne i pracujących w przemyśle. Środowisko przestało być jednorodne, a to stworzyło nowe potrzeby, pojawiły się nowe pytania. A może optyka powinna stać się odrębną dyscypliną nauki? Ale czy wtedy nazwa powinna być zachowana, czy może lepiej zastąpić ją tak modnym obecnie terminem „fotonika”?

Problem aktualnych dążeń w optyce współczesnej był szczegółowo omawiany przez prof. Arthura T. Guenthera, jednego z obecnych wiceprzewodniczących ICO z Uniwersytetu stanu Nowy Meksyk (USA). Zapoznał on nas z raportem przygotowanym przez Komitet Nauk Optycznych i Inżynierii Narodowej Komisji Badań (Committee on Optical Science and Engineering of National Research Council) w USA. Raport ten jest obecnie dostępny w postaci książkowej pt. *Harnessing Light. Optical Science and Engineering for the 21st Century*. Omawia rolę, perspektywy i problemy rozwoju metod optycznych w nadchodzącym wieku.

Jak widać, nie tylko w ICO trwają obecnie dyskusje i prace nad zmianami organizacyjnymi i integracją środowiska optyków na świecie. ICO ze swojej strony proponuje nową kategorię członków: oprócz członkostwa komitetów terytorialnych, reprezentujących kraje, możliwe byłoby członkostwo towarzystw międzynarodowych. Pozwoliłoby to na zjednoczenie wysiłków w celu promocji optyki we wszystkich jej aspektach, wyeliminowało niepotrzebną często rywalizację i chaos w harmonogramach konferencji międzynarodowych. Czy zostanie to pozytywnie przyjęte przez środowisko? Za wcześniej o tym przesądzać. Optymizm budzi powstanie amerykańskiej Koalicji Fotoniki i Optyki (Coalition for Photonics and Optics – CPO), do której od ponad dwóch lat należą dwie największe organizacje optyczne – OSA i SPIE, jedna z nich o profilu raczej akademickim, a druga zrzeszająca również inżynierów optyków z różnych dziedzin przemysłu. ICO i Europejskie Towarzystwo Optyczne są w Koalicji na prawach tzw. obserwatorów międzynarodowych.

Z rutynowych punktów agendy posiedzenia Komisji chciałabym skoncentrować się tylko na dwóch najciekawszych:

1) tegoroczna Nagroda ICO jest nagrodą zespołową, przyznaną Davidowi Mendlovicowi z Uniwersytetu w Tel Awiwie (Izrael) i Haldunowi Ozaktasowi z Uniwersytetu Bilkent w Ankarze (Turcja) za ich znaczący wkład w rozwój metod z dziedziny optycznego przetwarzania infor-

macji (optics in computing), a w szczególności za ich wspólne pionierskie prace nad ułamkową transformatą Fouriera (Fractional Fourier Transform) i jej zastosowaniami;

2) tegoroczny Medal Galileo Galilei przyznany został drowi Ajokowi K. Ghatakowi (Indie) za znaczący wkład w dziedzinę światłowodowych, zintegrowanych i gradientowych układów optycznych oraz za stworzenie w ramach Indyjskiego Instytutu Technologicznego w New Delhi zespołu badawczego, znaczącego na arenie międzynarodowej.

Kolejne posiedzenie Zarządu ICO przewidziane jest na początek sierpnia 1999 r.; odbędzie się ono w San Francisco tuż przed kongresem ICO-18 „Optics for the Next Millennium”.

Katarzyna Chałasińska-Macukow

Nagroda Wolfa za kwazikryształy

Prestigious Nagrodę Wolfa, przyznaną przez izraelską Fundację Wolfa, otrzymał w 1999 r. Dan Shechtman (Technion, Haifa) za odkrycie kwazikryształów.

Przypomnijmy, że kwazikryształy nie mają periodycznej struktury sieci, wykazują jednak porządek dalekiego zasięgu. W 1982 r. Shechtman odkrył pięciokrotną symetrię w stopie aluminium i manganu. Odkrycie to, aczkolwiek początkowo wzbudzało niedowierzanie i ostrą krytykę krytalografów, okazało się niezmiernie płodne i dało początek nowej dziedzinie badań fizyki fazy skondensowanej. W *Postęпах* zamieściliśmy przed laty dwa artykuły o kwazikryształach (*PF* 39, 55 (1988) i 40, 3 (1989)).

Phys. World 12, nr 2 (1999)

B. W.

Medal Maksa Plancka

Medal Maksa Plancka, najwyższe odznaczenie Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego przyznawane za osiągnięcia w fizyce teoretycznej, otrzymał w 1999 r. Pierre Hohenberg, profesor Uniwersytetu Yale'a (USA). Został uhonorowany za znaczący wkład do kwantowej teorii fazy skondensowanej (funkcjonał gęstości, przejścia fazowe, wpływ grawitacji i powierzchni w okolicy punktów krytycznych). Prace Hohenberga inspirowały również badania doświadczalne w tych dziedzinach.

Phys. Bl. 55, nr 1 (1999)

B. W.

Polskie Towarzystwo Rozpraszania Neutronów

Polscy fizycy reprezentujący ośrodki naukowe Krakowa, Poznania, Warszawy i Wrocławia, prowadzący badania własności materii metodą rozpraszania neutronów, utworzyli w 1997 r. Polskie Towarzystwo Rozpraszania Neutronów. Celem powstałego Towarzystwa jest:

- a) konsolidacja środowiska poprzez organizowanie wspólnych seminariów,
- b) pomoc w rozbudowie krajowej bazy aparaturowej oraz w organizowaniu dostępu polskich naukowców do źródeł neutronowych na świecie,
- c) utrzymywanie kontaktów naukowych z innymi krajami, w szczególności poprzez Europejskie Towarzystwo Rozpraszania Neutronów (ETRN),
- d) pomoc młodym naukowcom w rozwoju naukowym.

Towarzystwo w dniu 8 grudnia 1997 r. zostało przyjęte do ETRN. W obecnej chwili Towarzystwo skupia ok. 50 członków. Zarząd działa w składzie: prof. Andrzej Szytuła – przewodniczący, prof. Jerzy Janik – wiceprzewodniczący, dr Maria Bałanda – skarbnik, dr Małgorzata Kolenda – sekretarz oraz członkowie: prof. Kazimierz Mikke, prof. Wojciech Nawroć, prof. Robert Troć. Towarzystwo było współorganizatorem dwóch seminariów: 26–28 listopada 1997 r., w Chlewiskach k. Siedlec, Ogólnopolskiego Seminarium Rozpraszania Neutronów (współorganizatorami były Instytut Chemii Wyższej Szkoły Rolniczo-Pedagogicznej w Siedlcach, Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie oraz Instytut Fizyki UJ) oraz 18–20 października 1998 r. w Mądralinie k. Otwocka (współorganizatorzy: Instytut Energii Atomowej i Instytut Fizyki UJ). Kolejne seminarium odbędzie się 29.4–1.5.99 w Poznaniu.

Bardzo dobrze układa się współpraca z ETRN. Dzięki temu 4 młodych fizyków wzięło udział w szkole zorganizowanej przez Towarzystwo w Zuoz (Szwajcaria), poświęconej promieniowaniu neutronowemu i synchrotronowemu, jedna zaś osoba uczestniczyła w szkole w Wielkiej Brytanii na temat zastosowania mionów.

Dla osób zainteresowanych dodatkowymi informacjami o Towarzystwie podaję adres elektroniczny: szytuła@if.uj.edu.pl.

Andrzej Szytuła

Izrael członkiem stowarzyszonym ESRF

W styczniu 1999 r. Izrael uzyskał status członka stowarzyszonego Europejskiego Laboratorium Promieniowania Synchrotronowego (European Synchrotron Radiation Facility, ESRF) w Grenoble.

Jest to już drugi, po Portugalii, członek stowarzyszonego tego laboratorium; będzie opłacać 1% kosztów bieżących i dzięki temu izraelskim naukowcom przysługiwają będą te same prawa, co ich kolegom z 12 krajów członkowskich ESRF (Belgia, Dania, Finlandia, Francja, Hiszpania, Holandia, Niemcy, Norwegia, Szwajcaria, Szwecja, Wielka Brytania, Włochy).

Podjęmowane są starania, by Polska wraz z Czechami i Węgrami także została członkiem stowarzyszonego ESRF.

Phys. Bl. 55, nr 1 (1999)

B. W.

Doktorat honoris causa Politechniki Wrocławskiej dla Mojsieja I. Kaganowa

W dniu 8 października 1998 r., na uroczystości inauguracji roku akademickiego 1998/99, nadano tytuł doktora honoris causa Politechniki Wrocławskiej prof. M.I. Kaganowowi. Jest on uczniem Ilii M. Lifszycza i należał do szeroko pojętej szkoły fizyki teoretycznej Lwa Landaua, będąc jednym z jej najwybitniejszych przedstawicieli.

Kaganow, urodzony w 1921 r. w Łubnach na Ukrainie, został zmobilizowany w 1939 r. do oddziałów obrony wybrzeża Morza Czarnego. Studia fizyczne rozpoczął na Uniwersytecie Charkowskim bezpośrednio po demobilizacji w 1946 r. Ukończył je w trzy lata później. Do 1970 r. wykładał na Uniwersytecie Charkowskim, pracując jednocześnie we Wszechzwiązkowym Instytucie Fizyki i Techniki Niskich Temperatur w Charkowie. Od 1970 r. pracował w Instytucie Problemów Fizycznych (obecnie imienia P.L. Kapicy), jednocześnie wykładając na Uniwersytecie Moskiewskim, aż do odejścia na emeryturę w 1994 r. Od tego czasu przebywa w Belmont, przedmieściu Bostonu w USA.

Kaganow specjalizował się początkowo w elektronice teoretycznej, później w szeroko pojętej elektronowej teorii metali. Jest on również autorem istotnych prac dotyczących kinetyki nadciekłego helu w geometrii ograniczonej. W dziedzinie elektronowej teorii metali Kaganow jest m.in. współautorem podstawowych praw, pozwalających na podstawie magnetooporu poprzecznego i zjawiska Halla stwierdzić, z jaką topologią powierzchni Fermiego mamy do czynienia. Jest on również współautorem podstawowych prac dotyczących fal spinowych w ferromagnetykach i antyferromagnetykach, opisujących zwłaszcza rozproszenie elektronów i fononów na magnonach, a także teorii elektromagnetycznego przekształcania fali dźwiękowej padającej na kryształ oraz fundamentalnych prac, wychodzących z pierwszych zasad, dotyczących impedancji powierzchniowej polikryształów. Wiele zawdzięcza mu również teoria rozpraszania dźwięku w metalach.

Profesor Kaganow był od 1971 r. częstym gościem w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej, Międzynarodowym Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych i Niskich Temperatur oraz Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego. Często był wykładowcą Szkół Fizyki Teoretycznej organizowanych przez Uniwersytet Wrocławski. Zawsze był wtedy zapraszany przez młodych uczestników Przedszkola Fizyki Teoretycznej do wygłaszania wykładu popularnego. Na Politechnice Wrocławskiej prowadził wykłady specjalistyczne. Tu i w innych wymienionych wcześniej placówkach naukowych wygłaszał referaty na seminariach.

Profesor Kaganow jest współautorem prac fizyków wrocławskich – prof. J. Czerwonki (PWr) i prof. T. Paszkiewiczza (UWr). Należy podkreślić jego działalność popularyzatorską w języku polskim: ukazały się dwie książki,

w szczególności wydane przez Uniwersytet Wrocławski *Etiudy o fizyce ciała stałego* (1993) – książka, która nie ma swojego rosyjskiego odpowiednika, oraz dłuższy artykuł w *Postęпах Fizyki* (40, 309 (1989)), stanowiący próbę ogólnego, refleksyjnego podsumowania osiągnięć fizyki ciała stałego.

Promotorem doktoratu honorowego M.I. Kaganowa był prorektor PWr, prof. Lucjan Jacak. Zastosowano tu metodę „przez pokolenie naukowe”, jako że prof. Jacak był w latach siedemdziesiątych wypromowany przez niżej podpisanego.

Jerzy Czerwonko

Stypendia krajowe FNP dla najlepszych młodych badaczy

W 1999 r. Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej przyznała już po raz siódmy roczne stypendia najlepszym młodym (do 30 lat) pracownikom nauki i doktorantom, posiadającym dorobek naukowy udokumentowany publikacjami w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Stypendia, tak jak inne subwencje FNP, przyznawane są na drodze konkursu. Wpłynęło 310 wniosków; laureatami zostało 101 osób, wśród nich 10 fizyków, jeden agrofizyk i jedna biofizyczka. W tym roku stypendium wynosi 16 320 zł i jest wolne od podatku dochodowego.

Oto nasi wyróżnieni młodzi badacze: Michał Herbich (UW), Agnieszka Jaroń (UW), Franciszek Krok (UJ), Małgorzata Makowska-Janusik (WSP, Częstochowa), Paweł Moskal (UJ), Paweł Możejko (PG), Beata K. Płonka (UJ – biofizyka), Jarosław Pytka (PL – agrofizyka), Michał Rams (UJ), Anna Staśto (IFJ, Kraków), Maciej Wiśniewski (UMK), Dariusz M. Wysoczański (PWr).

B. W.

W Niemczech więcej funduszy na naukę

Rząd RFN postanowił podnieść finansowanie nauki i edukacji o 6,4%. Jest to pierwsza od wielu lat podwyżka przekraczająca inflację. Taki wzrost planowany jest również w następnych 5 latach.

— Wreszcie kształcenie i nauka stają się najwyższym priorytetem Niemiec — powiedział Edelgard Bulmahn, minister badań i edukacji RFN.

Phys. World 12, nr 2 (1999)

B. W.

We Francji obcinanie budżetów wielkich urzędzeń

Według angielskiego czasopisma *Physics World* rząd Francji ma obciąć budżety wielkich urzędzeń o ok. 10%, a także ma zamiar opóźnić płaconie należności Francji za udział w wielkich naukowych przedsięwzięciach międzynarodowych.

Zamierzeniem rządu francuskiego jest skierowanie oszczędności w finansowaniu wielkich urzędzeń do laboratoriów „mniejszych” fizyki. Dyrekcje ośrodka GANIL

w Caen i urzędzenia Vivitron w Strasburgu obawiają się, że taka polityka finansowa może zagrozić planowanemu rozwojowi i właściwemu wykorzystaniu ich laboratoriów.

Phys. World 12, nr 2 (1999)

B. W.

Biografie Heisenberga i Einsteina w Internecie

Centrum Historii Fizyki Amerykańskiego Instytutu Fizyki udostępniło w Internecie biografię Wernera Heisenberga (1901 – 1976), jednego z twórców mechaniki kwantowej, przygotowaną przez Davida Cassidy'ego z Hofstra University (USA), autora bardzo obszernej książki *Uncertainty: the Life and Science of Werner Heisenberg*.

Opracowanie zawiera krótkie chronologiczne zestawienie faktów z życia Heisenberga, szczegółową biografię wraz z tłem historycznym, bogato ilustrowaną fotografiami, wyjątki z książki Heisenberga *Fizyka i filozofia* (1958), bibliografię jego prac oraz zestawienie książek i artykułów (głównie w języku angielskim), przedstawiających różne aspekty życia i twórczości Heisenberga. Wszystko to można znaleźć na stronie www.aip.org/history/heisenberg.

Bardzo obszerną biografię Alberta Einsteina (1879 – 1955) zebrało Centrum Historii Fizyki AIP, wykorzystując materiały zebrane z okazji przygotowywania wystawy objazdowej w stulecie urodzin uczonego. W przygotowanie i redagowanie tekstów zaangażowanych było wielu historyków nauki, a opracowane materiały rozesłane były do prawie tysiąca instytucji w USA i innych krajach celem sprawdzenia i ewentualnego uzupełnienia.

Opracowanie zawiera chronologię życia Einsteina, kilkanaście pięknych fotografii, bibliografię książek Einsteina i o Einsteinie, najważniejsze informacje o jego dokonaniach w fizyce, udziale w życiu politycznym, karierze i życiu rodzinnym (www.aip.org/history/einstein). Są tam także połączenia internetowe do innych stron związanych z Einsteinem.

B. W.

Granular Matter

W maju 1998 r. ukazał się pierwszy zeszyt nowego czasopisma *Granular Matter*. Redaktorami są: Robert P. Behringer (Uniwersytet Duke'a, Durham, N.C., USA) i Hans J. Herrmann (Uniwersytet Stuttgarcki, Niemcy), a wydawcą Springer Verlag.

Już od kilkunastu lat fizycy zainteresowani materią ziarnistą stosują w jej badaniu metody fizyki statystycznej. Inżynierowie, geologowie, chemicy mają zwykle inne podejście i inny język. *Granular Matter* ma stworzyć wspólne forum badaczy zajmujących się tą dziedziną oraz ułatwić wzajemne zrozumienie i współpracę. Ma też skupić wyniki badań, rozproszone dotychczas w różnych czasopismach.

B. W.

Siergiej W. Wonsowski
(1910 – 1998)

11 sierpnia 1998 r. zmarł wybitny fizyk rosyjski Siergiej Wonsowski. Urodził się w Taszkencie w 1910 r. w rodzinie polskiego zesłańca 1863 r. (warto powiedzieć, że prof. Wonsowski pamiętał o swoich polskich przodkach i często podkreślał polski rodowód swojej rodziny).

Był absolwentem Uniwersytetu Leningradzkiego, który ukończył w 1932 r. Następne 60 lat przepracował w Instytucie Fizyki Metali Akademii Nauk w Świerdłowsku (obecnie Jekaterynburg). Zasadnicza część dorobku naukowego Wonsowskiego dotyczy fizyki metali, głównie metali przejściowych. Jeszcze w latach 30. wspólnie ze swoim nauczycielem S.P. Szubinem stworzył teorię metali uwzględniającą współistnienie elektronów wędrownych i zlokalizowanych. W 1946 r. opublikował teorię metali magnetycznych z uwzględnieniem wymiany s-d. Zasadnicze idee modelu są nadal aktualne. W ramach modelu s-d Wonsowski zbadał problem nadprzewodnictwa w metalach z porządkiem ferromagnetycznym.

Zainteresowania naukowe prof. Wonsowskiego obejmowały szeroki zakres zagadnień, od mechanizmów odpowiedzialnych za powstanie porządku magnetycznego aż do procesów magnesowania magnetyków. Był on autorem wielu monografii, z których najbardziej znane to *Magnetyzm* (1971) (przetłumaczona na język angielski i wydana w 1974 r.), *Nadprzewodnictwo metali i stopów* i *Kwantowa teoria ciała stałego* (obie te książki opublikowała w wersji angielskiej wydawnictwo Springer).

Od 1958 r. prof. Wonsowski był członkiem Komisji Magnetycznej IUPAP-u. Był on również członkiem rady wydawniczej czasopisma *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*.

Henryk Szymczak

Piotr Modrak
(1939 – 1999)

Profesor Piotr Modrak był uczonym o wyjątkowych kwalifikacjach dla specjalności z pogranicza fizyki i chemii, reprezentowanych przez Instytut Chemii Fizycznej, instytucję, z którą przez większość swego życia był związany. Był absolwentem dwu wydziałów Uniwersytetu Warszawskiego: najpierw Chemii (1961), a wkrótce potem Matematyki i Fizyki, ze specjalnością fizyka (1964), uzyskaną pod kierunkiem jednego z najwybitniejszych fizykochemików polskich, prof. Włodzimierza Kołosa. Zaraz po uzyskaniu magisterium z chemii rozpoczął pracę zawodową na Wydziale Chemii UW jako asystent w ówczesnej Katedrze Chemii Fizycznej. Po ukończeniu studiów fizycznych przystąpił do studiów doktoranckich w Instytucie Chemii Fizycznej PAN. Tu uzyskał stopnie naukowe doktora (1969), a potem doktora habilitowanego (1977) w zakresie fizyki. Swe badania wykonywał najpierw pod kierunkiem, a później w bliskiej współpracy z prof. Stanisławem Olszewskim, założycielem Zakładu Kwantowej Teorii Ciała Stałego w IChF, a także

z prof. Bogdanem Baranowskim, z którego Zakładu zespół prof. Olszewskiego się przed laty wyodrębnił. Tematyką jego prac była kwantowa teoria ciał stałych. Tematem rozprawy doktorskiej były równania pola samouzgodnionego z korelacjami dla atomowych układów wieloelektronowych, zaś habilitacyjnej – wpływ domieszek niemagnetycznych na własności ferromagnetyków opisanym hamiltonianem Heisenberga. Charakterystyczne dla dalszych prac Piotra Modraka jest zainteresowanie strukturą elektronową ciał stałych w obszarze przypowierzchniowym i jej związek ze zjawiskami zachodzącymi na powierzchni tych ciał, w tym zwłaszcza procesów relaksacji i segregacji powierzchniowej, tak ważnych dla wielu procesów chemicznych, np. katalizy heterogenicznej. Na podstawie dorobku w tej dziedzinie Piotrowi Modrakowi nadano tytuł naukowy profesora w dziedzinie nauk chemicznych.

Charakterystyczną cechą prof. Modraka, z której znany był szeroko, było perfekcyjne podejście do podejmowanych i rozwiązywanych problemów. Dzięki temu jego prace były szczególnie cenione, dzięki temu też cieszył się zaufaniem swego środowiska. Wyraziło się to m.in. w społecznym wyborze do Rady Placówek Polskiej Akademii Nauk, organu powołanego w okresie transformacji przez prezesa PAN, a także w wyborze do Komitetu Chemii PAN. Odznaczony był Złotym Krzyżem Zasługi (1990).

Piotr Modrak był wyjątkowo głęboko zaangażowany w działalność dydaktyczną. Przez kilka lat był kierownikiem Studium Doktoranckiego IChF PAN; w czasie tym Studium przeżywało jeden ze swych najlepszych okresów. Owocnie współpracował z wyższymi uczelniami, m.in. był prorektorem Szkoły Nauk Ścisłych, niepaństwowej wyższej uczelni w Warszawie.

Przez ostatnie dwie kadencje był wicedyrektorem do spraw naukowych IChF PAN, szczerze oddanym swej instytucji i reformom, którym jest poddawana. Włożył wiele wysiłku w pracę dla dobra Instytutu. Odczuwali to wszyscy, szczególnie zaś młodzi pracownicy nauki. Zajmował się nimi serdecznie i troskliwie, nie rezygnując jednak nigdy z wysokich wymagań naukowych. To takiej właśnie postawie swoich pracowników, jakiej wzorem był prof. Modrak, Instytut Chemii Fizycznej zawdzięcza to, że uzyskany tam stopień naukowy znaczy naprawdę dużo. Choroba przerwała działalność Piotra Modraka w okresie pełnego rozwoju jego inwencji twórczej i organizacyjnej. To wielka strata dla naszego środowiska, dla instytucji, z którymi przez lata swego jakże pracowitego życia był silnie związany i które z jego aktywnością wiązały duże nadzieje na przyszłość.

Zmarł 31 stycznia 1999 r.

Janusz Lipkowski

Stanisław Mrozowski
(1902 – 1999)

W dniu 22 lutego 1999 r. zmarł w Fort Lauderdale (Floryda, USA) prof. Stanisław Mrozowski, doktor hono-

ris causa Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Uniwersytetu w Bordeaux (Francja) i Ball State University w Muncie (Indiana, USA), członek honorowy Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Urodził się w Warszawie 9 lutego 1902 r. Studiował fizykę na Uniwersytecie Warszawskim, a potem, w latach 1925–39, był pracownikiem naukowym tego Uniwersytetu (od 1934 r. jako docent). Od początku sierpnia 1939 r. pracował w USA (1939–40 jako *research fellow* w Laboratorium Promieniowania (Radiation Laboratory) Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley; 1940–45 *research associate* Uniwersytetu w Chicago; 1945–49 kierownik Działu Fizyki w Research and Development, Great Lakes Carbon Corporation, Chicago; od 1949 r. profesor fizyki na Uniwersytecie Stanu Nowy Jork w Buffalo; od 1952 r. dyrektor Carbon Research Laboratory tego Uniwersytetu, 1959–64 dziekan Wydziału Fizyki tego Uniwersytetu; 1964–65 profesor-gość uniwersytetów: Keio w Tokio i Nagoya).

Był członkiem PTF od 1926 r., w latach 1932–36 sekretarzem Zarządu Głównego, a w latach 1938–39 przewodniczącym Oddziału Warszawskiego. Po wojnie był członkiem Oddziału Toruńskiego.

W roku 1919, będąc jeszcze uczniem gimnazjum, był współzałożycielem (razem z J. Mergentalerem) Koła Miłośników Astronomii, które w 1921 r. przekształciło się w Towarzystwo Miłośników Astronomii. W 1919 r. założył czasopismo *Urania* i był jego redaktorem.

Był wybitnym uczonym; wniósł ogromny wkład do fizyki atomowo-molekularnej, optyki i fizyki fazy skondensowanej. Był jednym z pionierów fizyki węgla. W 1963 r. założył międzynarodowe czasopismo *Carbon* i był jego redaktorem do 1983 r. W 1953 r. zorganizował w Buffalo Pierwszą Konferencję Węglową, podczas której powołano American Carbon Committee, z Mrozowskim jako wieloletnim przewodniczącym.

Był członkiem Kongresu Polonii Amerykańskiej oraz przez kilka kadencji członkiem Zarządu Fundacji Kościuszkowskiej w Nowym Jorku; od 1941 r. – *fellow* Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego, a od 1945 – *fellow* Towarzystwa Optycznego Ameryki.

Był wielkim przyjacielem Uniwersytetu Mikołaja Kopernika; jest też fundatorem Biblioteki Polskiego Towarzystwa Fizycznego w Toruniu.

Józef Szudy

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

9 – 15 maja 1999, Zakopane

XXXIV Szkoła Fizyki: Condensed Matter Studies by Nuclear Methods

Inst. Fizyki UJ i Inst. Fizyki Jądrowej; dr hab. Antoni Pędziwiatr, IF UJ, Reymonta 4, 30-059 Kraków, tel.: (12) 6336377 w. 5505, adr.el.: ufpedziw@if.uj.edu.pl.
Z: 31.3.99, P, O: 850 zł, ang.

17 – 21 maja 1999, Kazimierz Dolny

Int. Conf. Fluorometry – F-metry

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

P, O: 250 USD wraz z zakwaterowaniem i wyżywieniem, ang.

18 – 21 maja 1999, Toruń

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

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

P, O: 100 USD, ang.

5 – 6 czerwca 1999, Ustroń-Jaszowiec

Przedszkole Fizyki Półprzewodników

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

7 – 11 czerwca 1999, Ustroń-Jaszowiec

XXVIII Int. School on Physics of Semiconducting Compounds

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

U: 250, ang.

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

Szkoła i konferencja: Metrologia wspomagana komputerowo

Komitet Metrologii i Aparatury Naukowej PAN, Inst. Podstaw Elektroniki WAT, Przemysłowy Inst. Elektroniki, Inst. Techniczny Wojsk Lotniczych; dr hab. Czesław Przybysz, Inst. Podstaw Elektroniki WAT, Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, tel.: (22) 6859135, fax: (22) 6859082, adr.el.: Cprzybysz@wel.wat.waw.pl.

7 – 9 lipca 1999, Warszawa

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

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

P, O: 110 USD, ang.

11 – 16 lipca 1999, Warszawa

24th Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases

Inst. Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy; J. Wołowski, IFPiLM, Hery 23, 00-908 Warszawa, skr. poczt. 49, tel. (22) 6859605 lub 6857096, fax: (22) 6668372, adr.el.: icpig99@ifpilm.waw.pl, Internet: ifpilm.waw.pl/icpig99/ICPIG_99.html. O: 350–400 USD, ang.

13 – 17 września 1999, Krynica-Zdrój

Int. Conf. on Liquid Crystals

Wojskowa Akademia Techniczna i Polskie Towarzystwo Wzrostu Kryształów; 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: wwwzft.uwb.edu.pl/if/PTF.html.

20 – 23 września 1999, Pułtusk

Interferometry '99

Polska Sekcja SPIE i Inst. Mikromechaniki i Fotoniki PW; prof. Małgorzata Kujawińska, IMF PW, Chodkiewicza 8, 02-525 Warszawa, tel.: (22) 6608602 lub (22) 6608489, fax: (22) 6608601, adr.el.: zto@mp.pw.edu.pl. P, O: 350 USD, studenci 250 USD, ang.

21 – 24 września 1999, Ustrój

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.

A: 31.5.99, 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.: wwolinski@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.

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

2000

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.

NOWE KSIĄŻKI

- Janusz Czerny, Wiktor Zipper, *Podstawy filozofii fizyki*, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 1998, s. 108, cena 6,00 zł.
- Wojciech Bąk, Anna Bobrowska, Maria Burzyńska, Halina Czernastek, Teresa Kwiecińska, Władysław Osak, Maria Stanek, Danuta Szot-Gawlik, Włodzimierz Śmiga, *II Pracownia fizyczna – instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów zaocznych*, Wyd. Naukowe WSP, Kraków 1998, s. 356.
- Jerzy Lech Kacperski, *I Pracownia fizyczna*, wyd. II rozszerzone, Wyd. Uniw. Łódzkiego, Łódź 1998, s. 288.
- *Instrukcje do ćwiczeń I pracowni fizycznej*, red. Grzegorz Derfl, Wyd. Pol. Łódzkiej, Łódź 1998, s. 376.
- Andrzej Gajewski, Anna Foryś, Andrzej Foryś, *Zadania i przykłady z fizyki*, skrypt, wyd. VI, Wyd. Pol. Krakowskiej, Kraków 1998, s.221, cena 15,00 zł.
- Brian G. Wybourne, *Physics as a Journey*, Wyd. UMK, Toruń 1998, s. 174.

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 TEX-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

CONTENTS

S. Chu – Manipulowanie cząstkami obojętnymi	113	S. Chu – The manipulation of neutral particles	113
RÓŻNE		MISCELLANEA	
D. Kind, T. Quinn – <i>Quo vadis, metrologio?</i>	140	D. Kind, T. Quinn – <i>Metrology: quo vadis?</i>	140
WSPOMNIENIA – ROCZNICE		RECOLLECTIONS – ANNIVERSARIES	
Z. Galasiewicz – Seminaria z fizyki teoretycznej Wrocław–Lipsk (1973–88). Sympozja Maksa Borna (1991–)	145	Z. Galasiewicz – The Wrocław–Leipzig Seminars on Theoretical Physics (1973–88) and Max Born Symposia (1991–)	145
DYDAKTYKA FIZYKI		PHYSICS TEACHING	
H.Z. Wrembel – W Duisburgu o przyszłości nauczania fizyki	148	H.Z. Wrembel – In Duisburg on the future of physics education	148
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	151	MEETINGS AND CONFERENCES	151
RECENZJE	155	REVIEWS	155
LISTY DO REDAKCJI	161	LETTERS TO THE EDITOR	161
KRONIKA	162	CHRONICLE	162

WKRÓTCE

- *Sławomir Siekierski o efektach relatywistycznych w chemii*
- *Andrzej Hryniewicz o dyktacie stałych Przyrody*
- *Piotr J. Durka – Elektroencefalogram i adaptacyjne przybliżenia sygnałów*
- *Pierre-Gilles de Gennes o błędach fizyków*
- *Fizyka szyb samochodowych*