

POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



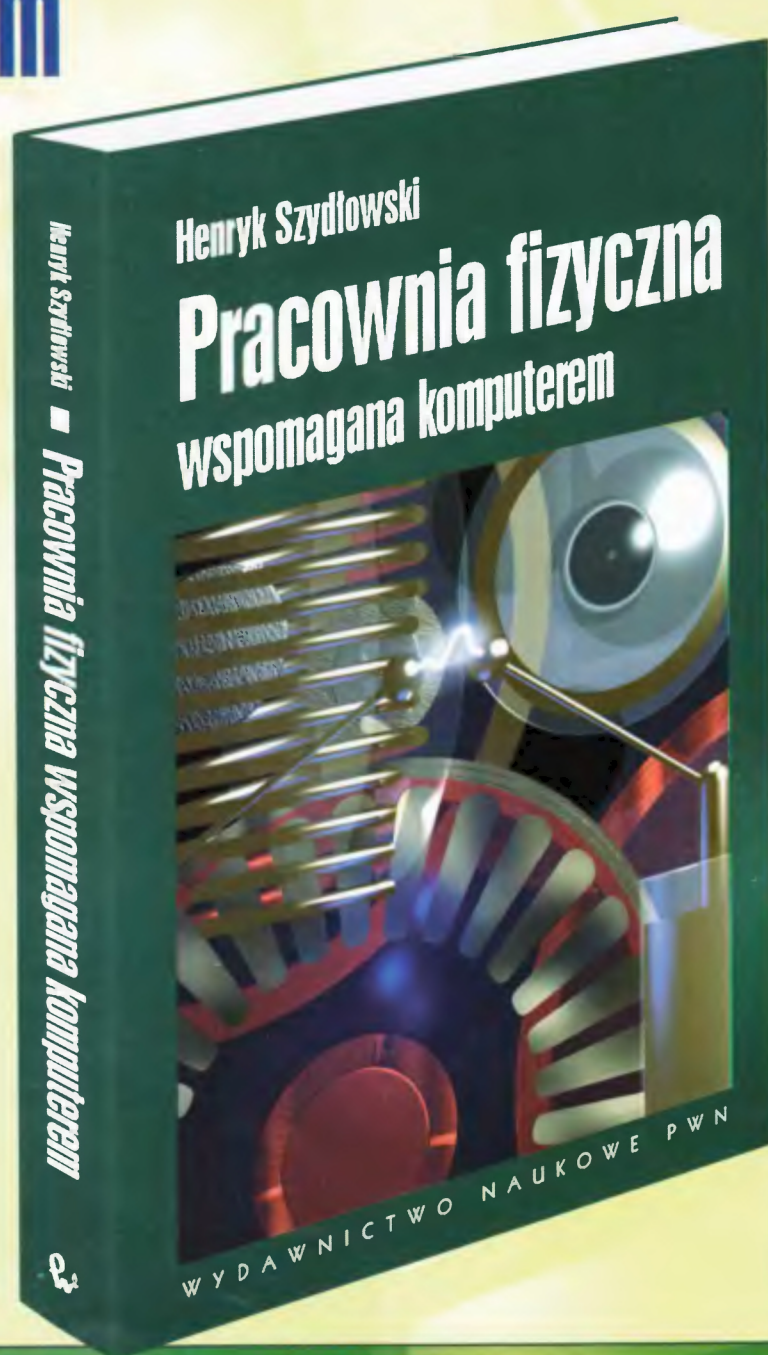
Narodziny astrofizyki neutrin

Fizyka XX wieku

80-lecie Profesora Olesia

Nowe, poprawione wydanie znanego przewodnika po laboratorium fizycznym!

- opisy ponad stu interesujących doświadczeń i sposobów ich wykonania
- szczegółowe omówienie budowy i zasad działania podstawowych przyrządów pomiarowych
- tablice jednostek i stałych fizycznych oraz parametrów materiałowych
- nowość – opisy stanowisk komputerowych wspomagających wykonywanie doświadczeń



Książka przeznaczona jest dla studentów fizyki i kierunków pokrewnych oraz tych wszystkich, którzy mają zajęcia w pracowni fizycznej

RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący), Mieczysław Budzyński, Andrzej Dobek, Witold Dobrowolski, Zofia Gołąb-Meyer, Adam Kiejna, Józef Szudy

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

KOMITET REDAKCYJNY

Jerzy Gronkowski (redaktor naczelny), Mirosław Łukaszewski, Magdalena Staszal, Barbara Wojtowicz

Adres Redakcji:

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, e-mail: postepy@fuw.edu.pl, Internet: www.fuw.edu.pl/postepy

KORRESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Maciej Piętka (Białystok), Marian Głowacki (Częstochowa), Stanisław Zachara (Gdańsk), Roman Bukowski (Gliwice), Krystian Roleder (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Jacek Bieron (Kraków), Elżbieta Jartych (Lublin), Urszula Garuska (Łódź), Ewa Pawelec (Opole), Lidia Ski-bińska (Poznań), Małgorzata Klisowska (Rzeszów), Małgo-rzata Kuzio (Słupsk), Janusz Typek (Szczecin), Józefina Turlo (Toruń), Aleksandra Miłosz (Warszawa), Bernard Jancewicz (Wrocław), Justyna Jankiewicz (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Maciej Kolwas (prezes), Katarzyna Chałasińska-Macukow i Reinhard Kulesa (wiceprezesa), Aleksandra Kopystyńska (se-kretarz generalny), Marek Kowalski (skarbnik), Andrzej Biel-ski, Stanisław Chwirot, Jan Gaj, Bernard Jancewicz, Mirosław Trociuk i Jerzy Warczewski (członkowie)

Adres Zarządu:

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, tel./fax: (22) 6212668, e-mail: ptf@fuw.edu.pl, Internet: ptf.fuw.edu.pl

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Andrzej Maziewski (Białystok), Stefan Kruszewski (Byd-goszcz), Danuta Plusa (Częstochowa), Eugeniusz Czuchaj (Gdańsk), Andrzej Klimasek (Gliwice), Karol Kokodziej (Ka-towice), Janusz Braziewicz (Kielce), Reinhard Kulesa (Kra-ków), Jerzy Żuk (Lublin), Bogusław Broda (Łódź), Ry-szard Pietrzak (Opole), Andrzej Dobek (Poznań), Aleksander B. Szymański (Rzeszów), Grzegorz Karwasz (Słupsk), Adam Bechler (Szczecin), Andrzej Bielski (Toruń), Jerzy Garbarczyk (Warszawa), Adam Kiejna (Wrocław), Andrzej Więckowski (Zielona Góra)

REDAKTORZY NACZELNI INNYCH CZASOPISM

WYDAWANYCH POD EGIDĄ PTF

Jerzy Prochorow – Acta Physica Polonica A, Andrzej Sta-ruszkiewicz – Acta Physica Polonica B, Andrzej Jamiołkowski – Reports on Mathematical Physics, Marek Kordos – Delta, Zofia Gołąb-Meyer – Foton, Adam Smólski – Fizyka w Szkole

Czasopismo ukazuje się od 1949 r.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Zeszyt dofinansowany przez Komitet Badań Naukowych Wydano pod patronatem Wydziału Fizyki Uniwersytetu War-szawskiego

Skład komputerowy w redakcji

Opracowanie okładki: Amm Studio, tel.: (22) 6689990, e-mail: amm@amm.com.pl, Internet: www.amm.com.pl

Druk i oprawa: „UNI-DRUK”, Warszawa, ul. Buńczuk 7b

ISSN 0032-5430

SPIS TREŚCI

M. Koshiya – Narodziny astrofizyki neutrin	231
A.P. French – Fizyka XX wieku: moje wspomnienia i fascynacje	240
J. Czerniawski – Czy przekształcenie Lorentza jest ob-rotiem, czyli jak z dziury zrobiono górę	253
JUBILEUSZE: 80-lecie Andrzeja Olesia	255
NOWI PROFESOROWIE	259
WSPOMNIENIA: Kazimierz Antonowicz (1914–2003), Lucjan Zemło (1939–2003), Zygmunt Kleszczewski (1943–2003)	261
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	265
RECENZJE	267
KRONIKA	268



Drodzy Czytelnicy!

Składamy Państwu ten zeszyt w szczególnym, świątecznym okre-sie. Wśród lektur pod choinkę znajduje się wykład noblowski Koshiya o neutrinach. Polecamy też nostalgiczny wykład prof. Frencha o fizyce minionego już XX wieku.

To już rok, odkąd unowocześniliśmy formułę naszego czasopisma; raptownie lub stopniowo wprowadzamy zmiany, które – mamy nadzieję – Państwo zaakceptują.

Życzymy Państwu miłych Świąt Bożego Narodzenia i mnóstwa cie-kawej Nowej Fizyki w Nowym Roku 2004.

Magda Staszal

Na okładce:

Szerokokątne zdjęcie wnętrza Super-KamiokaNDE – patrz wykład no-blowski Masatoshiiego Koshiya, s. 231.



Zmiany w regulaminach Nagród PTF

Uchwalenie w tym roku nowego statutu PTF było jednym z impulsów, by dokonać potrzebnych zmian w regulaminach Nagród PTF. Niniejsza notatka komentuje zmiany przygotowane przez Komisję Nagród i Odznaczeń i zatwierdzone na posiedzeniu Zarządu Głównego w dniu 11 lipca 2003 r.

Nagroda za Popularyzację Fizyki, dotąd bezimienna, otrzymała imię Krzysztofa Ernsta, przedwcześnie zmarłego wielkiego popularyzatora naszej dyscypliny (sylwetkę prof. Krzysztofa Ernsta przedstawia wspomnienie Aleksandry Kopystyńskiej w zeszycie 5/03 *PF*, s. 216). Jak poprzednio, nagroda przyznawana jest „za wszelkie formy działalności popularnonaukowej, zrealizowane w okresie trzech lat poprzedzających datę wpłynięcia wniosku” lub za całokształt działalności popularnonaukowej.

Jednym z celów zmian w regulaminach Medalu Smoluchowskiego i Nagrody Naukowej jest wyraźne rozróżnienie ich zakresu. Medal Mariana Smoluchowskiego, najwyższe odznaczenie PTF, przyznawany jest „osobom, których prace przyczyniły się w sposób wybitny do rozwoju co najmniej jednej z dziedzin fizyki, oraz za zasługi dla rozwoju fizyki w Polsce”. Zatem odgrywa on rolę nagrody za całokształt działalności. Natomiast Nagroda Naukowa imienia Wojciecha Rubinowicza będzie przyzna-

wana „za wybitne i twórcze prace badawcze z zakresu fizyki, udokumentowane publikacją lub serią publikacji ogłoszonych w okresie trzech lat poprzedzających datę wpłynięcia wniosku”. Oznacza to, że środowisko fizyków zrzeszonych w PTF winno starać się, nawet ryzykując popełnienie błędu, dostrzec najbardziej wartościowe aktualne osiągnięcia fizyki polskiej. Z regulaminu Nagrody wynika, że otrzymać ją może również kilkuosobowy zespół.

Bolączką ostatnich lat była mała liczba wniosków wpływających do Komisji Nagród i Odznaczeń, co było przyczyną nieprzyznania Nagrody Naukowej za dwa ostatnie lata, mimo że w ocenie członków Komisji nie brakowało prac naprawdę wyjątkowych! Dotychczas wnioski do Nagrody Naukowej zgłaszane być mogły tylko przez Zarząd Oddziałów PTF i to z terenu własnej działalności. Obecny regulamin wręcz zachęca Zarządy, by zgłaszały wnioski niekoniecznie z terenu działalności. Ma to zachęcić do zabierania głosu Kolegów z mniejszych ośrodków. Ale najważniejsze jest, że wniosek można też zgłaszać indywidualnie: wystarczy, by należycie sformułowany wniosek poparto w przypadku Nagrody Naukowej trzech, zaś w przypadku Medalu – pięciu członków PTF.

Aktualne regulaminy nagród – jak również ich poprzednie wersje – dostępne są na stronie ptf.fuw.edu.pl/statreg.html.

Andrzej Zięba

LISTY DO REDAKCJI

Polscy „praprekursorzy” festiwalu nauki?

Przeglądałem właśnie książkę Józefa Szpechta *Wśród fizyków polskich* (Państwowe Wydawnictwo Książek Szkolnych we Lwowie, 1939 r., 350 stron). Wprowadzeniem do niej jest „Zarys dziejów fizyki w Polsce”. Jak zaznacza Autor, „Zarys” jest w znacznej mierze oparty na II tomie *Poradnika dla samouków* Mariana Smoluchowskiego (rok wydania 1917).

Chyba pod wpływem wręcz wspianego Dolnośląskiego Festiwalu Nauki (Wrocław 11–20 września 2003 r., około 500 różnorodnych imprez) zwróciłem uwagę na fragmenty książki, które przytaczam.

„Książd Józef Rogaliński (1728–1802) – po studiach nauk ścisłych w Paryżu – wykładał fizykę w poznańskim kolegium jezuickim. Obok zajęć urzędowych organizował popularne wykłady fizyki doświadczalnej. Wykłady takie były w Polsce nowością. Uczęszczał na nie kto chciał, a więc prócz uczniów – urzędnicy, ziemianie, a nawet rzemieślnicy.

Józef Rogaliński wydał obszerne pięciotomowe dzieło *Doświadczenia skutków rzeczy pod zmysły spadających* (1764)”.

Podobnie popularyzatorem fizyki w końcu XVIII i początku XIX w. był pijar Józef Herman Osiński, autor podręcznika fizyki wydanego w 1777 r.

„Osiński był wielkim miłośnikiem fizyki. Urządzał w Warszawie publiczne prelekcje, połączone z doświadczeniami.

Wobec epokowych postępów (...) przystępuje do zupełnej przeróbki swego podręcznika. (...) Pierwszą część nowego wydania obejmującego doświadczenia z zakresu chemii, ciepła i ogólnych własności materii – ogłosił w Warszawie w r. 1801. Druga część, poświęcona mechanice, optyce, elektryczności i magnetyzmowi, ukazała się w rok po śmierci Osińskiego, w r. 1803”.

Zygmunt Galasiewicz
Wrocław

Narodziny astrofizyki neutrin*

Masatoshi Koshiba

International Center for Elementary Particle Physics, Uniwersytet Tokijski, Japonia

Birth of neutrino astrophysics

Nobel Lecture, 8 December 2002, Stockholm

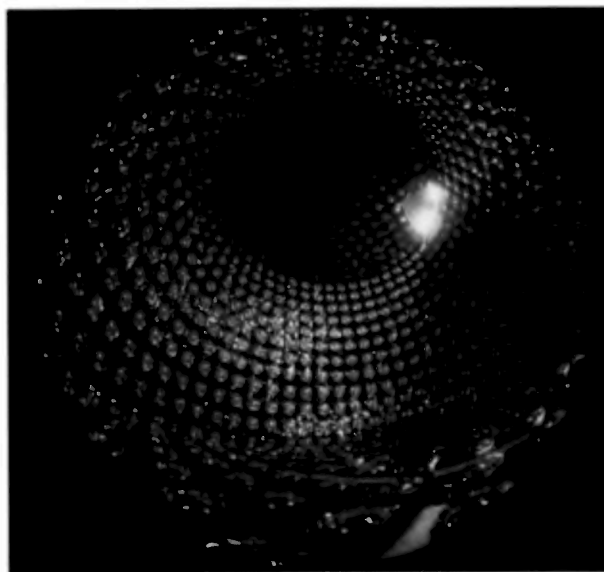
Poprzedni mówca, prof. Davis, ułatwił mi zadanie, bo mogę pominąć niektóre tematy. Zainteresowanym dodatkowymi informacjami polecam mój przeglądowy artykuł „Obserwacyjna astrofizyka neutrin” [1].

Chcę opowiedzieć o narodzinach astrofizyki neutrin, ale wcześniej nastąpiło bardzo ważne wydarzenie, które opisał prof. Davis [2]. Był to eksperyment radiochemiczny oparty na reakcji, w której w wyniku oddziaływania $\nu_e + {}^{37}\text{Cl}$ powstaje $e^- + {}^{37}\text{Ar}$. Davis stwierdził, że obserwowany strumień neutrin stanowił zaledwie 1/3 strumienia przewidywanego teoretycznie. Można to potraktować jako moment poczęcia astrofizyki neutrin – obserwacja ta spowodowała, że zaczęliśmy poważnie pracować nad detekcją neutrin słonecznych.

Będę mówił o dwóch eksperymentach. Pierwszy przeprowadzono w KamiokaNDE, który można nazwać wodnym, obrazującym detektorem promieniowania Czerenkowa. Około 20% jego wewnętrznej powierzchni pokrywały fotopowielacze, a całkowita masa wody wewnątrz detektora wynosiła 3000 ton. Kosztował ok. 3 mln dolarów. Należy podkreślić, że miał to być eksperyment badający możliwość astrofizycznej detekcji neutrin słonecznych. Drugi eksperyment nazywa się Super-KamiokaNDE. Wykorzystuje on ten sam typ detektora, ale o lepszej czułości na światło, bo aż 40% całkowitej powierzchni pokrywają fotokatody, a całkowita masa wody wynosi 50 000 ton. Kosztował ok. 100 mln dolarów. Jest to już wielkie obserwatorium neutrin słonecznych.

Obydwa detektory znajdują się 1000 metrów pod ziemią w kopalni Kamioka. Duże litery NDE w nazwie obu eksperymentów początkowo oznaczały „Nucleon Decay Experiment”, czyli eksperyment, którego celem było poszukiwanie rozpadów nukleonów. Ponieważ jednak zaobserwowano w nich różne typy neutrin, zaczęto je nazywać „Neutrino Detection Experiments”, czyli eksperymenty mające na celu detekcję neutrin.

Fotografia na rys. 1 pokazuje wnętrze detektora KamiokaNDE. Widać rzędy fotopowielaczy na bocz-



Rys. 1. Wnętrze KamiokaNDE.

nych ścianach, jak również w górnej i dolnej części detektora. Gdy przygotowaliśmy się do eksperymentu KamiokaNDE, usłyszeliśmy o dużo większym eksperymencie podobnego typu, planowanym właśnie w Stanach Zjednoczonych [3]. Musieliśmy bardzo poważnie rozważyć, jak współzawodniczyć z tak dużym detektorem. Obydwa eksperymenty miały za cel wykrycie pewnego typu rozpadów protonu, a mianowicie rozpadów do stanu $e^+ + \pi^0$. Gdybyśmy ustawili się wyłącznie na ich detekcję, z pewnością dużo większy detektor amerykański znalazłby je wcześniej. Co zatem mogliśmy zrobić z mniejszym detektorem? Myśleliśmy bardzo poważnie o rywalizacji i doszliśmy do wniosku, że jedyny możliwy sposób, abyśmy byli konkurencyjni dla większego detektora, to zapewnić naszemu detektorowi większą czułość, tak byśmy mogli wykryć nie tylko najłatwiejszy kanał rozpadu protonu, ale również mierzyć inne kanały. Moglibyśmy wtedy powiedzieć, że proton

*Wykład noblowski, wygłoszony 8 grudnia 2002 r. w Sztokholmie, został przetłumaczony za zgodą Autora i Fundacji Nobla [Translated with permission. Copyright © 2002 by the Nobel Foundation].

rozpada się w jednym kanale z pewnym prawdopodobieństwem, a w drugim kanale z innym, i nasz eksperyment będzie w stanie wskazać drogę do przyszłej Teorii Wielkiej Unifikacji, czyli teorii nowego typu, łączącej oddziaływania silne, słabe i elektromagnetyczne.

We współpracy z firmą Hamamatsu Photonics Co. opracowaliśmy bardzo duże fotopowielacze [4]. Byłem bardzo szczęśliwy, jak zresztą widać na fotografii (rys. 2), że udało się pomyślnie opracować ich produkcję. Na okładce tego zeszytu pokazano szerokokątne zdjęcie wnętrza Super-KamiokaNDE. Widać znacznie więcej fotopowielaczy, łącznie ok. 11 tysięcy.



Rys. 2. Duży fotopowielacz skonstruowany specjalnie dla KamiokaNDE.

Podejrzewam, że niewielu ludzi spotkało się z detektorami tego typu, i dlatego chcę przedstawić działanie Super-KamiokaNDE. Pierwszym przykładem będzie pokazany w bardzo zwolnionym tempie obraz mionu z promieniowania kosmicznego przelatującego przez detektor.

Jak wiadomo, szczególna teoria względności zabrania cząstkom poruszania się z prędkością przekraczającą prędkość światła w próżni. Jednak w innym ośrodku prędkość światła jest mniejsza i np. w wodzie wynosi tylko 75% wartości próżniowej. Jeśli więc energia cząstki jest bardzo duża, jej prędkość może przekroczyć prędkość światła w wodzie. Wówczas taka elektrycznie naładowana cząstka o wielkiej energii i prędkości wytwarza w wodzie coś, co można nazwać falą uderzeniową światła, czyli promieniowanie Czerenkowa. Jest ono wysyłane w obrębie stożka, którego osią jest trajektoria poruszającej się cząstki.

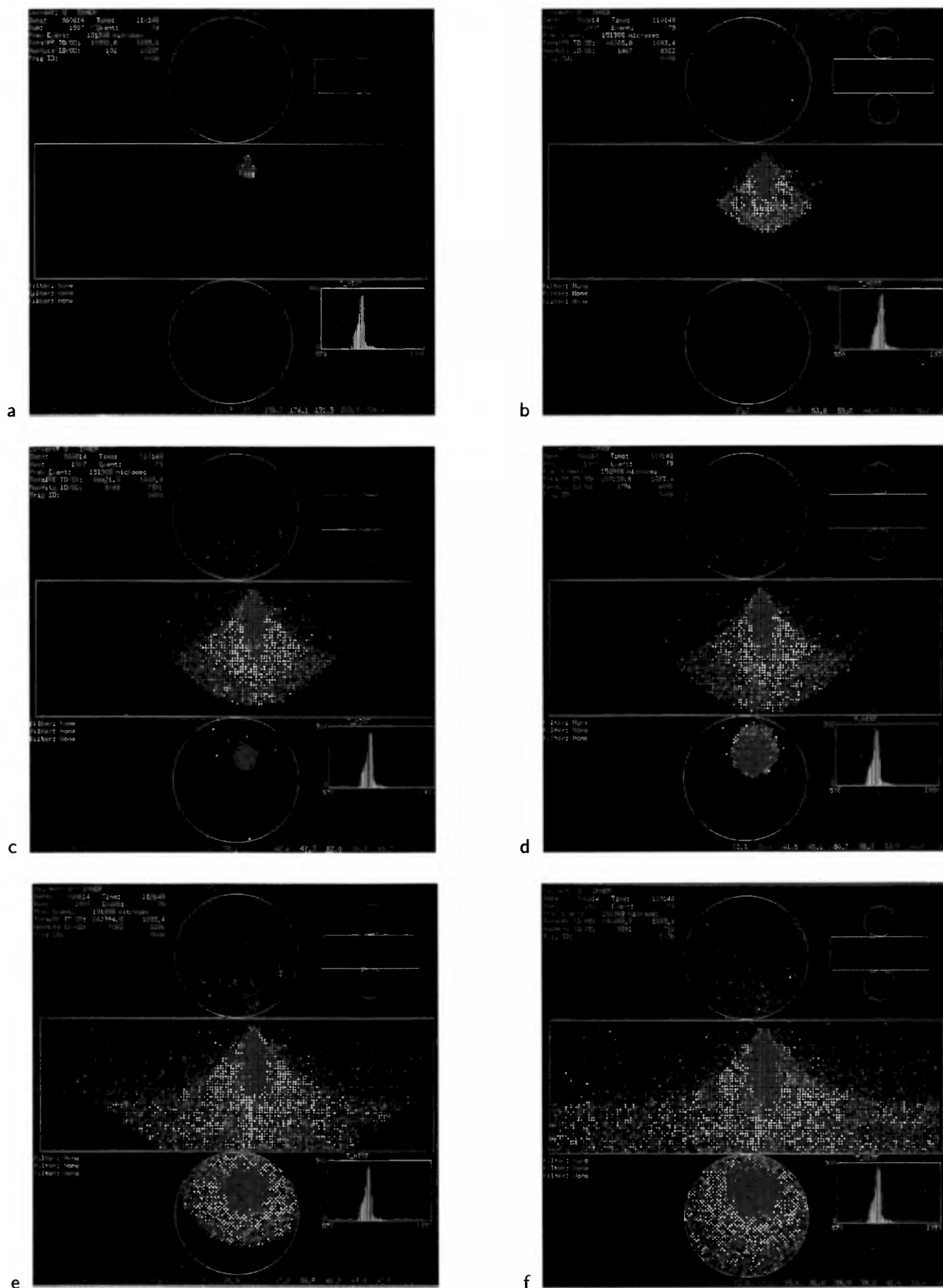
Rysunek 3a pokazuje reakcję Super-KamiokaNDE na mion, który właśnie wleciał do detektora. Poka-

zane są wewnętrzne ściany cylindrycznego detektora. Boczna ściana jest w pewnym miejscu przecięta pionowo i płasko rozłożona, górna pokrywa jest otwarta, a dolne wieko ściągnięte w dół. Każda plamka reprezentuje jeden fotopowielacz, a jej zaczerwienie odpowiada liczbie zarejestrowanych fotoelektronów. Z prawej strony u dołu pokazany jest rozkład czasowy fotoelektronów. Rysunek 3b pokazuje obraz zarejestrowany 50 nanosekund później. Widać, że cząstka porusza się szybciej niż czoło fali Czerenkowa. Rysunek 3c, po dalszych 50 ns, pokazuje, że podczas gdy promieniowanie Czerenkowa jest wciąż w drodze, mion już dotarł do dna detektora. Widać więc, że cząstka porusza się z prędkością większą od prędkości światła w wodzie. Rysunki 3d–f pokazują dalszy przebieg tego przypadku. Widać, że za pomocą tego detektora można w szczegółach obserwować ruch naładowanych cząstek.

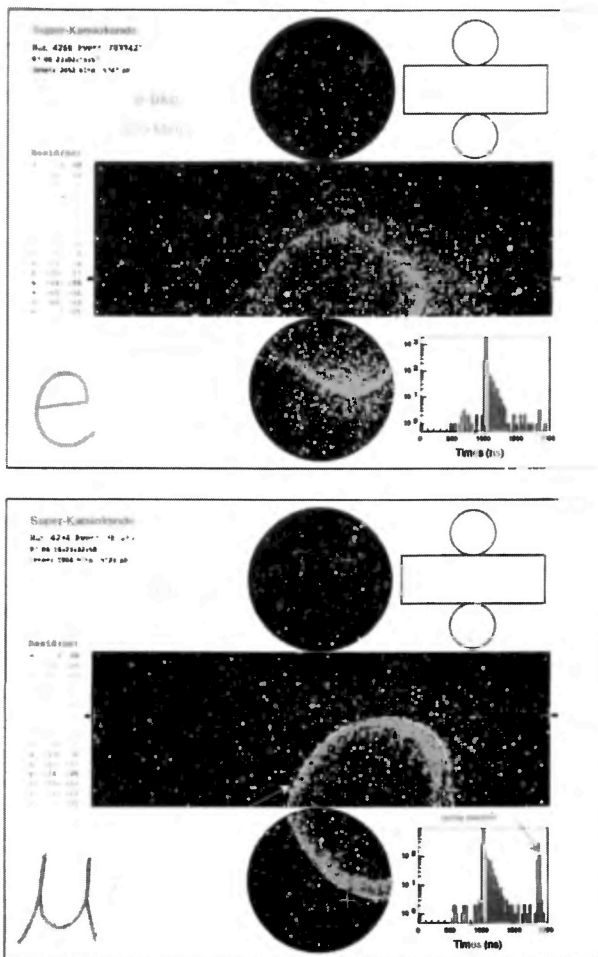
Rysunek 4 pokazuje dwa przypadki – elektronu (u góry) i mionu (u dołu). Patrząc na te dwa przykłady, widzimy różnicę w rozkładzie – zwłaszcza radialnym – zarejestrowanych fotonów. Elektron i mion to bardzo podobne cząstki, ale różnią się masą – mion jest 200 razy cięższy, dlatego w wodzie po prostu zwalnia i zatrzymuje się, podczas gdy lżejszy elektron, ulegając częstym rozproszeniom, wysyła kwanty γ , które z kolei zmieniają się w pary elektron–pozyton o mniejszej energii. Te elektrony i pozytony są rozpraszane bardzo intensywnie, dlatego emitowane przez nie promieniowanie Czerenkowa jest bardziej rozmyte, co widać na górnym obrazie. Dokonując pomiaru rozkładu radialnego tych fotonów, można bardzo dobrze rozróżnić między przypadkami typu μ i typu e , z prawdopodobieństwem pomyłki mniejszym niż 1%. Jest to bardzo przyjemna cecha detektora, która w efekcie doprowadziła nas do odkrycia zjawiska znanego pod nazwą anomalii neutrin atmosferycznych.

Dzięki KamiokaNDE uzyskaliśmy cztery ważne wyniki. Pierwszy to astrofizyczna obserwacja neutrin słonecznych za pomocą rozpraszania ν_e-e na elektronach w cząsteczkach wody [5]. Obserwację tę nazywamy astrofizyczną, bo mamy wszelkie potrzebne informacje o przylatujących neutrinach, tzn. czas i kierunek, z którego przyleciały, jak również informacje o ich widmie. Ponieważ masa spoczynkowa elektronu wynosi zaledwie ok. 0,5 MeV, w przypadku rozpraszania ν_e-e i energii padającego neutrina, powiedzmy, 10 MeV, uderzony elektron leci prawie dokładnie do przodu. Obserwując ten odrzucony elektron, można w przybliżeniu wyznaczyć kierunek przylotu neutrina. Również widmo energii odrzuconych elektronów przekłada się wprost na widmo energetyczne pierwotnych neutrin. Czas przylotu wyznaczany jest z dokładnością lepszą niż 10 ns.

Drugi wynik to obserwacja neutrin z supernowej [6] poprzez oddziaływania antyneutrin elektronowych z protonami w wodzie. W wyniku tej reakcji powstaje pozyton (e^+) oraz neutron. Pozyton jest widoczny dzięki emisji promieniowania Czerenkowa.



Rys. 3. Przelot mionu przez Super-Kamiokande: (a) mion właśnie wleciał do detektora, (b) ten sam mion 50 ns później, (c) mion dotarł do dna detektora, (d-f) następne fazy rejestracji fotoelektronów.



Rys. 4. Obserwacja przelotu elektronu (e) i mionu (μ) w Super-KamiokaNDE.

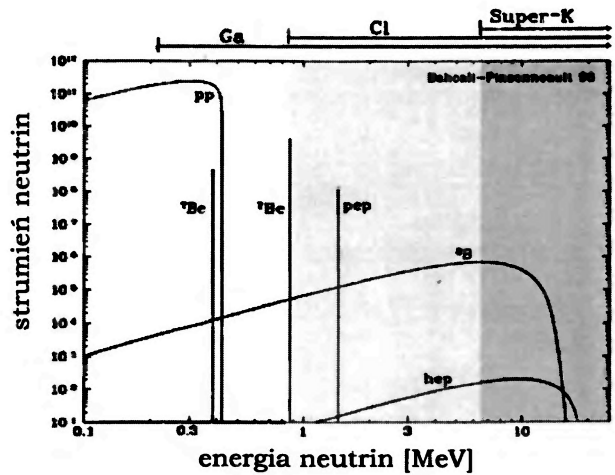
Trzeci wynik to odkrycie zjawiska, które nazwano anomalią neutrin atmosferycznych [7]. Ponieważ, jak już pokazałem, potrafimy odróżnić przypadki mionowe od elektronowych, możemy mierzyć bardzo dokładnie względny stosunek strumieni ν_μ oraz ν_e , zliczając przypadki typu μ oraz e. Było to odkrycie na poziomie istotności trochę powyżej 4σ , ale wynik ten został później potwierdzony na poziomie powyżej 9σ przez dane z Super-KamiokaNDE.

Niewielu ludzi interesuje się nadal rozpadem protonu, lecz fakt, że nie zaobserwowano rozpadów protonu w eksperymencie KamiokaNDE, obalił [5] wariant Teorii Wielkiej Unifikacji oparty na symetrii SU(5).

Poprzedni mówca pokazał już diagram na rys. 5, więc nie będę omawiał go w szczegółach. Proszę jednak zwrócić uwagę na progi energetyczne w różnych eksperymentach.

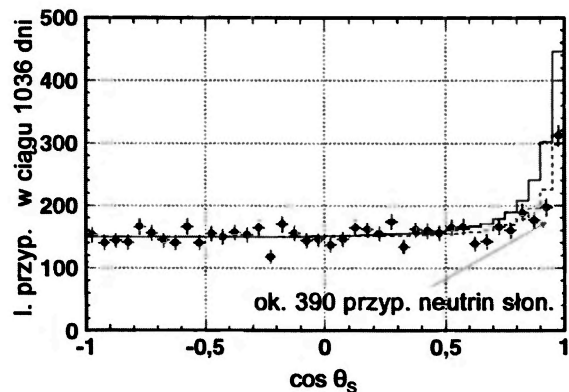
Rysunek 6 pokazuje, jak dzięki informacjom o kierunkach pozytonów w KamiokaNDE można obserwować neutrina słoneczne. Ponad izotropowym tłem widać nadwyżkę przypadków odpowiadających kierunkowi od Słońca do Ziemi. Z kolei rys. 7 pokazuje widmo energii po znormalizowaniu do widma teoretycznego.

Widać, że kształt widma niezbyt się różni od rozkładu przewidywanego teoretycznie, ale strumień neutrin jest mniejszy z grubsza o połowę.



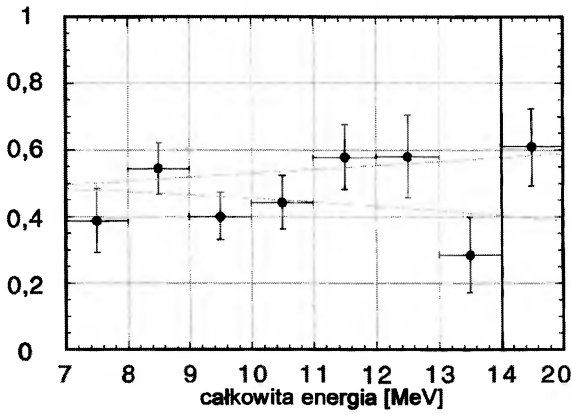
Eksperyment	Tarcza	Wynik
Homestake	^{37}Cl	$0,33 \pm 0,03$
KamiokaNDE	e^- (woda)	$0,54 \pm 0,07$
SAGE	^{71}Ga	$0,52 \pm 0,06$
GALLEX	^{71}Ga	$0,59 \pm 0,06$
Super-K	e^- (woda)	$0,475 \pm 0,015$

Rys. 5. Przewidywania standardowego modelu Słońca (u góry) i wyniki eksperymentów z neutrinami słonecznymi (strumień neutrin znormalizowany w stosunku do przewidywań standardowego modelu Słońca).



Rys. 6. Obserwacja kierunkowa neutrin słonecznych w KamiokaNDE; θ_s – kąt między kierunkiem elektronu a kierunkiem od Słońca.

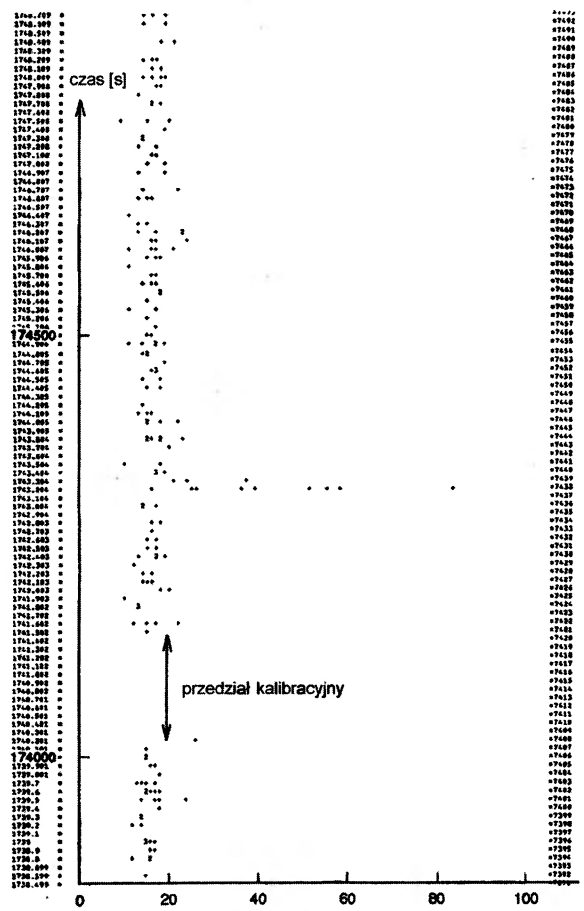
Przejdę teraz do obserwacji neutrin z supernowej. Dzięki współpracy z grupą z Pennsylvania State University, prowadzonej przez prof. A.K. Manna, mogliśmy usprawnić funkcjonowanie detektora, zmniejszając tło, oczyszczając wodę itp. Na samym początku 1987 r. detektor działał już dostatecznie stabilnie, żebyśmy mogli rozpocząć zbieranie danych o neutrinach słonecznych. Dwa miesiące później dowiedzieliśmy się



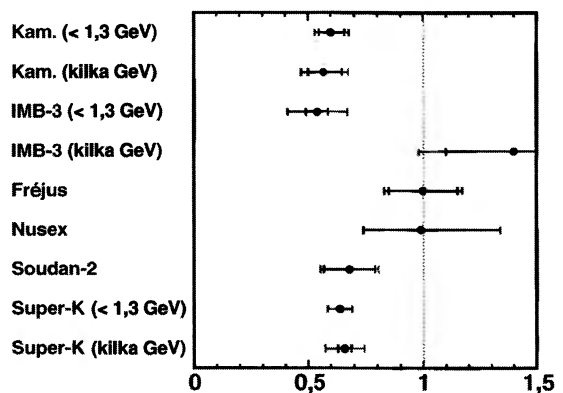
Rys. 7. Widmo energii neutrin słonecznych otrzymane w KamiokaNDE, znormalizowane w stosunku do przewidywań standardowego modelu Słońca.

o pojawieniu się supernowej na południowej półkuli. W tym czasie nasz detektor potrafił już obserwować neutrina słoneczne, które są znacznie trudniejsze do zaobserwowania od neutrin z supernowej, ponieważ te ostatnie mają znacznie większe energie, a przy tym pojawiają się w bardzo krótkim przedziale czasu. Natychmiast przyjrzelismy się naszym danym i bez trudu znaleźliśmy sygnał neutrin z supernowej (rys. 8). Na wydruku widać wyraźnie przypadki neutrin z supernowej ponad tłem, które daje mniej niż 17 fotelektronów. Ta obserwacja potwierdziła modele teoretyczne wybuchu supernowej na skutek zapaści grawitacyjnej jądra żelaznego. Przeciętna energia oraz całkowita liczba emitowanych neutrin zgadza się z przewidywaniami teoretycznymi, ale to nie wszystko – przedział czasu ok. 10 sekund implikuje, że neutrina zostały wysłane z bardzo, bardzo gęstej materii, o gęstości porównywalnej z gęstością jądra atomowego. Gdyby pochodziły z gazowego obiektu gwiazdowego, czas trwania sygnału byłby krótszy niż 1 ms. Neutrina musiały jednak dyfundować z bardzo gęstej materii, podobnej do materii jądrowej, i zajęło im to kilka sekund. Prawdopodobnie powstała wtedy protogwiazda neutronowa.

Przechodzę teraz do omówienia anomalii neutrin atmosferycznych. Gdy cząstki promieniowania kosmicznego wpadają do atmosfery, oddziałują z jądrami azotu lub tlenu i produkują mezony π oraz K. Mezony rozpadają się w powietrzu na μ oraz ν_μ . Mamy więc jeden mion i jedno neutrinu mionowe. Gdy z kolei mion rozpadnie się, dając elektron, dostajemy dodatkowo ν_μ oraz ν_e . Tak więc w efekcie mamy dwa ν_μ i jedno ν_e . Stosunek $N(\nu_\mu)/N(\nu_e)$ wynosi zatem 2. Przy większych energiach miony, o dłuższych czasach życia niż mezony π , nie zdążą się rozpaść, zanim dotrą do powierzchni Ziemi. Niektóre miony, jak widzieliśmy, docierają nawet do detektora. W tych przypadkach nie dostajemy dodatkowych ν_μ oraz ν_e . Przy większych energiach ten stosunek przekracza więc 2. Na rysunku 9 pokazany jest stosunek zmierzony w KamiokaNDE oraz w innych eksperymentach.



Rys. 8. Fragment wydruku komputerowego pokazujący „sygnał” neutrin z wybuchu supernowej SN1897A; na osi poziomej – liczba trafień.

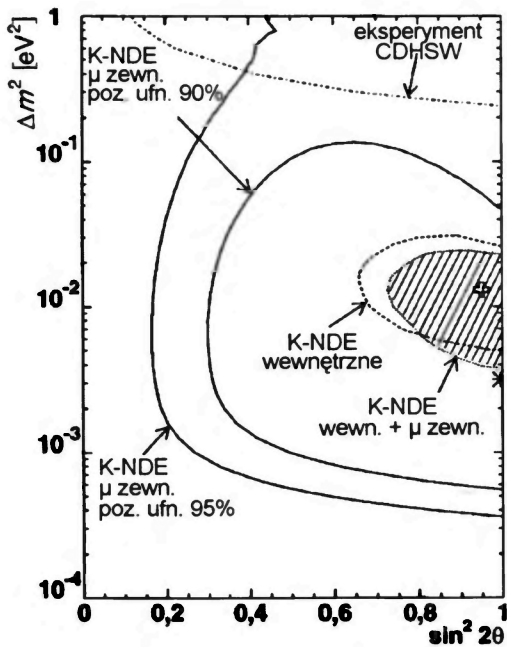


Rys. 9. Stosunek $N(\nu_\mu)/N(\nu_e)$ zmierzony w różnych eksperymentach i znormalizowany względem wyników obliczeń metodą Monte Carlo [9,10].

Przejdę teraz do dyskusji oscylacji neutrin [11]. Może to być najtrudniejsza część mojego wykładu. Spróbuję przedstawić ją w sposób zrozumiały dla studenta I roku fizyki. Dla uproszczenia założymy, że w przyrodzie istnieją tylko 2 typy neutrin. Wtedy funkcja falowa opisująca stan neutrina może być zapi-

sana jako kombinacja liniowa dwóch niezależnych funkcji bazowych. Na przykład można przyjąć, że macierz masy jest diagonalna, a następnie przypisać elementy wektora bazowego odpowiednio masom m_1 oraz m_2 . Dowolny stan neutrinowy może więc być opisany przez kombinację ψ_{m1} i ψ_{m2} : $\psi_{\nu\mu} = (\cos\theta)\psi_{m1} + (\sin\theta)\psi_{m2}$. Jest to jakby zwykła geometria dwuwymiarowa – dowolny wektor można wyrazić przez składowe x i y .

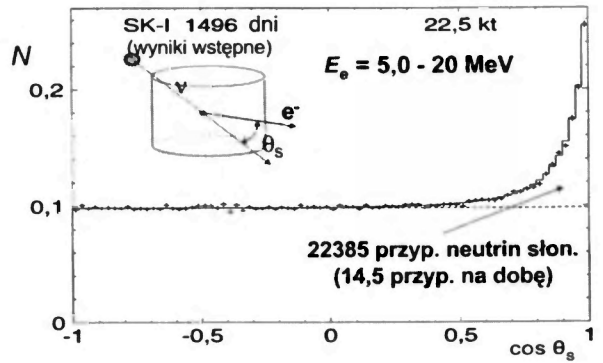
Tak więc stan ν_μ jest kombinacją liniową stanów m_1 i m_2 z parametrem kątowym θ . Każdy z tych dwóch stanów, ψ_{m1} i ψ_{m2} , oscyluje z charakterystyczną dla niego częstotliwością, proporcjonalną do całkowitej energii stanu. Jeżeli masa jest mała, to dla danego pędu można zrobić następujące przybliżenie: $E \approx p + m^2/2p$, gdzie masa m i pęd p są wyrażone w jednostkach energii. Wtedy różnica $E_1 - E_2$, która jest proporcjonalna do różnicy częstości charakterystycznych obydwu stanów, jest w tym przybliżeniu proporcjonalna do $(m_1^2 - m_2^2)$. Tę różnicę kwadratów mas oznaczamy przez Δm^2 . Gdy występują jednocześnie dwie oscylacje o zbliżonych częstościach, następuje zjawisko dudnienia, w którym amplitudy obu oscylacji zmieniają się powoli w funkcji różnicy częstości. Ta zmiana amplitud składowych ψ_{m1} oraz ψ_{m2} powoduje pojawienie się pewnego stanu ν_τ obok początkowo czystego stanu ν_μ . Używając tych dwóch parametrów, Δm^2 i θ , można opisać oscylacje neutrin między jednym stanem a drugim. Na rysunku 10 pokazano uzyskane w KamiokaNDE wyniki [12] dotyczące oscylacji neutrin atmosferycznych.



Rys. 10. Dozwolony obszar parametrów w KamiokaNDE.

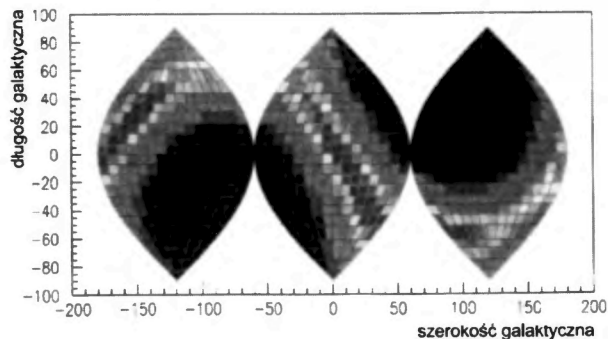
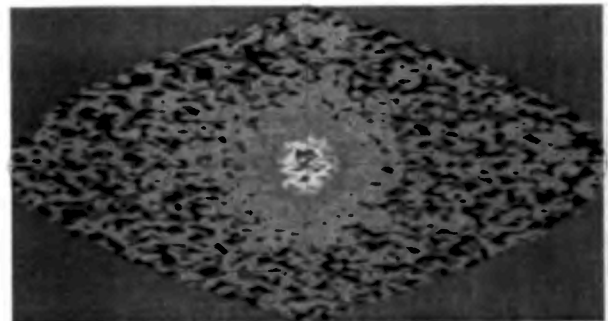
Przejdźmy teraz do omówienia eksperymentu Super-KamiokaNDE. Osiągnął on dotychczas trzy znaczące wyniki. Pierwszy to astrofizyczna obserwacja neutrin słonecznych z zadowalającą statystyką. Na ry-

sunku 11 możemy zobaczyć powyżej izotropowego tła nadmiar neutrin z kierunku Słońca. Gdy złamiemy



Rys. 11. Obserwacja kierunkowa neutrin słonecznych w Super-KamiokaNDE; N – liczba przypadków na dobę, kilotonę wody i przedział kąta obserwacji.

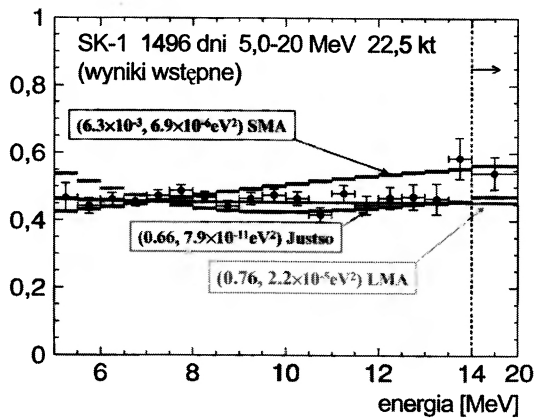
skę, idziemy do lekarza i robimy zdjęcie rentgenowskie. Możemy wtedy zobaczyć wnętrze ręki, np. złamaną kość. Używając neutrin, które odznaczają się znacznie większą przenikliwością, możemy zobaczyć wnętrze Słońca. Na rysunku 12, u góry pokazany jest pierwszy „neutrinogram” Słońca, obrazujący je za pomocą neutrin podobnie, jak fotografia rejestruje obraz dzięki fotonom. Poniżej przedstawiono we współrzędnych galaktycznych orbitę Słońca obserwowaną przy użyciu neutrin. Brzmi to bardzo ładnie, ale gdy przyjrzemy się uważnie temu neutrinogramowi, to stwier-



Rys. 12. Neutrinogram (u góry) i trajektoria (u dołu) Słońca.

dzimy, że rozmiar Słońca jest znacznie większy niż rozmiar, który widzimy własnymi oczami. Przyczyną jest oczywiście znacznie gorsza dokładność kierunkowa obserwacji neutrinowej niż w przypadku obserwacji optycznej. Ale bądźmy cierpliwi. Astrofizyka neutrin dopiero się narodziła. Jest wciąż w wieku niemowlęcym.

Rysunek 13 pokazuje obserwowane widmo energetyczne neutrin słonecznych podzielone przez rozkład energetyczny obliczony na podstawie standardowego modelu Słońca. Szczegółowe porównanie obserwowanego widma z przewidywaniami teoretycznymi dostar-



Rys. 13. Widmo energii neutrin słonecznych zarejestrowane w Super-KamiokaNDE, znormalizowane w stosunku do przewidywań standardowego modelu Słońca; widać złe dopasowanie do rozwiązań SMA i Just-so (czyli „w sam raz”, co oznacza taki zestaw parametrów, przy którym odległość od Słońca do Ziemi jest akurat taka, żeby wystąpiły oscylacje).

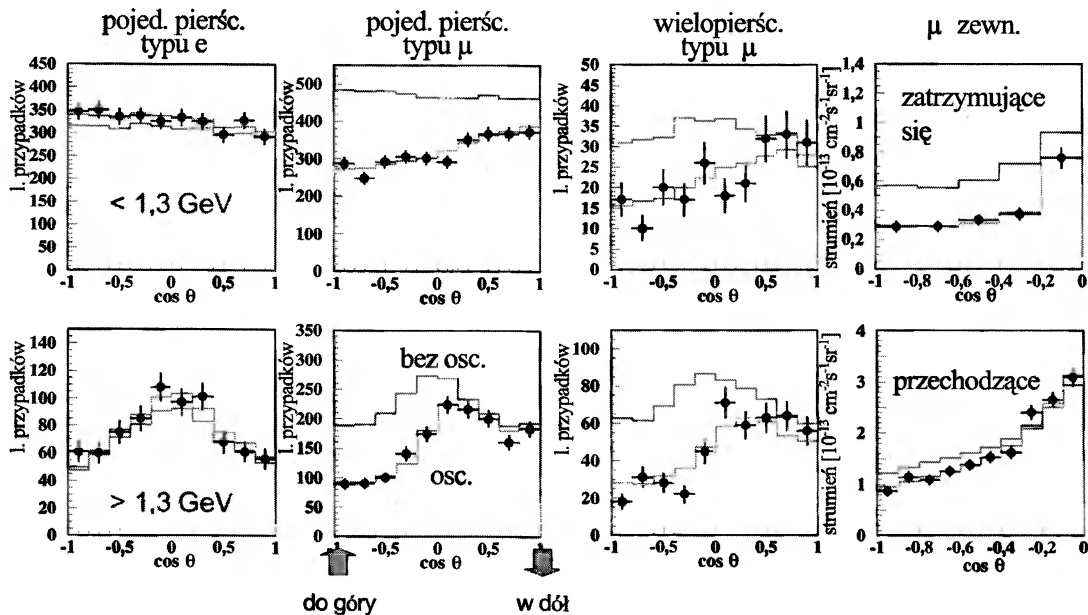
cza dodatkowych informacji o oscylacjach neutrin słonecznych.

Zauważmy, że jeżeli obserwowana anomalia stosunku neutrin atmosferycznych $N(\nu_\mu)/N(\nu_e)$ istotnie bierze się z oscylacji neutrin, to efekt oscylacji powinien zależeć od drogi, którą neutrina pokonują między punktem ich powstania i detektorem. Gdy przybywają pionowo z góry, ta droga wynosi zaledwie ok. 20 km. Neutrino poruszające się poziomo przebywają ok. 1000 kilometrów, natomiast przybywające z dołu zostały wyprodukowane w odległości ok. 13 000 km. Mamy więc dużą różnicę pokonanych dróg.

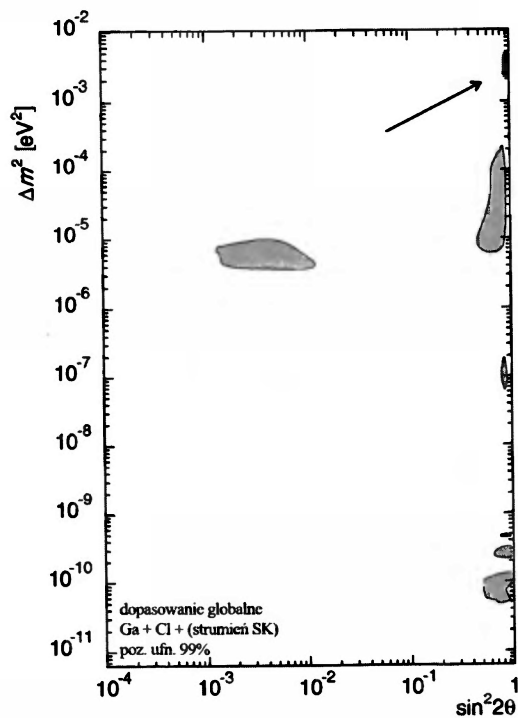
Przypadki typu elektronowego (tzn. wywołane przez ν_e) nie wykazują żadnego odstępstwa od przewidywanych rozkładów kątowych przy braku oscylacji (rys. 14). Natomiast liczba przypadków mionowych (wywołanych przez ν_μ) jest znacznie mniejsza, gdy neutrina przybywają z dołu, czyli po przebyciu największych odległości.

Na rysunku 15 przedstawiono 6 obszarów parametrów, które tłumaczą obserwowane oscylacje neutrin słonecznych (dwa z nich są bardzo małe), oraz jeden mały obszar (w prawym górnym rogu, oznaczony strzałką), który wynika z oscylacji neutrin atmosferycznych w Super-KamiokaNDE [13].

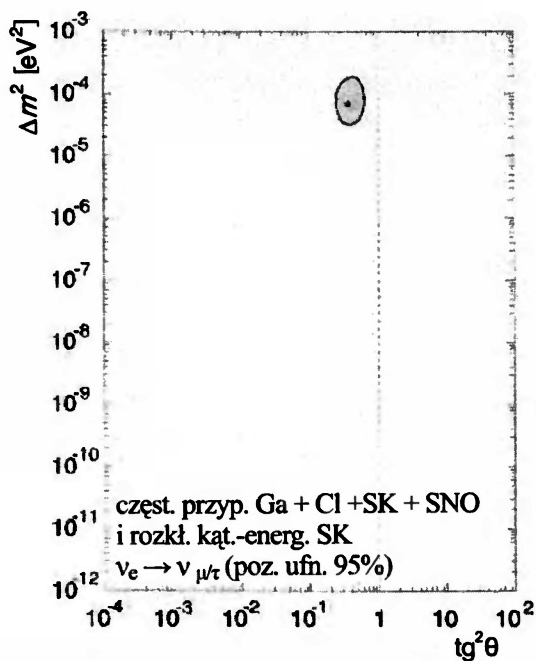
Po omówieniu danych uzyskanych z KamiokaNDE oraz Super-KamiokaNDE przejdźmy do innych dostępnych wyników. Na rysunku 16 pokazano tylko jeden możliwy obszar parametrów oscylacji neutrin słonecznych. Pozostałe zostały wykluczone dzięki globalnej analizie wszystkich wyników pomiarów strumienia neutrin słonecznych: Super-KamiokaNDE, SNO oraz eksperymentów radiochemicznych [16–19].



Rys. 14. Zależność oscylacji neutrin od kąta zenitalnego kierunku neutrin, a w konsekwencji od przebytej przez nie drogi.



Rys. 15. Dozwolone obszary oscylacji neutrin słonecznych i atmosferycznych (Super-KamiokaNDE).



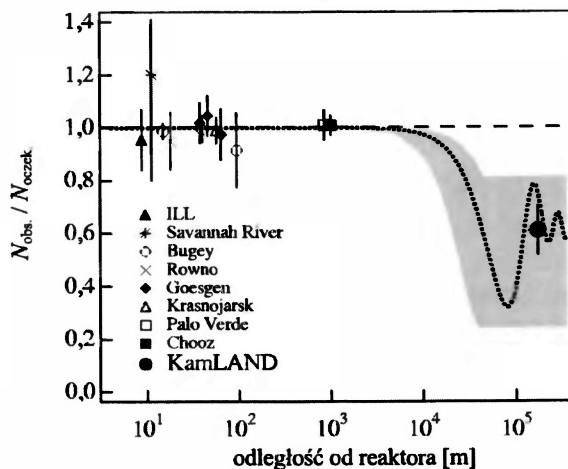
Rys. 16. Dozwolony obszar oscylacji neutrin słonecznych (wszystkie eksperymenty słoneczne).

Mamy więc różne od zera wartości Δm^2 , z czego wynika, że przynajmniej niektóre masy neutrin są niezerowe. Oznacza to, że Model Standardowy cząstek elementarnych musi być zmodyfikowany.

Omówione osiągnięcia były wynikiem pracy całych zespołów fizyków. Aby ich wszystkich odpowied-

nio uhonorować, podaję pełną listę autorów artykułu [6] o detekcji neutrin z supernowej oraz artykułu [14] o neutrinach atmosferycznych.

Na koniec przedstawię najnowsze wyniki z Kamioki. Jest tam teraz prowadzony eksperyment trzeciej generacji – eksperyment KamLAND, zainstalowany w miejscu, w którym był początkowy KamiokaNDE. Używa się w nim ciekłego scyntyлятора do pomiaru strumienia antyneutrin elektronowych z reaktorów odległych o 200 kilometrów. Grupa wykonująca ten eksperyment wysłała do publikacji [20] pierwsze wyniki zaledwie dwa dni temu, a ja otrzymałem tę wiadomość pocztą elektroniczną. KamLAND mierzy strumień antyneutrin oraz ich widmo energetyczne. Wyniki są pokazane na rys. 17. Uzyskane parametry oscylacji, $\sin 2\theta = 0,833$ i $\Delta m^2 = 5,5 \cdot 10^{-5}$ eV², zgadzają się dobrze z wynikiem otrzymanym dla neutrin słonecznych (rys. 16).



Rys. 17. Wyniki pomiaru strumienia antyneutrin (KamLAND).

Ponieważ jest to potwierdzenie oscylacji neutrin nie dla neutrin elektronowych (które przylatują ze Słońca), ale dla antyneutrin elektronowych, fakt, że otrzymano te same parametry implikuje, że twierdzenie CPT nie jest podważone. Dalsze zbieranie danych może umożliwić interesujące badanie naruszania CP przy zachowaniu CPT [20]. Warto zauważyć, że około 2/3 współautorów tego artykułu jest ze Stanów Zjednoczonych. Niektórzy mówią, że Kamioka stała się Mekką dla badaczy neutrin i bardzo mnie to cieszy.

Co powinniśmy robić teraz, kiedy już narodziła się astrofizyka neutrin? Oczywiście odpowiedź zależy od tego, kogo pytamy. Podjęto kroki zmierzające do zbudowania megatonowego Hyper-KamiokaNDE. Dobrą metodą obserwacji supernowych może być światowa sieć co najmniej trzech detektorów typu Super-KamiokaNDE. Największym wyzwaniem będzie obserwacja kosmicznego tła neutrinowego o temperaturze 1,9 K, które udzieliłoby nam informacji o tym,

jaki był Wszechświat w 1 sekundę po narodzinach. Z niezerowych mas neutrin wynika całkowite odbicie niskoenergetycznych neutrin w niskich temperaturach. Jest to wspaniały prezent Natury, stwarzający możliwość użycia parabolicznego zwierciadła do ogniskowania neutrin wchodzących w skład kosmicznego tła. Detekcja neutrin o tak małych energiach jest jednak niesłychanie trudnym zadaniem.

Mam przyjemność podziękować firmie Hamamatsu Photonics Co., która wyprodukowała fotopowielacze o średnicy 50 cm. Były one i są podstawowym składnikiem eksperymentów w Kamiocce. Ministerstwo Edukacji, Kultury i Nauki Japonii zapewniło hojne wsparcie finansowe eksperymentom Kamioki, za co wszyscy jesteśmy wdzięczni.

Tłumaczyła *Danuta Kielczewska*
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

Literatura

- [1] M. Koshiha, *Phys. Rep.* **220**, 229 (1992).
- [2] R. Davis, Jr., wykład noblowski, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 985 (2003); przekład polski: *Postępy Fizyki* **54**, 191 (2003).
- [3] R.M. Bionta i in., *Phys. Rev. Lett.* **51**, 27 (1983).
- [4] H. Kume, S. Sawaki, M. Ito, K. Arisaka, T. Kajita, A. Nishimura, A. Suzuki, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* **205**, 443 (1983).
- [5] K.S. Hirata i in., *Phys. Rev. Lett.* **63**, 16 (1989).
- [6] K.S. Hirata, T. Kajita, M. Koshiha, M. Nakahata, Y. Oyama, N. Sato, A. Suzuki, M. Takita, Y. Totsuka, T. Kifune, T. Suda, K. Takahashi, T. Tanimori, K. Miyano, M. Yamada, E.W. Beier, L.R. Feldscher, S.B. Kim, A.K. Mann, F.M. Newcomer, R. Van-Berg, W. Zhang, B.G. Cortez, *Phys. Rev. Lett.* **58**, 1490 (1987).
- [7] K.S. Hirata i in., *Phys. Lett.* **B205**, 416 (1988).
- [8] H. Georgi, S.L. Glashow, *Phys. Rev. Lett.* **32**, 438 (1974).
- [9] Y. Fukuda i in., *Phys. Lett.* **B335**, 237 (1994).
- [10] M. Shiozawa, w: *Proceedings of Neutrino 2002*, Munich, May 2002 (nieopublikowane).
- [11] Z. Maki, N. Nakagawa, S. Sakata, *Prog. Theor. Phys.* **28**, 870 (1962).
- [12] S. Hatakeyama i in., *Phys. Rev. Lett.* **81**, 2016 (1998).
- [13] S. Fukuda i in., *Phys. Lett.* **B539**, 179 (2002).
- [14] Y. Fukuda, T. Hawakawa, E. Ichihara, K. Inoue, H. Ishino, Y. Itow, T. Kajita, J. Kameda, S. Kasuga, K. Kobayashi, Y. Kobayashi, Y. Koshio, M. Miura, M. Nakahata, S. Nakayama, A. Okada, K. Okumura, N. Sakurai, M. Shiozawa, Y. Suzuki, Y. Takeuchi, Y. Totsuka, S. Yamada, M. Earl, A. Habig, E. Kearns, M.D. Messier, K. Scholberg, J.L. Stone, L.R. Sulak, C.W. Walter, M. Goldhaber, T. Barszczak, D. Casper, W. Gajewski, P.G. Halverson, J. Hsu, W.R. Kropp, L.R. Price, F. Reines, M. Smy, H.W. Sobel, M.R. Vagins, K.S. Ganezer, W.E. Keig, R.W. Ellsworth, S. Tasaka, J.W. Flanagan, A. Kibayashi, J.G. Learned, S. Matsuno, V.J. Stenger, D. Takemori, T. Ishii, J. Kanzaki, T. Kobayashi, S. Mine, K. Nakamura, K. Nishikawa, Y. Oyama, A. Sakai, M. Sakuda, O. Sasaki, S. Echigo, M. Kohama, A.T. Suzuki, T.J. Haines, E. Blaufuss, B.K. Kim, R. Sanford, R. Svoboda, M.L. Chen, Z. Conner, J.A. Goodman, G.W. Sullivan, J. Hill, C.K. Jung, K. Martens, C. Mauger, C. McGrew, E. Sharkey, B. Viren, C. Yanagisawa, W. Doki, K. Miyano, H. Okazawa, C. Saji, M. Takahata, Y. Nagashima, M. Takita, T. Yamaguchi, M. Yoshida, S.B. Kim, M. Etoh, K. Fujita, A. Hasegawa, T. Hasegawa, S. Hatakeyama, T. Iwamoto, M. Koga, T. Maruyama, H. Ogawa, J. Shirai, A. Suzuki, F. Tsushima, M. Koshiha, M. Nemoto, K. Nishijima, T. Futagami, Y. Hayato, Y. Kanaya, K. Kaneyuki, Y. Watanabe, D. Kielczewska, R.A. Doyle, J.S. George, A.L. Stachyra, L.L. Wai, R.J. Wilkes, K.K. Young, *Phys. Rev. Lett.* **81**, 1562 (1998).
- [15] Q.R. Ahmad i in., *Phys. Rev. Lett.* **89**, 011301 (2002).
- [16] B.T. Cleveland, T. Daily, R. Davis, Jr., J.R. Distel, K. Lande, C.K. Lee, P.S. Wildenhain, J. Ullman, *Astrophys. J.* **496**, 505 (1998).
- [17] W. Hampel i in., *Phys. Lett.* **B447**, 364 (1999).
- [18] J.N. Abdurashitov i in., *J. Exp. Theor. Phys.* **95**, 181 (2002).
- [19] M. Altmann i in., *Phys. Lett.* **B490**, 16 (2000).
- [20] K. Eguchi i in., *Phys. Rev. Lett.* **90**, 021802 (2003).

Fizyka XX wieku: moje wspomnienia i fascynacje*

Anthony P. French

Physics Department, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA

A selective and personal look at 20th-century physics

Wstęp

Myślę, że trudno nam – nawet dziś – zdać sobie sprawę z tego, jak wielki przewrót w fizyce spowodowały odkrycia dokonane w końcu XIX w. i na początku wieku XX. Już przed tym okresem osiągnięcia fizyki i fizyków XIX w. były przecież olbrzymie; mam na myśli zwłaszcza rozwój termodynamiki i kinetycznej teorii materii oraz połączenie elektryczności i magnetyzmu w elektromagnetyczną teorię światła. Nic zatem dziwnego, że niektórzy (w tym Michelson) uważali, że fizyka zbliża się do końca swego rozwoju, a jedyne, co można jeszcze zrobić, to tylko niewielkie porządki oraz dziesięcio- czy stukrotne poprawienie dokładności stałych fizycznych. Zmieniło się jednak niemal wszystko. Każdy z nas wyrósł już w świecie relatywistycznym i kwantowym. Z drugiej strony rozkwit fizyki w minionym stuleciu był tak wielki, że obejmowany przez nią zakres niezwykle różnorodnych zagadnień nie mógł już być w pełni poznany przez jedną osobę. Z tego właśnie względu nie mogę się podjąć dokonania ogólnego przeglądu tego, co się w fizyce zdarzyło w XX w. W szczególności nie będę mówił o teoriach wielkiej unifikacji, z których być może powstanie to, co czasem nazywa się „teorią wszystkiego”. Chciałbym natomiast omówić kilka tematów, z którymi byłem w jakiś sposób związany lub które mnie po prostu bardzo zainteresowały. Niektóre z nich należą do głównego nurtu fizyki, inne – nie. Łączy je tylko mój wybór, a więc ich zestaw jest pewnie dość chaotyczny. Ponieważ będę mówił o rzeczach nienowych, może się oczywiście okazać, że są one państwu dobrze znane. Moim głównym celem jest jednak podzielenie się z wami, w sposób czasem bardzo osobisty, odczuciami podniecenia i przyjemności, jakie wzbudziła we mnie nasza dziedzina. I mam nadzieję, że każdy z was znajdzie w treści tego wykładu choć jeden fragment, który nie będzie mu dobrze znany.

Kilka słów o mnie

Chodziłem do liceum w latach trzydziestych. Fizyka, z jaką się spotykałem w szkole, była w pełni klasyczna: mechanika, ciepło, światło i dźwięk, elektryczność i magnetyzm. Nie potrafię sobie przypomnieć choćby wzmianki o budowie atomu, zjawiskach kwantowych czy teorii względności, lecz uzyskałem bardzo solidne podstawy fizyki XIX-wiecznej (na co bynajmniej nie narzekam). Poświęciłem jednak wiele godzin na lekturę książek naukowych w bibliotece publicznej. Przypominam sobie zwłaszcza jedną książkę – nosiła tytuł *The Endless Quest* (Poszukiwania bez końca), a jej autorem był F.W. Westaway. Było to potężne dzieło – ok. 2000 stron, o ile dobrze pamiętam – poświęcone ogólnemu, historycznemu przeglądowi nauk przyrodniczych. Musiałem ją zapewne studiować przez wiele tygodni. Nie jestem pewien, czy wiele się z niej nauczyłem. Nie sądzę, by jej autor był zawodowym naukowcem; był chyba raczej dobrze czytany wizytatorem szkolnym lub kimś w tym rodzaju. Czytałem też wówczas popularne książki o astronomii wybitnego matematyka i fizyka, sir Jamesa Jeansa, m.in. *The Stars in their Courses* (polskie wydanie: *Niebo: Astronomia dla laików*) i *The Universe around Us* (polskie wydanie: *Wszechświat, gwiazdy, mgławice*) – porywające, lecz niezbyt wymagające intelektualnie. Potem, gdy miałem 17 lat, dostałem skromną nagrodę za moje szkolne postępy w fizyce – jedną z książek, którą sobie wybrałem, to *The Nature of the Physical World* (polskie wydanie: *Nowe oblicze Natury: Światopogląd fizyki współczesnej*) sir Arthura Eddingtona, oparta na serii jego wykładów na Uniwersytecie w Edynburgu w 1927 r. Jej cena wynosiła 2 szylingi, czyli mniej niż 50 centów! Ta książka otworzyła mi oczy na świat fizyki. Zawierała pozbawiony matematyki opis teorii względności, w której Eddington był autorytetem na miarę światową, oraz wprowadzenie do pojęć teorii

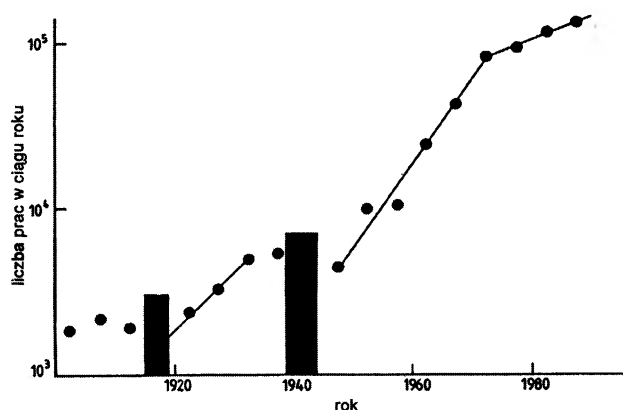
*Tekst wykładu ogłoszonego podczas pierwszego kongresu Światowej Federacji Konkursów Fizycznych (World Federation of Physics Competitions) na wyspie Bali w Indonezji w lecie 2002 r., przetłumaczony za zgodą Autora [Translated with permission].

kwantów (która w czasie, gdy Eddington miał te wykłady, została dopiero co sformułowana przez Heisenberga, Schrödingera i innych). Była porywająca, a do tego świetnie napisana – Eddington był jednym z najlepszych autorów w zakresie całej literatury naukowej. Właśnie wtedy stwierdziłem, że chcę zostać fizykiem. Gdy w 1939 r. wybuchła II wojna światowa, mogło się wydawać, że nic z tego nie wyjdzie, lecz polityka władz brytyjskich, umożliwiającą dalszą naukę studentom nauk przyrodniczych i technicznych, pozwoliła mi pójść na uniwersytet, uzyskać dyplom i natychmiast podjąć związaną z wojną pracę fizyka jądrowego w latach 1942–46, co stało się podstawą mojej dalszej kariery zawodowej.

Zadziwiający rozwój fizyki

Zanim przyjrzymy się samej fizyce, warto zwrócić uwagę na jej ilościowy rozwój w XX w.

Na początku ubiegłego stulecia fizyką zajmowała się zaledwie garstka ludzi. Większość najważniejszych badaczy mogła znać się wzajemnie i wiedzieć, o co chodzi w większości prowadzonych prac. Można przyjąć, że badania w dziedzinie fizyki prowadziło kilka tysięcy osób. Wystarczało zaledwie kilka czasopism naukowych, by informować innych o wynikach własnych prac. W roku 1900 Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne miało ok. 400 członków. Dziś ma ich ok. 40 tysięcy, czyli 100 razy więcej! W podobnym stosunku wzrosła liczba publikowanych artykułów (rys. 1). Poza nieznacznym spadkiem w czasie dwóch wojen światowych wzrost ten był niemal wykładniczy, przy czym podwojenie liczby publikacji następowało co 15 lat.



Rys. 1. Liczba prac z fizyki publikowanych rocznie w XX w. Każdy punkt na wykresie odpowiada średniej z 5 lat (1900–05, 1905–10 itd.). Zaczerniono okresy dwóch wojen światowych. Odcinkami prostych zaznaczono lata, w których wzrost liczby prac był w przybliżeniu wykładniczy (na osi pionowej jest skala logarytmiczna), przy czym liczba prac zwiększała się dwukrotnie w ciągu 9 lat w okresie międzywojennym, w ciągu 6 lat w okresie od 1945 do 1980 r. oraz w ciągu 21 lat w końcu XX w.

Ten potężny rozwój miał nie tylko skutki ilościowe, lecz i jakościowe. Fizycy znają się dziś zwy-

kle tylko wtedy, gdy uprawiają tę samą wąską specjalność. Nie tylko powstały całkiem nowe działy fizyki – jak fizyka jądrowa i fizyka cząstek, fizyka plazmy i fizyka laserów – lecz do tego podzieliły się one na wiele specjalności. Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne, chyba najważniejsza dziś organizacja zrzeszająca fizyków, wbrew swej nazwie niewątpliwie międzynarodowa, podzieliło naszą dyscyplinę na 14 działów plus 9 grup tematycznych. Ta olbrzymia fragmentacja sprawia, że trudno mówić o istnieniu jednej społeczności fizyków, co przynajmniej dla mnie jest bardzo przykre. Nauczyciel fizyki zadowolający się dość umiarkowaną znajomością wielu jej działów ma szansę mieć lepszy obraz całości dyscypliny niż wielu badaczy-specjalistów. Nie dotyczy to oczywiście tak wybitnych indywidualności, jak Richard Feynman, którego geniusz i ciekawość świata nie miały granic. Jednak wszyscy inni mają znacznie trudniejsze życie.

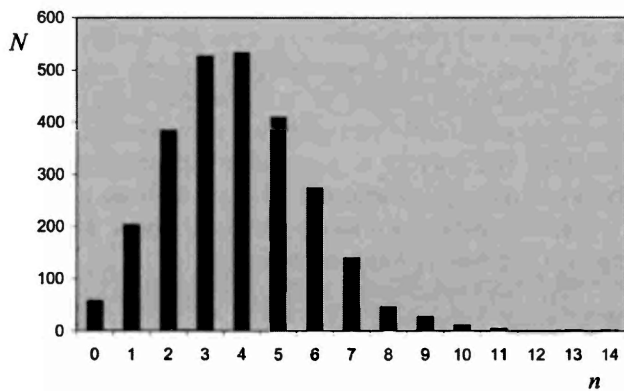
Tyle wprowadzenia. Przejdźmy teraz do wybranych przeze mnie zagadnień.

Czy energia jest zawsze zachowana?

Stawiam to pytanie nie dlatego, byśmy wszyscy mogli bez wahania odpowiedzieć na nie gromkim „tak”, po czym mógłbym natychmiast przejść do następnego zagadnienia, lecz dlatego, że warto sobie uświadomić, iż sto lat temu odpowiedź nie była wcale tak oczywista.

Zasada zachowania energii była, rzecz jasna, jednym z wielkich odkryć fizyki XIX w., lecz w wieku XX musiała stawić czoło kilku poważnym wyzwaniom. Pierwsze z nich wynikło z badań promieniotwórczości. Fakt, że strumień promieniowania z preparatu radioaktywnego był pozornie niewyczerpany, był wysoce tajemniczy (pamiętajmy, że pierwsze substancje promieniotwórcze, jakie odkryto, miały niezwykle długi czas życia, tak że nie obserwowano żadnego spadku ich aktywności z upływem czasu). Maria Skłodowska-Curie wysunęła przypuszczenie, że materiały promieniotwórcze w jakiś sposób pobierają energię z przestrzeni kosmicznej, lecz pogląd ten, jako zbyt dowolny i sztuczny, nie zyskał uznania. Później zastanawiała się, czy energia ta nie może się brać z wnętrza atomu – w owym czasie nie wiedziano jednak nic o wewnętrznej budowie atomów, nie wiedziano nawet, czy atomy w ogóle mają jakąś strukturę. Hipoteza Rutherforda, że poszczególne atomy ulegają rozpadowi samorzutnie i niezależnie od siebie, bez żadnej przyczyny zewnętrznej, była wielce zadziwiająca. Rutherford przeprowadził nawet doświadczenie z bardzo słabym źródłem cząstek α , aby wykazać, że liczba rozpadów w kolejnych, jednakowych przedziałach czasu podlega rozkładowi Poissona, właściwemu dla niezależnych zdarzeń losowych (rys. 2). Nie wiadać było żadnego mechanizmu przyczynowego, który mógłby sprawiać, że pewne jądra ze zbioru takich samych atomów promieniotwórczych rozpadną się wcześniej, a inne później, i nic nie wskazywało na to, by

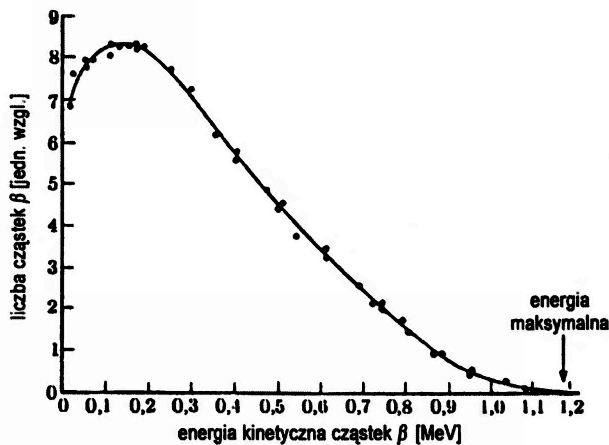
w tym procesie którykolwiek z tych atomów wpływał na inne. Z punktu widzenia klasycznej zasady przyczynowości było to niezrozumiałe. Powoli jednak zaczęto uważać, że to sam atom promieniotwórczy dostarcza energii cząstce α , którą emituje (było to oczywiście na długo przed odkryciem łańcuchowych reakcji jądrowych, w których z całą pewnością rozpad jednego z jąder ma wpływ na rozpad innego!).



Rys. 2. Wynik doświadczenia Rutherforda – rozkład liczby (N) przedziałów czasowych (każdy o długości $1/8$ min), w których licznik zarejestrował n rozpadów α (Rutherford, Geiger, Bateman, *Phil. Mag.* **20**, 698 (1910)).

Inna trudność ujawniła się po powszechnym przyjęciu poglądu, że atom składa się z ciężkiego jądra otoczonego elektronami. Można było wówczas skupić się na właściwościach samego jądra. Odkrycie, że cząstki α wysyłane przez pewne substancje promieniotwórcze mają wiele dobrze określonych wartości energii, jak światło emitowane przez elektrony w atomach, doprowadziło do wniosku, że jądra atomowe mają ostre poziomy energetyczne. Tu jednak zaraz natknięto się na tajemnicze właściwości zjawiska promieniotwórczości β . Jak było wiadomo, przemiana β polega na tym, że jądro o liczbie atomowej Z wysyła elektron i zamienia się w jądro o liczbie atomowej $Z + 1$. Wiadomo było też, że oba te jądra mają ostre poziomy energetyczne, a mimo to rozkład energii elektronów wysyłanych przez substancję promieniotwórczą w wyniku przemiany β był ciągły aż do lepiej lub gorzej określonej energii maksymalnej (rys. 3). W konkretnych przypadkach stwierdzono, że ta energia maksymalna dobrze się zgadza z różnicą znanych wartości energii poziomów początkowego i końcowego, lecz dlaczego pozostałe elektrony miały energię mniejszą? Nie kto inny, jak sam Niels Bohr wysunął (w 1929 r.) hipotezę, że w tej sytuacji energia może nie być zachowana. Dziś oczywiście wiemy, że wyjaśnienie zjawiska wynika z istnienia neutrina (o którym powiemy więcej w dalszej części wykładu), lecz na jego bezpośrednie potwierdzenie trzeba było jeszcze poczekać aż 25 lat.

Bohr dopuszczał niezachowanie energii już wcześniej. Po raz pierwszy wystąpił z tą sugestią w kontekście swego modelu budowy atomu, modelu, który zbudował zaledwie dwa lata po odkryciu jądra atomowego przez Rutherforda. Model ten, zaproponowany przez Bohra w 1913 r., opierał się istotnie na niezwykle prostych założeniach: elektrony krążyły wokół jądra po orbitach kołowych, lecz nie traciły przy tym energii, jak wymagała elektrodynamika klasyczna, po czym nagle przeskakiwały na orbitę odpowiadającą mniejszej energii, emitując jednocześnie światło. Mistrz i kolega Bohra, Rutherford, pisał do niego: „Wydaje mi się, że Pańska hipoteza ma jeden bardzo słaby punkt. (...) W jaki mianowicie sposób elektron wybiera częstotliwość, z którą będzie wykonywał drgania po przejściu z jednego stanu stacjonarnego do innego? Podejrzewam, że musi Pan zakładać, że elektron z góry wie, do jakiego stanu przejdzie”. Model Bohra zawierał również założenie, nazwane przez Léona Rosenfelda „skandalicznym pomysłem”, że „częstość promieniowania wysyłanego lub pochłanianego przez atom nie jest równa żadnej częstości jego ruchu wewnętrznego”. Model ten dawał jednak bardzo dokładny opis widma atomu wodoru i jednokrotnie zjonizowanego atomu helu. W jakimś sensie – jak powiedział Einstein – musiał więc być prawdziwy.



Rys. 3. Widmo cząstek β emitowanych przez RaE, tzn. jądro $^{210}_{83}\text{Bi}$ (wynik pomiarów Neary'ego).

W tej sytuacji Bohr, już po opublikowaniu swojej teorii, zastanawiał się nad mechanizmem promieniowania atomów. W gruncie rzeczy był bardzo przywiązany do klasycznego obrazu promieniowania elektromagnetycznego, który nie dawał żadnych dyskretnych zmian energii. Inaczej mówiąc – w przeciwieństwie do tego, co można wyczytać w niektórych podręcznikach – Bohr nie wierzył w istnienie fotonów. Z drugiej strony jego model atomu wymagał, by energia atomu zmieniała się w sposób nagły. W związku z tym wysunął hipotezę, że w procesie wymiany energii między atomami a promieniowaniem jest ona zachowana jedynie śred-

nio, tzn. w sensie statystycznym. Hipotezę tę opublikował (wraz z dwoma innymi autorami: Kramersem i Slaterem) w 1924 r. Było to dość dziwne, gdyż rok wcześniej Arthur Compton ogłosił wyniki swoich słynnych doświadczeń nad rozpraszaniem promieniowania rentgenowskiego na elektronach, z których wynikało w bardzo przekonujący sposób, że promieniowanie to zachowuje się jak strumień paczek energii, ulegających zderzeniom z elektronami zgodnie z zasadami dynamiki – w poszczególnych zderzeniach zachowana jest zarówno energia, jak i pęd.

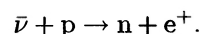
Neutrino

Neutrino, o którym już wspomniałem, ma swoją własną pasjonującą historię. W roku 1930, gdy Niels Bohr martwił się o losy zasady zachowania energii, Wolfgang Pauli, błyskotliwy fizyk austriacki, który w wieku zaledwie 21 lat napisał klasyczny później podręcznik szczególnej teorii względności, a w 1924 r. sformułował swą słynną regułę zakazu dla elektronów, był bardzo sceptyczny wobec idei Bohra. Wysunął hipotezę istnienia cząstki obojętnej elektrycznie, bardzo słabo oddziałującej z materią, która miałaby towarzyszyć każdemu elektronowi emitowanemu w przemianie β , umożliwiając zachowanie w tym procesie energii, pędu i momentu pędu. Wykorzystując tę hipotezę, inny wielki fizyk, Enrico Fermi, stworzył bardzo udaną teorię kształtu widma energii elektronów emitowanych w przemianie β . Od tego czasu istnienie neutrino nie było już nigdy poważnie kwestionowane. Lecz czy można byłoby je kiedyś zaobserwować? Jedyнным wyobraźalnym wówczas procesem było zjawisko odwrotne do przemiany β – gdyby udało się wytworzyć duży strumień neutrino i użyć go do bombardowania odpowiedniej substancji, to można byłoby podjąć próbę zarejestrowania elektronów (dodatnich lub ujemnych) emitowanych z substancji. Nadzieja na sukces była znikoma, gdyż z teorii przemiany β wynikało, że prawdopodobieństwo takiego procesu odwrotnego jest niezmiernie małe. Bardzo dramatycznie wyraża się to mówiąc, że neutrino przebywa w ołowiu średnio drogę o długości jednego roku świetlnego, zanim dozna oddziaływania z jego jądrem! A jednak znalazł się człowiek, Frederic Reines, który uznał, że warto tę możliwość potraktować poważnie. Był to młody teoretyk, pracujący podczas II wojny światowej w laboratorium budowy bomby atomowej w Nowym Meksyku. Uznał on, że wyzwolony w czasie wybuchu takiej bomby potężny strumień neutrino może dać mierzalną liczbę przypadków, i rozważał nawet wykorzystanie do tego celu jednego z wybuchów próbnych. Po wojnie uznał, że być może uda się wykorzystać jeden z działających wówczas wielkich reaktorów jądrowych, zwłaszcza jeden z nowszych, w Savannah River w Południowej Karolinie, wytwarzający tryt (izotop wodoru o liczbie masowej 3) do produkcji bomby wodorowej. Wziął się do pracy z kolegą, Clydem Cowanem, i w 1955 r.

osiągnęli sukces. Muszę tu przypomnieć, że podstawowy proces przemiany β polega na zamianie neutronu w proton z emisją ujemnego elektronu i neutrino (dokładniej – antyneutrino):



Reines i Cowan zaobserwowali proces odwrotny – wychwyt antyneutrino przez proton, przy czym powstaje neutron i pozyton:



Neutrony były wychwytywane przez atomy kadmu w wielkim zbiorniku z roztworem chlorku kadmu, co prowadziło do emisji promieniowania γ . Świadectwem zajścia reakcji z udziałem neutrino była detekcja – w koincydencji – pozytonów i fotonów γ , do czego służyły liczniki scyntylicyjne umieszczone wokół zbiornika z cieczą. Za to osiągnięcie Reines otrzymał w 1995 r. Nagrodę Nobla.

Chciałbym tu wtrącić krótkie wspomnienie. Gdy doświadczenie to było wykonywane, pracowałem na Uniwersytecie Południowej Karoliny, niedaleko zakładów w Savannah River. Clyde Cowan uprzejmie przyjął wówczas moje zaproszenie do przyjazdu na nasz Uniwersytet i wygłoszenia wykładu na temat swoich prac. Tak się złożyło, że blisko dziesięć lat później znów się spotkaliśmy. W 1966 r. wyjechałem do RPA, by wygłosić serię wykładów dla nauczycieli fizyki. W tym czasie Reines ze współpracownikami zbudował podziemne laboratorium w najniższym miejscu kopalni złota w pobliżu Johannesburga, na głębokości ok. 3 kilometrów. Celem doświadczenia była detekcja neutrino wytwarzanych przez promieniowanie kosmiczne wchodzące w atmosferę ziemską. Można było przyjąć, że na dno kopalni nie dociera nic poza neutrino. Miałem okazję zwiedzić to laboratorium. Poza wszystkim innym przekonałem się, że za nic nie chciałbym być górnikiem w kopalni złota – gorąco i wilgotność były nie do wytrzymania.

Wydaje mi się zadziwiające, że neutrino, uważane swego czasu za niemal niemożliwe do wykrycia, stało się ostatnio jedną ze standardowych cząstek używanych do bombardowania różnych obiektów w eksperymentach fizyki wielkich energii, w których wykorzystuje się wiązki neutrino o kontrolowanych właściwościach.

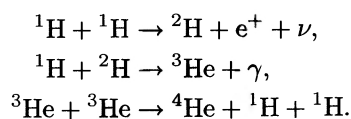
Słońce jako reaktor jądrowy

Źródło energii Słońca było przez długi czas zagadką. A potem, na początku XX w., dokonano dwóch odkryć. Po pierwsze, powstała szczególna teoria względności Einsteina, stwierdzająca równoważność masy i energii w słynnym wzorze – chyba najlepiej znanym wzorze całej fizyki. Po drugie, brytyjski fizyk, Francis Aston, wykonał pomiary mas atomów przy użyciu zbudowanego przez siebie urządzenia – spektrometru mas. W roku 1920 Arthur Eddington połączył ze sobą te dwa odkrycia w swym epokowym

artykule „The internal constitution of the stars” (Budowa wewnętrzna gwiazd), w którym wysunął hipotezę, że „w gwiazdach prawdopodobnie zachodzi uwolnienie energii w układach subatomowych”. Nawiązywał w ten sposób do niedawnego stwierdzenia przez Astona, że masa atomu helu jest mniejsza od masy czterech atomów wodoru „o mniej więcej jedną część na 120”. Jak można było wyjaśnić tę różnicę mas? Eddington tego nie wiedział, lecz domyślał się, że odpowiedzi należy szukać w przemianach w skali atomowej. Wygłosił więc słynną uwagę, że „sir Ernest Rutherford rozbił ostatnio atomy tlenu i azotu, wybijając z nich izotop helu; to, co da się zrobić w Cavendish Laboratory, może się też udawać w Słońcu”.

Fizyka jądra atomowego nie istniała jeszcze jako dział fizyki, a neutron miał być odkryty dopiero 12 lat później, lecz hipoteza Eddingtona była słuszna.

Potrzeba było jeszcze bardzo wielu badań z zakresu fizyki jądrowej, aby można było poznać mechanizm przemiany wodoru w hel. W szczególności trzeba było zrozumieć właściwości przemiany β (emisji elektronów i neutrino przez substancje promieniotwórcze), a także uzyskać wiarygodny opis wnętrza Słońca oraz poznać temperaturę tego wnętrza, o której można z pewnością założyć, że wynosi ok. $1,5 \cdot 10^7$ K. W tej temperaturze średnia energia kinetyczna protonu wynosi zaledwie ok. 1 keV, czyli mniej niż 1% wysokości bariery kulombowskiej między bliskimi sobie protonami. Jednak w 1928 r. Gamow oraz niezależnie Condon i Gurney rozwinęli kwantową teorię zjawiska tunelowego. Wynikało z niej, że prawdopodobieństwo reakcji p-p we wnętrzu Słońca jest niezwykle małe, lecz różne od zera. W 1938 r. Hans Bethe przedstawił analizę możliwego procesu syntezy helu. Dla jej zajścia potrzebne jest dodanie do protonu kolejno trzech następnych, przy czym w poszczególnych reakcjach emitowane są pozytony, neutrino i fotony γ :



Łącznie w wyniku tych reakcji uwalnia się ok. 25 MeV energii na każdy wytworzony atom helu (proszę zauważyć, że ponieważ jądro helu zawiera dwa protony i dwa neutrony, to w trakcie tego procesu dwa protony ulegają przemianie w neutrony). Publikując swą teorię, Bethe miał niewiele ponad 30 lat. Dziś – ponad 60 lat później – ma 95 lat i nadal prowadzi poważne badania!

Ja osobiście mam wielki kłopot z ogarnięciem gigantycznej skali procesów zachodzących w Wszechświecie, nawet w Słońcu, które – jak wiemy – jest zaledwie niewielkim pyłkiem w naszej Galaktyce. Rozważmy prosty przykład. Słońce promieniuje energię z szybkością ok. $3,6 \cdot 10^{26}$ W, co odpowiada utracie masy około 4 miliardów kilogramów na sekundę. Pewnie polecali państwo swoim studentom obliczenie

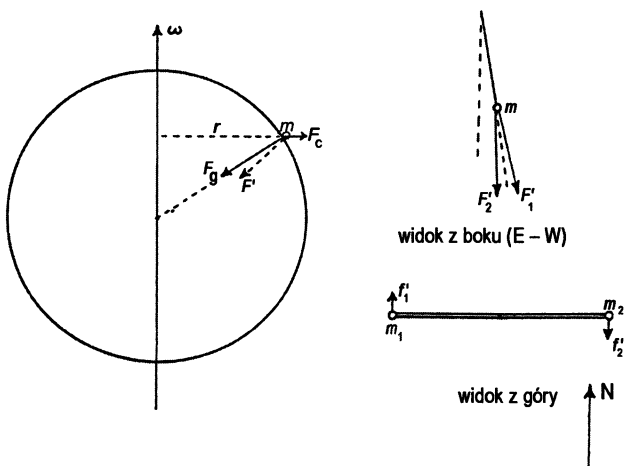
tych wartości na podstawie informacji, że promieniowanie słoneczne ma na powierzchni Ziemi natężenie ok. 1 kW/m^2 . W ten sposób można stwierdzić, że w Słońcu wytwarzanych jest ok. 10^{38} jąder helu na sekundę. W większości odbywa się to w pobliżu środka Słońca, gdyż tam panuje najwyższa temperatura, a prawdopodobieństwo, że mimo odpychania elektrostatycznego zajdzie reakcja jądrowa dwóch protonów, bardzo szybko maleje ze spadkiem temperatury.

Wyzwanie rzucone Newtonowi

Chciałbym teraz powrócić do ściśle klasycznej dziedziny fizyki. Jednym z najpiękniejszych doświadczeń, jakie poznałem będąc studentem fizyki, było sprawdzenie newtonowskiego prawa powszechnego ciążenia – stwierdzenia, że siła grawitacyjna działająca między dwoma ciałami jest proporcjonalna do iloczynu ich mas bezwładnych i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi. Z prawa tego wynika, że siła ta zupełnie nie zależy od rodzaju i składu ciała. Według naszej obecnej wiedzy, z einsteinowskiej zasady równoważności – mówiącej, że skutki jednostajnie przyspieszonego ruchu układu odniesienia są nieodróżnialne od wpływu jednorodnego pola grawitacyjnego – wynika oczywiście natychmiast dokładna proporcjonalność siły grawitacji do masy. Nie oznacza to jednak, że doświadczalne sprawdzanie tej zależności były niepotrzebne. Sam Newton wykazał, że jest ona spełniona z dokładnością do 0,1%, stwierdzając, że każde wahadło matematyczne o tej samej długości ma taki sam okres drgań niezależnie od tego, z czego wykonany jest jego obciążnik.

Chciałbym przypomnieć piękne doświadczenie, wykonane przez fizyka węgierskiego, barona Rolanda Eötvösa, najpierw w 1889 r., a potem – w wersji ulepszonej – w 1908 r. Powszechnie znane stało się to drugie doświadczenie, którego wyniki opublikowano po raz pierwszy w 1910 r. Opiszę je pokrótce. Dwa ciała z różnych materiałów, lecz o mniej więcej jednakowej masie (dokładna równość mas nie jest konieczna), wiszą na dwóch końcach poziomego pręta. Pręt jest zawieszony na długiej nici (jak wahadło torsyjne) i ustawiony w przybliżeniu w kierunku wschód–zachód (rys. 4). W nieinercyjnym układzie odniesienia związanym z obracającą się Ziemią siła F' działająca na każde z ciał jest wypadkową ciężaru F_g i siły odśrodkowej F_c związanej z ruchem obrotowym Ziemi. Siła odśrodkowa jest ściśle proporcjonalna do masy bezwładnej ciała (jak mówi II zasada dynamiki Newtona). Gdyby stosunek siły ciężkości do siły odśrodkowej nie był taki sam dla obu ciał, kierunek działających na nie sił wypadkowych nie byłby całkiem jednakowy. Skutkiem tego byłoby działanie na podtrzymujący ciała pręt wypadkowego momentu siły, pod którego wpływem pręt przyjmowałby pewne położenie równowagi. Aby się przekonać, czy ów moment siły występuje, należy obrócić cały układ wokół osi pionowej o 180° – jeśli ten moment istnieje, to jego kie-

runek zmieni się wówczas na przeciwny i pręt zmieni nieco swe ustawienie względem pudła, w którym jest umieszczony. Eötvös twierdził, że jego układ doświadczalny pozwoliłby wykryć względną różnicę stosunków mas grawitacyjnych do mas bezwładnych dwóch ciał niemniejszą niż 10^{-8} . Na marginesie: pamiętam, że czytałem o wariancie tego układu, zbudowanym także przez Eötvösa, zdolnym do wykrycia zmiany ciężaru ciała wynikającej ze zmiany jego odległości od Ziemi o 1 metr! Stał się on potem podstawą przyrządów służących do pomiarów lokalnych zmian pola grawitacyjnego Ziemi, wykorzystywanych np. w badaniach geofizycznych.



Rys. 4. Schemat doświadczenia Eötvösa.

Wyzwanie rzucone Newtonowi (a także – zapewne – Einsteinowi) pojawiło się w 1986 r. w pracy Ephraima Fischbacha i współpracowników. Przedstawili oni nową analizę danych Eötvösa, z której zdawało się wynikać, że istnieje słaba, lecz systematyczna zależność stosunku masy grawitacyjnej do masy bezwładnej od składu badanych ciał. Aby ją wyjaśnić, autorzy tej pracy wprowadzili mały dodatkowy przyczynek do siły działającej między ciałami, którego zmniejszenie się ze wzrostem odległości ciał było szybsze, niżby to wynikało z prawa Newtona. Założenie to nie stało w sprzeczności z faktem, że prawo powszechnego ciążenia doskonale wyjaśnia dynamikę Układu Słonecznego, gdyż ów nowy przyczynek do prawa grawitacji stawałby się mniej lub bardziej niewykrywalny dla ciał odległych od siebie o więcej niż ok. 1 km. Tę nową siłę nazwano „piątą siłą”, gdyż miałyby ona być wyrazem nowego oddziaływania ciał, uzupełniającego zestaw czterech znanych dotychczas oddziaływań fundamentalnych. Podano nawet teoretyczne przesłanki istnienia tego oddziaływania, oparte na fizyce cząstek elementarnych.

Hipoteza ta stała się oczywiście wielką sensacją i spowodowała podjęcie intensywnych badań w wielu laboratoriach. Po około 5 latach stwierdzono ostatecz-

nie, że nie ma dostatecznych dowodów na istnienie piątej siły. W trakcie tych badań stwierdzono jednak, że istnieje bardzo mało danych na temat tego, czy zależność siły grawitacyjnej od odległości ciał ma istotnie charakter odwrotnej proporcjonalności do kwadratu tej odległości także dla małych odległości ciał. Żadne standardowe przyrządy do wyznaczania stałej grawitacyjnej nie umożliwiały sprawdzenia zależności siły od odległości – zakładano, że jest ona dana prawem powszechnego ciążenia, z którego wyznaczano wartość liczbową stałej G . W tych nowych badaniach grawitacji stwierdzono więc między innymi, że prawo powszechnego ciążenia obowiązuje równie dobrze zarówno dla odległości ziemskich, jak i astronomicznych. Tak więc hipoteza, która okazała się w końcu błędna, przyczyniła się do wzbogacenia naszej wiedzy o grawitacji. Jak napisał jeden z fizyków, Allan Franklin, opisując ten epizod: „Błędna fizyka niekoniecznie musi być złem dla nauki”.

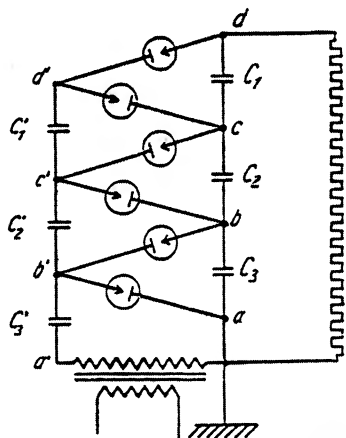
Akceleratory cząstek

Odejdę teraz na pewien czas od czystej fizyki, sądzę jednak, że temat, który zamierzam poruszyć, jest ciekawy i niewątpliwie bardzo ważny dla postępu badań podstawowych.

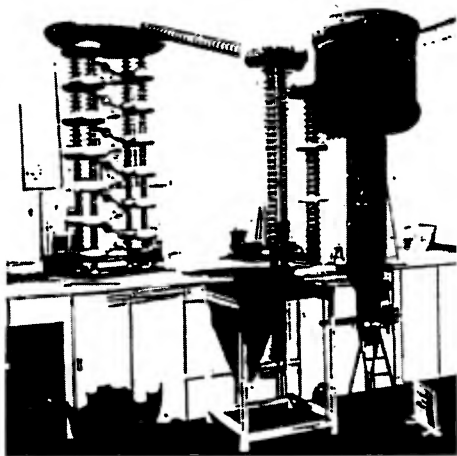
Gdy w 1942 r. dołączyłem do grupy w Cavendish Laboratory zajmującej się badaniami nad bombą atomową, naszym zadaniem był pomiar przekroju czynnego na rozszczepienie izotopów uranu (a później także plutonu) pod wpływem prędkich neutronów. Nie będę tu omawiał tych prac, wspominać o nich tylko po to, by dać wstęp do opisu znakomitych prac wykonanych w XX w. w celu budowy akceleratorów cząstek i innych narzędzi doświadczalnych do badania świata atomów.

W 1942 r. korzystaliśmy z akceleratora o napięciu 1 miliona woltów, będącego w istocie powiększoną wersją akceleratora zbudowanego 10 lat wcześniej (także w Cavendish Laboratory) przez Cockrofta i Waltona, używanego w ich pionierskich badaniach sztucznej promieniotwórczości. Pomysł polegał na użyciu prostowników i kondensatorów do zwielokrotnienia napięcia pobieranego z transformatora wysokiego napięcia (rys. 5). Nigdy nie zapomnę chwili, gdy zobaczyłem to urządzenie (rys. 6) po raz pierwszy. Było ono umieszczone w dużym pomieszczeniu, do którego wchodziło się z pokoju mojego kierownika naukowego. Przez rok bywałem wielokrotnie w tym pokoju jako magistrant, lecz nigdy nie podejrzewałem, że za nim znajduje się ten akcelerator – prace, do jakich służył w czasie II wojny światowej, były oczywiście tajne i zostałem do nich dopuszczony dopiero wtedy, gdy dołączyłem do zespołu w kilka tygodni po uzyskaniu dyplomu. Akcelerator miał nieco futurystyczny wygląd, a milion woltów to w owych czasach było coś! Czasem zdarzało się, że iskry przeskakiwały ze szczytu urządzenia do ścian sali, co było szkodliwe dla akceleratora (nikogo z nas nie było oczywiście w pomieszczeniu, gdy maszyna działała – zagrożeniem było nie tylko wysokie napięcie,

lecz i silna emisja promieniowania rentgenowskiego). W sumie urządzenie to było imponujące i z pewnością wystarczające do naszych ówczesnych celów.



Rys. 5. Schemat akceleratora Cockcrofta-Waltona.



Rys. 6. Fotografia akceleratora Cockcrofta-Waltona, używanego w 1942 r. w Cavendish Laboratory.

Nie był to jedyny wówczas istniejący rodzaj akceleratora. Mniej więcej w tym samym czasie, gdy Cockcroft i Walton zbudowali swe urządzenie, Ernest Lawrence wynalazł cyklotron, a Robert Van de Graaff skonstruował akcelerator elektrostatyczny. Wszystkie one przyspieszały protony lub ciężkie jony do energii rzędu 1 MeV i wszystkie służyły do badań nad bombą atomową. Do 1942 r. cyklotron wyprzedził pozostałe urządzenia, jeśli chodzi o uzyskiwaną energię (choć nie było to jedyne kryterium ich przydatności). W każdym razie bariera 10 MeV była nie do pokonania dla każdego z tych trzech akceleratorów.

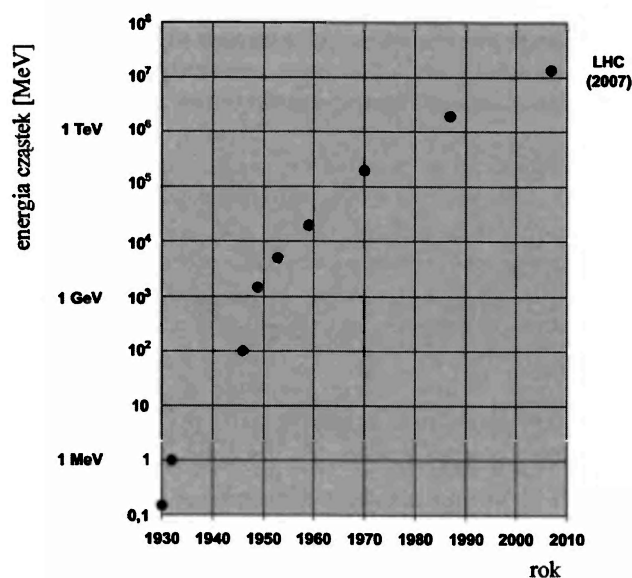
Sytuacja ta bardzo się zmieniła w toku wielkiego wzrostu aktywności naukowej po zakończeniu II wojny światowej. Szybko powstały plany budowy akceleratorów znacznie potężniejszych niż dotychczasowe. Niemal natychmiast powstały urządzenia zdolne przyspie-

szać protony i inne cząstki do energii najpierw dziesiątków, a potem setek MeV. W większości były to cyklotроны, ale budowano także akceleratory liniowe. We wszystkich wykorzystywano jednak pomysł Lawrence'a, aby energię cząstki zwiększać wielokrotnie małymi porcjami zamiast stosować jednokrotnie bardzo duże napięcie przyspieszające. Powstała zupełnie nowa dziedzina fizyki, zajmująca się badaniem struktury i wewnętrznych stanów energetycznych neutronów i protonów, co doprowadziło w końcu do obecnego modelu kwarkowego budowy nukleonów.

Żądanie dalszego wzrostu energii cząstek spowodowało powstanie całkiem nowych koncepcji budowy akceleratorów – w szczególności idei utrzymywania cząstek na orbicie o określonym promieniu, co umożliwiło stosowanie pola magnetycznego tylko w obszarze stałej orbity, a nie w całym obszarze koła. Aby pokonać problem relatywistycznego wzrostu masy cząstek, uniemożliwiający wykorzystanie cyklotronu działającego przy stałej częstotliwości w stałym polu magnetycznym, zbudowano urządzenia, w których zarówno natężenie pola magnetycznego, jak i częstota napięcia przyspieszającego ulegały zmianie w czasie przyspieszania cząstek. Zastosowano magnesy nadprzewodnikowe, aby ograniczyć straty mocy zasilania. Osiągana maksymalna energia cząstek wzrosła od setek do tysięcy MeV, a nawet jeszcze bardziej, dzięki czemu zaczęto ją wyrażać w gigaelektronowoltach (GeV). Szczególnie udany był pomysł specjalistów od konstrukcji akceleratorów, aby zamiast bombardować nieruchomą tarczę wiązką cząstek o wielkiej energii, doprowadzać do zderzenia cząstek z dwóch przeciwbieżnych wiązek. Był to wielki krok naprzód – relatywistyczny wzrost masy z energią cząstek powodował, że większość energii cząstki pocisku była zużywana na nadanie pędu układowi dwóch cząstek, a tylko jej część mogła być wykorzystana w samym zderzeniu. Na przykład, gdy proton o energii 30 GeV uderza w proton nieruchomej tarczy, energia zderzających się cząstek w układzie ich środka masy wynosi zaledwie 7,6 GeV. Jeśli natomiast dwa protony, każdy o energii 15 GeV, zderzają się czołowo, to ich energia w układzie środka masy jest równa całym 30 GeV, czyli blisko 4 razy więcej niż w poprzedniej sytuacji. Obecnie mamy już akceleratory teraelektronowoltowe (TeV), czyli nadające cząstkom energię milion razy większą niż nasze stare urządzenia z czasów wojny.

Na rysunku 7 pokazano olbrzymi wzrost energii przyspieszanych cząstek uzyskany w XX w. W początkowej fazie rozwoju akceleratorów maksymalna energia cząstek rosła z upływem czasu niemal wykładniczo. Nie sposób jednak zakładać, że tak szybki wzrost będzie się utrzymywał bez końca. Najnowsze akceleratory mają orbity cząstek o obwodzie dziesiątków kilometrów, a koszty ich budowy i eksploatacji są olbrzymie. Słynna jest opowieść o tym, jak w 1954 r. Enrico Fermi wyobrażał sobie (nie można przecież powiedzieć, że planował!) akcelerator, którego magnesy by-

łyby ustawione wzdłuż całego obwodu Ziemi. Jest to zaiste swego rodzaju sytuacja graniczna. Takie urządzenie mogłoby nadać protonowi energię 5000 TeV. Jak jednak zauważył ostatnio jeden z wybitnych konstruktorów akceleratorów, Roy Schwitters, gdyby proton o tej energii zderzył się z protonem w spoczynku, energia ich zderzenia w układzie środka masy wynosiłaby zaledwie 3 TeV, a przecież najnowsze akceleratory wiązek przeciwbieżnych dają już energię ponad 1 TeV.



Rys. 7. Wzrost energii przyspieszanych cząstek w ciągu XX w.

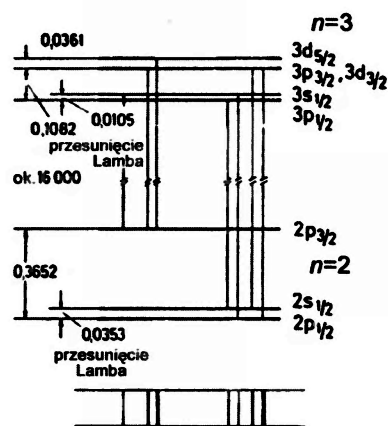
Jak więc widać, w tej dziedzinie zaszły olbrzymie zmiany. Naszą starą pracownię w Cavendish Laboratory nazywano „laboratorium wysokich napięć”, lecz z punktu widzenia współczesnej fizyki cząstek wytwarzaliśmy cząstki o energii bliskiej zera! Fizyka zawdzięcza bardzo wiele wspaniałym ludziom, którzy do tego doprowadzili.

Cząstki w pułapkach

Chciałbym teraz przenieść się na drugi kraniec skali energii i opowiedzieć o rzeczach, z którymi nie miałem osobiście żadnego kontaktu. Uważam je jednak za tak fascynujące, że nie mogę o nich nie wspomnieć. Mowa będzie o bardzo małej energii i bardzo niskiej temperaturze, a do tego niezwykle wysokiej próżni.

Prace te mają swój początek w rozwoju dziedziny zwanej elektrodynamiką kwantową (QED – quantum electrodynamics), będącej połączeniem teorii elektromagnetyzmu z mechaniką kwantową. Stała się ona obszerną i ważną częścią fizyki. Wszystko zaczęło się w 1928 r., gdy znakomity teoretyk brytyjski Paul Dirac stworzył relatywistyczną teorię elektronu. Jednym z jej wyników było stwierdzenie, że moment magnetyczny elektronu powinien być dokładnie równy magnetonowi Bohra μ_B ($eh/4\pi m_e$). Wynikało stąd, że poziomy ener-

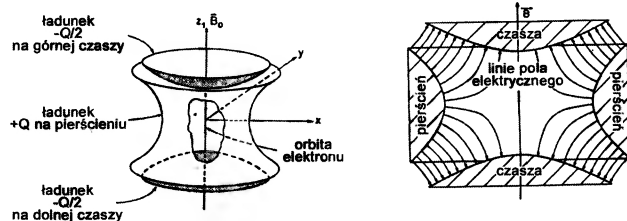
getyczne $2S_{1/2}$ i $2P_{1/2}$ atomu wodoru powinny odpowiadać dokładnie takiej samej energii. Z upływem czasu z danych spektroskopowych wynikało jednak coraz wyraźniej, że tak nie jest (rys. 8).



Rys. 8. Fragment schematu poziomów energetycznych atomu wodoru, pokazujący rozszczepienie poziomów $S_{1/2}$ i $P_{1/2}$ (przesunięcie Lamba).

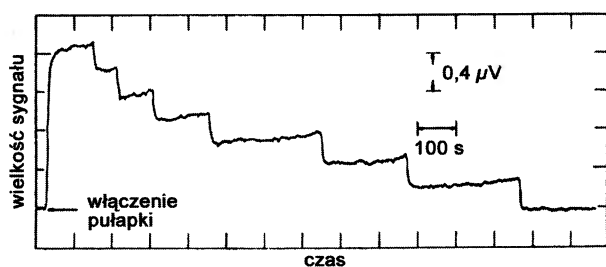
Po II wojnie światowej technika elektroniczna, rozwinięta w czasie wojny głównie w celu zastosowań radarowych, wkroczyła do badań fizycznych i bardzo je odmieniła. W pięknym doświadczeniu wymyślonym przez Willisa Lamba rozszczepienie wspomnianych poziomów zmierzono z dokładnością względną do 10^{-5} i stwierdzono, że moment magnetyczny elektronu jest równy ok. $1,00115 \mu_B$. Równoległe z tymi doświadczeniami prowadzone były w ramach elektrodynamiki kwantowej intensywne prace teoretyczne, dające wyniki zgodne z pomiarami Lamba. Bardzo starano się zwiększyć dokładność zarówno doświadczeń, jak i teorii. Elektron jest chyba najbardziej elementarną cząstką w fizyce, a zatem jego właściwości stanowią kluczowy sprawdzian wyników teorii. Obliczenia zostały bardzo rozwinięte i zwiększono ich dokładność o wiele rzędów wielkości. Co się tyczy doświadczeń, to Hans Dehmelt, korzystając z wcześniejszych prac Wolfganga Paula, zbudował pułapkę elektronową (typu nazywanego pułapką Penninga), składającą się z trzech elektrod o specjalnym kształcie, zamkniętych w komorze wysokopróżniowej i umieszczonych w silnym osiowym polu magnetycznym (rys. 9). Dzięki odpowiedniemu wykorzystaniu pola elektrycznego i magnetycznego możliwe stało się uwięzienie elektronów w niewielkim obszarze w środku pułapki. Ponadto można było zmierzyć z niezwykłą dokładnością stosunek dwóch częstości ruchu elektronów w polu magnetycznym: częstości cyklotronowej w polu osiowym i częstości precesji spinu elektronu. Według teorii Diraca częstości te powinny być jednakowe. Dehmeltowi udało się zmierzyć ich różnicę z dokładnością względną $4 \cdot 10^{-9}$ (a stosunek momentu magnetycznego do spinu z dokładnością względną kilka razy 10^{-11}). Jest to naj-

dokładniejszy sprawdzian jakiegokolwiek teorii fizycznej. Za te prace Dehmelt otrzymał Nagrodę Nobla w 1989 r.



Rys. 9. Schemat pułapki Penninga.

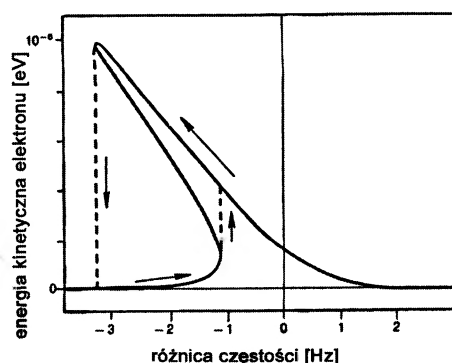
Był to wynik wielkiej wagi. Równie zachwycające są dla mnie jednak także inne aspekty prac nad pułapkami elektronowymi. Przede wszystkim niezwykle jest to, że na podstawie wielkości napięcia indukowanego w elektrodach w trakcie ruchu cząstek można wiedzieć, ile jest elektronów w pułapce. Zaczynając od pewnej nieznannej liczby elektronów, można pobudzać ich drgania za pomocą dostatecznie silnego pola, tak by wyrzucać je z pułapki jeden po drugim. Na rysunku 10 pokazano, jak się to odbywa. Można w ten sposób dojść do sytuacji, w której w pułapce pozostaje tylko jeden elektron i ten pojedynczy elektron można w niej utrzymywać przez całe tygodnie, a nawet miesiące. Elektrony uwięzione w pułapce ochłodzonej do temperatury ciekłego helu udało się nawet przewieźć z jednego końca Stanów Zjednoczonych na drugi! Dehmelt nazwał układ jednego elektronu i pułapki „geonium”, gdyż pułapka gra tu w pewnym sensie rolę całej reszty Ziemi, a poziomy energetyczny tego układu są podobne do poziomów układu złożonego z protonu i elektronu.



Rys. 10. Zapis sygnału związanego z drganiami elektronów w pułapce z częstotliwością ok. 55,7 MHz jako funkcji czasu. Sygnał maleje schodkowo w miarę jak kolejne elektrony są usuwane z pułapki przy użyciu pola o częstotliwości ok. 54,7 MHz. Plateau na prawym końcu wykresu odpowiada jednemu elektronowi w pułapce.

Wykorzystując jedną z takich pułapek, wykonano piękne doświadczenie potwierdzające relatywistyczny wzrost masy z prędkością. Jak wiadomo, w 1905 r. szczególna teoria względności była przydatna głównie do opisu ciał poruszających się z wielką prędkością.

Wiadomo jednak też, że siłę magnetyczną działającą między dwoma przewodami z prądem można interpretować jako skutek lorentzowskiego skrócenia odległości między poruszającymi się w przewodach elektronami (których prędkości v wynoszą zaledwie kilka milimetrów na sekundę). Siła ta jest (co do rzędu wielkości) $v^2/c^2 \approx 10^{-22}$ razy mniejsza od siły elektrostatycznej, z jaką odpychałyby się wszystkie elektrony w obu przewodach, gdyby udało się jakoś usunąć z nich wszelkie ładunki dodatnie. Rozumowanie to jest powszechnie znane, lecz tylko w odniesieniu do elektronów w ciele stałym. Piękne doświadczenie, które przeprowadził Gerald Gabrielse ze współpracownikami w 1985 r., bezpośrednio wykazało istnienie efektów relatywistycznych dla jednego elektronu o małej energii, uwięzionego w pułapce Penninga. Częstota cyklotronowa dla takiego elektronu nieznacznie zależy od jego energii kinetycznej. Gdyby tak nie było, zależność energii kinetycznej od częstoty zewnętrznego pola elektrycznego byłaby opisana przez zwykłą krzywą rezonansową. Uwzględnienie zmienności masy prowadzi do „pochylenia się” krzywej rezonansowej (rys. 11). Odchylenie to ma zakres zaledwie kilkuset herców (w skali częstoty pola zewnętrznego), podczas gdy częstota rezonansowa wynosi ok. 164 GHz.



Rys. 11. Zależność energii elektronu od częstoty pola zewnętrznego jest bardzo silnie zniekształcona w wyniku relatywistycznego wzrostu masy elektronu nawet dla bardzo małej energii, o ile krzywa rezonansowa jest dostatecznie wąska (na rysunku pokazano dla wyrazistości wynik obliczeń dla nierealistycznie małej energii). Otrzymana niejednoznaczna zależność energii od częstoty prowadzi do histerezy, czyli skoków, pokazanych liniami przerywanymi, przy zmianie częstoty w jedną lub drugą stronę (zaznaczonej strzałkami).

Pułapki dla cząstek wykorzystywano i do innych badań. W artykule przeglądowym opublikowanym w 2001 r. Gabrielse doniósł o niezwykłym sukcesie – uwięzieniu antyprotonów. Aby tego dokonać, trzeba było zacząć od antyprotonów z akceleratora, mających energię kinetyczną 6 MeV (a zatem już znacznie spowolnionych), zmniejszyć ich energię poniżej 3 keV w wyniku zderzeń z materią, a następnie umieścić je w pułapce i jeszcze bardziej zmniejszyć ich energię (po-

nad 10^6 razy) w wyniku zderzeń z elektronami, znajdującymi się w równowadze termodynamicznej w pułapce o temperaturze ok. 4 K (i ciśnieniu mniejszym od $5 \cdot 10^{-17}$ Tr!). Pomiary częstości cyklotronowej dla pojedynczych protonów i pojedynczych antyprotonów w pułapce wykazały, że różnica względna stosunków ładunku do masy dla protonów i antyprotonów nie przekracza 10^{-9} . Był to szczególnie dokładny sprawdzian symetrii oddziaływań podstawowych.

Celem prac, które są obecnie w toku, jest uwięzienie w jednej pułapce antyprotonów i pozytonów, tak by mogły utworzyć obojętny atom antywodoru¹.

Promieniowanie grawitacyjne

Zagadnienie promieniowania grawitacyjnego jest – moim zdaniem – jednym z wielkich problemów w całej historii fizyki, nie tylko fizyki XX w. Głównym bohaterem jest tu oczywiście Albert Einstein i jego ogólna teoria względności z 1916 r. Einsteinowi udało się wówczas wyjaśnić trzy zjawiska, które stały się sławne: grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni długości fali światła wysyłanego przez ciała o dużej masie, niezrozumiałą uprzednio wartość tempa, w jakim orbita Merkurego zmienia swą płaszczyznę, oraz zakrzywienie toru światła w pobliżu Słońca. Pierwsze z nich zaobserwowano w warunkach ziemskich dopiero w 1960 r.; jest ono dziś uważane raczej za świadectwo zasady równoważności Einsteina niż ogólnej teorii względności. Ostatnie z nich – zakrzywienie torów światła gwiazd – potwierdzono w sposób przybliżony podczas ekspedycji astronomicznej, zorganizowanej w 1919 r. przez sir Arthura Eddingtona. Jak pewnie wszyscy wiedzą, odchylenie promieni światła równe połowie wartości wynikającej z ogólnej teorii względności można bez trudu otrzymać, rozpatrując foton jako cząstkę newtonowską, przebiegającą obok Słońca z prędkością c . Co więcej, pierwsze obliczenia Einsteina też dały taki wynik. Einstein miał jednak szczęście, że I wojna światowa uniemożliwiła weryfikację doświadczalną przed 1919 r., a do tego czasu zdążył już poprawić swe pierwotnie błędne obliczenia. Prasa podchwyciła problem weryfikacji teorii Einsteina i bardzo go rozreklamowała – zakrzywienie przestrzeni zaciekało ludzi i Einstein zyskał światową sławę. To jednak tylko dygresja; Einstein zrobił jeszcze więcej. W pracach opublikowanych w latach 1916–18 wysunął hipotezę, że – zgodnie z równaniami pola w jego teorii – ciała obdarzone masą i poruszające się ruchem przyspieszonym powinny wysyłać fale grawitacyjne rozchodzące się z prędkością światła. Promieniowanie to musiałyby jednak być niezwykle słabe w porównaniu z promieniowaniem elektromagnetycznym, głównie ze względu na to, że oddziaływanie grawitacyjne jest stosunkowo bardzo słabe. Jestem pewien, że każdy z państwa wykonał obliczenia prowadzące do wniosku, że stosunek siły grawitacyjnej i elek-

trostatycznej działających między protonem a elektronem jest rzędu 10^{-40} . Mówiąc bardziej ogólnie, siła Coulomba, działająca między dwiema cząstkami o jednakowych ładunkach elektrycznych q , znajdującymi się w odległości r od siebie, jest równa kq^2/r^2 , gdzie k jest stałą w prawie Coulomba. Dla dwóch cząstek o jednakowej masie m siła grawitacji wynosi $-Gm^2/r^2$ (minus oznacza, że siła jest przyciągająca). Jeśli obie te siły działają między tymi samymi cząstkami, to stosunek ich wartości wynosi Gm^2/kq^2 . Okazuje się, że taki sam jest wynikający z teorii stosunek szybkości utraty energii przez te cząstki drgające z pewną częstością. Wynika stąd, że promieniowanie grawitacyjne jest istotnie skrajnie słabe.

Podstawowym rodzajem promieniowania elektromagnetycznego jest oczywiście promieniowanie dipolowe, emitowane wówczas, gdy cząstki o ładunkach dodatnich i ujemnych drgają w przeciwnej fazie. Grawitacja nie zna jednak dipoli – wszystkie „ładunki” grawitacyjne są tego samego znaku. W rezultacie najprostszą postacią promieniowania grawitacyjnego jest promieniowanie kwadrupolowe, powstające na przykład wtedy, gdy dwa ciała o jednakowej masie wykonują drgania wzdłuż linii prostej w przeciwnych kierunkach lub gdy jedno obiega drugie, jak w układzie gwiazdy podwójnej. Wyobraźmy sobie układ podwójny złożony z dwóch gwiazd o jednakowej masie, poruszających się po orbitach kołowych wokół wspólnego środka masy. Załóżmy, że nie są one naładowane elektrycznie. Zgodnie z równaniami Einsteina szybkość utraty przez nie energii w wyniku promieniowania grawitacyjnego jest dana wzorem

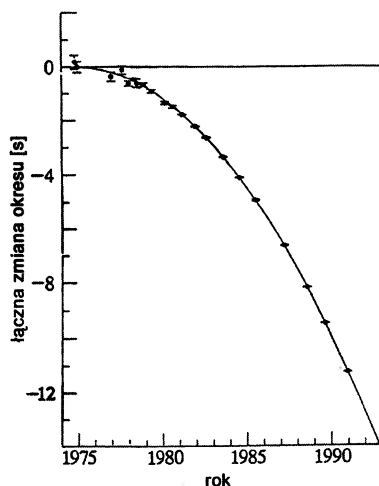
$$\frac{dE}{dt} = -\frac{128}{5} \frac{GM^2}{c^5} \omega^6.$$

Tracąc energię, gwiazdy zbliżyłyby się stopniowo do siebie, a na mniejszych orbitach poruszałyby się szybciej. Warto zwrócić uwagę, że teoretyczna szybkość utraty energii rośnie proporcjonalnie do szóstej potęgi częstości obrotu, aby więc mieć nadzieję na wykrycie promieniowania grawitacyjnego, należy starać się znaleźć układ podwójny o niezwykle małym okresie obiegu.

Obliczenia te są słuszne tylko dla gwiazd, których ruch można uważać za ruch punktów materialnych i między którymi nie działają żadne inne siły. Szansa na znalezienie takiego układu wydaje się niewielka. Lecz, jak pewnie wiecie, ta nieprawdopodobna rzecz się zdarzyła. W 1974 r. ulepszono wielki radioteleskop w Arecibo, w Portoryko. W lipcu tego roku Joseph Taylor i Russell Hulse rozpoczęli poszukiwania nieodkrytych do tego czasu pulsarów, czyli gwiazd neutronowych o średnicy zaledwie kilku kilometrów (a masie porównywalnej z masą naszego Słońca), wirujących z bardzo dużą częstością i wysyłających promieniowanie elektromagnetyczne jak latarnia morska. Gdy

¹ Doświadczenia takie zakończyły się już sukcesem – patrz artykuł M. Kowalskiej „Produkcja zimnego antywodoru”, *Postępy Fizyki* 54, 9 (2003) – red.

promieniowanie to dociera do Ziemi, ma postać bardzo regularnych impulsów – stąd ich nazwa: pulsary. Stosunkowo szybko Taylor i Hulse zaobserwowali 32 takie gwiazdy. Pulsary są dziś jednymi z najbardziej dokładnych zegarów, jakie znamy, lecz jeden z nich, wysyłający ok. 15 impulsów na sekundę, wykazywał dziwną zmienność okresu. Taylor i Hulse stwierdzili, że te zmiany można wyjaśnić przyjmując, że pulsar porusza się po orbicie wokół innego ciała niebieskiego z okresem ok. 8 godzin (gdyby te ciała miały oba masę równą masie Słońca i poruszały się po orbitach kołowych, ich odległość wynosiłaby tylko ok. 2 milionów kilometrów, czyli byłaby równa mniej więcej 2 średnicom Słońca). W kilka tygodni Taylor i Hulse zbadali wszystkie główne właściwości układu. Druga – nieobserwowalna – gwiazda musiała być też gwiazdą neutronową lub podobnym bardzo małym ciałem niebieskim. Stwierdzili jednak i inną cechę układu: okres ruchu pulsara po orbicie był tak krótki, że szybkość utraty przez niego energii w wyniku promieniowania grawitacyjnego powinno dać się bez trudu zmierzyć. Umożliwiło to przeprowadzenie znakomitego testu teorii Einsteina. Obserwacje prowadzone przez następnych 20 lat wykazały, że skrócenie okresu obiegu w porównaniu z ruchem bez utraty energii wyniosło w tym czasie ok. 15 sekund (rys. 12). Wynik ten jest zgodny z przewidzianym przez Einsteina i to bez używania żadnych parametrów dopasowania danych! Za tę wspaniałą pracę Taylor i Hulse otrzymali Nagrodę Nobla w 1993 r. Z pewnością przyznaliby oni jednak, że to sama Przyroda dała im niewiarygodnie cudowny prezent.



Rys. 12. Zmiana okresu obiegu pulsara podwójnego PSR B1913+16 w ciągu blisko 20 lat (J.H. Taylor, *Phil. Trans. R. Soc. London A* 341, 117 (1992)).

Warto tu zauważyć – podobnie jak przy okazji innych eksperymentów fizyki XX w., np. omówionych już doświadczeń z pułapkami elektronowymi – jak niezwykle dokładność pomiarów czasu i częstotliwości.

Bezpośrednia detekcja fal grawitacyjnych?

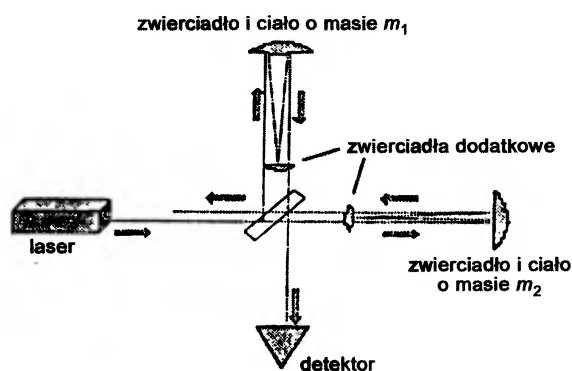
Zapewne wszyscy państwo wiedzą, że historia promieniowania grawitacyjnego nie kończy się na odkryciu podwójnego pulsara. Od lat siedemdziesiątych XX w. wiele pracy włożono w przygotowania do jego detekcji bezpośredniej, tzn. w taki sam sposób, jak promieniowanie elektromagnetyczne odbiera się za pomocą anteny radiowej. Zadanie jest niezwykle trudne, ale jego wykonanie jest z pewnością warte zachodu. Niemal wszystko, co wiemy o Wszechświecie, pochodzi z obserwacji promieniowania elektromagnetycznego – od fal radiowych przez światło aż do promieniowania γ . Byłoby rzeczą wspaniałą móc jakby spojrzeć na Wszechświat przez inne okno.

Jak może państwo wiedzą, fala grawitacyjna jest zniekształceniem („zmarszczką na krzywiznie”) czasoprzestrzeni, jej ściśnięciem w jednym kierunku poprzecznym i rozciągnięciem w innym, prostopadłym do pierwszego. Zniekształcenia te zamieniają się miejscami po upływie czasu równego połowie okresu.

Największa trudność jest związana z niemal niewiarygodną słabością fal grawitacyjnych. Jest ona wynikiem wspomnianej wcześniej niezwyklej względnej słabości oddziaływania grawitacyjnego. Rozpatrywano wiele różnych źródeł fal grawitacyjnych, od stosunkowo spokojnie poruszających się podwójnych pulsarów do tak gwałtownych zjawisk, jak wybuchy supernowych. Ponieważ natężenie fal grawitacyjnych, podobnie jak natężenie światła, jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości od źródła, szansa na wykrycie tych fal zależy nie tylko od intensywności źródła, lecz i od jego odległości od Ziemi.

Już w latach sześćdziesiątych XX w. pojawiły się pierwsze doniesienia o rzekomej obserwacji fal grawitacyjnych, lecz wkrótce okazało się, że stosowany wówczas detektor – ciężki cylinder zawieszony na nici – ma czułość o całe rzędy wielkości niewystarczającą do tego celu. Największą nadzieję budzi dziś rozwijany w USA od lat siedemdziesiątych XX w. projekt LIGO (Laser Interferometer Gravitational-waves Observatory, obserwatorium fal grawitacyjnych przy użyciu interferometru laserowego), a także podobne detektory budowane w kilku innych krajach. Detektor taki jest w gruncie rzeczy potężnym interferometrem Michelsona, z blokami o wielkich masach zawieszonymi na końcach każdego z ramion (rys. 13). Jest nadzieja, że uda się wykryć zmianę względnej długości ramion (z których każde ma długość kilku kilometrów), towarzyszącą przejściu przez układ fali grawitacyjnej. Oszacowano jednak, że dla fal pochodzących z możliwych źródeł fal grawitacyjnych względna zmiana długości nie będzie zapewne większa niż ok. 10^{-20} , co oznacza przesunięcie bezwzględne rzędu 10^{-17} m, czyli jednej średnicy jądra atomowego! Jeśli projekt LIGO nie wydaje się jeszcze komuś dostatecznie ambitny, to powiem, że planuje się już umieszczenie w kosmosie znacznie większego obserwatorium fal grawitacyj-

nych. Projekt ten nosi nazwę LISA (Laser Interferometer Space Antenna, antena kosmiczna w postaci interferometru laserowego) i ma polegać na zbudowaniu trzech układów, odległych od siebie o miliony kilometrów i obiegających Słońce po orbicie Ziemi (o ok. 20° za samą Ziemią). Jest to projekt badawczy niesłychanych rozmiarów, lecz nie powinienem tu chyba mówić o nim zbyt wiele, gdyż jego wyniki, o ile się pojawią, będą już należały do fizyki XXI w., a nie wieku XX.



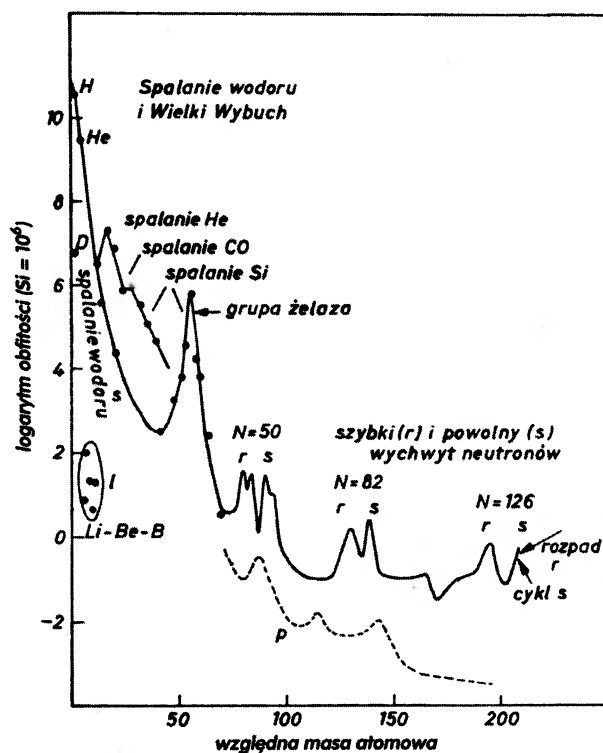
Rys. 13. Bardzo uproszczony schemat detektora fal grawitacyjnych LIGO.

Reakcje jądrowe i powstanie pierwiastków

Na koniec chciałbym wrócić do swojej specjalności, czyli do fizyki jądrowej. To, o czym będę teraz mówił, jest ściśle związane z moimi wcześniejszymi uwagami na temat wytwarzania energii w Słońcu. Obecnie mam jednak zamiar zająć się sposobem, w jaki można wytłumaczyć obserwowany rozkład obfitości pierwiastków chemicznych. Oczywiście najwięcej danych mamy na temat Ziemi i Słońca. Wprawdzie nie wiemy zbyt wiele o planetach spoza Układu Słonecznego, lecz wszystko wskazuje na to, że ewolucja innych gwiazd przebiega mniej więcej tak samo, jak ewolucja Słońca, a więc ich budowa i skład chemiczny są zapewne bardzo podobne.

Jak państwo z pewnością wiedzą, wśród różnych pierwiastków najwięcej jest wodoru i helu, co przypisuje się skutkom Wielkiego Wybuchu. Jest prawie pewne, że większość innych pierwiastków powstała w wyniku reakcji jądrowych we wnętrzu gwiazd. Ogólna tendencja jest taka, że im pierwiastek ma większą masę atomową, tym jest rzadszy. Zakres tych zmian jest w istocie olbrzymi (rys. 14). Jeśli obfitości wodoru (^1H) przypisalibyśmy liczbę 1000, to dla helu otrzymalibyśmy w tej skali obfitość 50, a dla wszystkich innych pierwiastków łącznie – mniej niż 1. Na przykład na Ziemi obfitość pierwiastków o masie atomowej równej 100 lub więcej waha się w granicach od ok. 10^{-5} do ok. 10^{-7} (znów w skali, w której obfitość wodoru wynosi 1000). Można to wyjaśnić, przyjmując, że ciężkie pierwiastki powstawały w wyniku nukleosyntezy, tzn. że ich atomy tworzyły się w procesie dołączania neu-

tronów i protonów do jąder atomów lżejszych. W dokładne zrozumienie zależności obfitości od masy atomowej włożono wiele pracy, badając reakcje jądrowe i budowę jąder, lecz nie będę nawet próbował wchodzić tu w szczegóły. Chciałbym za to zwrócić uwagę na jedną ważną cechę tego procesu.

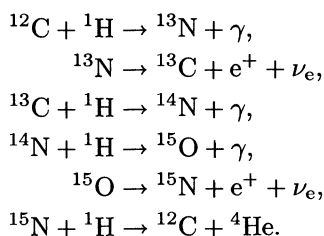


Rys. 14. Względna obfitość pierwiastków (w jednostkach, w których obfitość krzemu wynosi 10^6) jako funkcja ich względnej masy atomowej.

Mówiłem już wcześniej, że Hans Bethe wyjaśnił, w jaki sposób wodór zamienia się w hel-4 w środku takiej gwiazdy, jak nasze Słońce. Co jednak trzeba zrobić, aby wytworzyć atomy jeszcze cięższe? Czy można dodać jeszcze jeden proton do jądra helu? Wygląda na to, że nie, bo nie istnieje jądro trwałe o liczbie masowej 5. Kolejną reakcją, jaką możemy sobie wyobrazić w środku gwiazdy typu Słońca, jest połączenie się dwóch jąder helu-4 w jądro berylu-8. Lecz w jaki sposób? Jądro berylu-8 też jest nietrwałe. Są jednak różne stopnie nietrwałości, których miarą może być szybkość, z jaką jądro nietrwałe dzieli się na dwie części. Otóż okazuje się, że jądro berylu-8, choć nietrwałe, istnieje w środku gwiazdy dostatecznie długo na to, by połączyć się innym jądrem helu-4 i utworzyć węgiel-12. Te jądra węgla-12 powstają w stanie energetycznym znacznie przewyższającym stan trwały, lecz istnieją dostatecznie długo na to, aby w korzystnych warunkach stanowić w środku gwiazdy niewielką, lecz istotną część materii. Jak stwierdzono, stanowi to punkt wyjścia do łączenia się z dalszymi jądrami

helu-4, w wyniku czego powstają kolejne pierwiastki chemiczne, nawet tak ciężkie, jak żelazo ^{56}Fe , którego jądro jest najciaśniej związane ze wszystkich jąder. Istnieją też bardziej złożone mechanizmy, za pomocą których można wytłumaczyć powstawanie wszystkich pozostałych znanych pierwiastków².

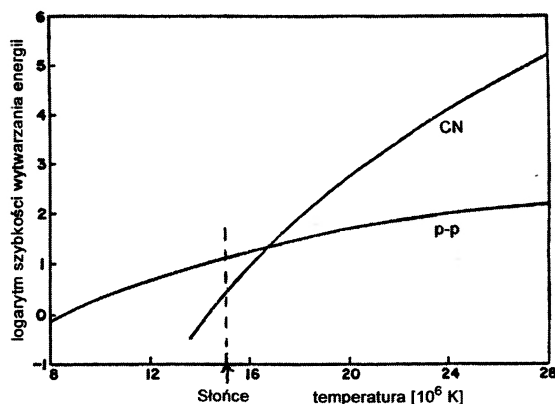
Nie będę się bliżej zajmował powstawaniem cięższych pierwiastków, lecz powrócę – z dwóch ważnych powodów – do węgla-12. Pierwszy z tych powodów to ten, że Hans Bethe w swej pionierskiej pracy na temat wytwarzania energii w gwiazdach zwrócił uwagę na jeszcze inny mechanizm zamiany wodoru w hel. Proces ten, w którym katalizatorem jest właśnie węgiel-12, składa się z następującego ciągu reakcji jądrowych:



Od warunków panujących w środku gwiazdy zależy, czy bardziej wydajny jest w niej ten cykl węglowo-azotowy, czy cykl protonowo-protonowy. Wykres na rys. 15 przedstawia obliczone przez Bethego szybkości wytwarzania energii w obu procesach. Jak widać, cykl CN jest znacznie bardziej wydajny w gwiazdach, w których środku panuje bardzo wysoka temperatura. W środku Słońca, w temperaturze ok. 15 milionów kelwinów, dominuje cykl p-p.

Drugi powód, dla którego poświęcam tyle uwagi węglowi-12, to fascynujący dla mnie element fizyki, a może nawet i coś więcej. Otóż liczba atomów węgla-12 jest wyznaczona przez szybkość jego tworzenia wskutek połączenia się jądra berylu-8 z cząstką α oraz szybkość jego zaniku w wyniku połączenia się jego jądra z kolejną cząstką α , co daje w efekcie jądro tlenu-18. Słynny astrofizyk Fred Hoyle badał to zagadnienie w 1952 r. i doszedł do wniosku, że obserwowane względne obfitości helu, węgla i tlenu we Wszech-

świecie byłyby zupełnie inne, gdyby jądro węgla-12 nie miało tzw. rezonansu, czyli ostrego stanu wzbudzonego, o akurat odpowiedniej energii. Ta energia jest równa sumie energii odpowiadającej łącznej masie jąder berylu-8 i helu oraz energii, z jaką zderzają się one w temperaturze wnętrza gwiazdy. Nie znano wówczas takiego stanu wzbudzonego jądra węgla-12,



Rys. 15. Szybkość wytwarzania energii (w ergach na gram i sekundę) jako funkcja temperatury (w milionach kelwinów) dla cyklu protonowo-protonowego (p-p) i węglowo-azotowego (CN).

lecz gdy zaczęto go szukać, bardzo szybko stwierdzono jego istnienie. Hoyle pisze w swej autobiografii, wydanej w 1994 r. (polskie wydanie: *Mój dom kędy wieją wiatry*, 2001), że gdyby ten rezonans nie istniał, świat zawierałby zupełnie inne ilości węgla i tlenu, w związku z czym warunki potrzebne do wytworzenia odpowiednich ilości tych i innych pierwiastków, niezbędnych do powstania życia, mogłyby nie zostać spełnione. Inaczej mówiąc, mogłoby nas tu nie być. To chyba dobra, zachęcająca do refleksji puenta tych kilku uwag o radościach, jakie przyniosła nam fizyka w XX w.!

Tłumaczył Mirosław Łukaszewski
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego
Warszawa

² Postępy opublikowały niedawno obszerny artykuł M.G. Edmunda „Pochodzenie pierwiastków życia” na ten temat (PF 54, 60 (2003)) – red.

Czy przekształcenie Lorentza jest obrotem, czyli jak z dziury zrobiono górę

Jan Czerniawski

Institut Filozofii, Uniwersytet Jagielloński

Is the Lorentz transformation a rotation or how a hole has been turned into a hill

Abstract: In spite of a formal analogy between the Lorentz transformation and a rotation, presenting it in didactic texts as a kind of rotation is misleading.

Jak wiadomo, przekształcenia Lorentza wykazują daleko idącą formalną analogię z obrotami. Zachowują one – podobnie jak obroty odległość przestrzenną – analogiczną wielkość, jaką jest interwał czasoprzestrzenny. Wraz z obrotami tworzą też wspólną grupę, podczas gdy nie tworzą jej np. same przekształcenia Lorentza odpowiadające ruchom w różnych kierunkach, jak jest w przypadku przekształceń Galileusza. Po odpowiednim przeskalowaniu czasu wzory przekształceń Lorentza można doprowadzić do postaci identycznej z wzorami przekształceń obrotu, z dokładnością do znaków współczynników, w których sinusy i kosinusy parametru przekształcenia zastępują sinusy i kosinusy hiperboliczne.

Wspomnianą analogię można posunąć jeszcze dalej, zastępując, śladem H. Minkowskiego, współrzędne czasowe rzeczywiste przez urojone. Wzory przekształceń stają się wtedy całkowicie identyczne z wzorami obrotów, zarówno co do znaków współczynników, jak i co do ich postaci, jako wziętych z odpowiednimi znakami sinusów i kosinusów parametru, którym w przypadku obrotów jest kąt obrotu. Niektórych autorów podręczników skłania to wręcz do stwierdzenia, że przekształcenia Lorentza są po prostu czasoprzestrzennymi obrotami w płaszczyznach, których jednym z wymiarów jest czas.

Taka teza jednak, rozumiana dosłownie, byłaby zdecydowanie przesadzona. Przede wszystkim płaszczyzna, w której ten „obrot” się dokonuje, nie jest płaszczyzną euklidesową, lecz pseudoeuklidesową. Konsekwencją tego faktu jest m.in. niemożliwość nałożenia, jak w przypadku zwykłego obrotu, jednej osi współrzędnych na drugą. Ponadto „kąt”, o który „obrot” miałoby być przekształcenie Lorentza, jest urojony, co oznacza, że mamy do czynienia z pseudoobrotem, którego nie należy mylić z obrotem, podobnie jak przestrzeni pseudoeuklidesowej nie należy mylić z euklidesową, a pseudometryki z metryką.

Różnicę nietrudno zauważyć na diagramie Minkowskiego, gdzie przekształcenie Lorentza, w odróż-

nieniu od obrotu, przeprowadza zawsze osie układu współrzędnych prostokątnych w osie układu współrzędnych skośnych. Oczywiście można próbować złożyć to na karb niedoskonałości takiego diagramu jako euklidesowego obrazu przestrzeni pseudoeuklidesowej, w której oba te układy są ortogonalne, tj. w określonym sensie prostokątne. Żadna argumentacja tego rodzaju nie zmieni jednak faktu, iż np. obie dodatnie półosie jednego z tych układów zawierają się w ćwiartce wyznaczonej przez dodatnie półosie drugiego.

Jako zbieżny z powyższym dodać można następujący argument. Czasoprzestrzeń szczególnej teorii względności i czasoprzestrzeń Galileusza, a także zwykła przestrzeń euklidesowa, mają taką samą strukturę afiniczną, a więc są „afinicznie porównywalne”. Nie można zatem np. przekształceń, które są afinicznie różne, rysować jako takich samych [1].

Już samo nazywanie przekształcenia Lorentza „obrotem”, aczkolwiek w zasadzie dopuszczalne jako pewna przenośnia w tekstach skierowanych do specjalistów, gdzie przecież np. pseudometrykę czasoprzestrzeni w skrócie nazywa się zwykle „metryką”, jest ryzykowne we wszelkich podręcznikach. Gorzej, gdy nie towarzyszy temu stosowne wyjaśnienie, mające studenta lub ucznia zabezpieczyć przed nieporozumieniem prowadzącym do ukształtowania błędnych intuicji. Jeszcze gorzej zaś, gdy tego rodzaju przenośnia wzmacniana jest tak sugestywnym środkiem, jak przedstawiający ją dosłownie rysunek. O ile bowiem nazywać rzeczy można w zasadzie dowolnie – w końcu po japońsku „jama” znaczy „góra” – to w przypadku przedstawięń graficznych zbyt daleko posunięta dowolność jest wielce ryzykowna, zwłaszcza w zastosowaniach dydaktycznych.

Trzeba wyraźnie stwierdzić, że przedstawianie przekształcenia Lorentza jako obrotu, niezależnie od szczegółów, jest zawsze błędem rzeczowym. Żadna matematyczna sztuczka, w rodzaju zastąpienia współrzędnej rzeczywistej przez urojoną, nie zmieni teorii mnogościowych relacji między obszarami czasoprze-

strzennymi, np. nie sprawi, że obszary pokryte przez dodatnie ćwiartki układów współrzędnych zaczną się przecinać, zamiast zawierać się jeden w drugim. Tym bardziej więc jest to błąd dydaktyczny, którego stopień szkodliwości zależy jednak od owych szczegółów.

Można więc, jak w znanym podręczniku zagranicznym [2], ilustrację taką opatrzyć komentarzem wyraźnie podkreślającym fakt, że przyjęte współrzędne czasowe i „kąta” przedstawianego „obrotu” są urojone, a zatem samego obrazka nie należy rozumieć dosłownie. Można, jak w popularnym podręczniku dla studentów uczelni technicznych [3], dodać taki komentarz, pomijając jednak to ostatnie zastrzeżenie. Można następnie, jak w innym podręczniku akademickim [4], „zapomnieć” też o urojonej wartości „kąta”, w charakterze ostrzeżenia dla czytelnika dołączając jedynie enigmatyczne stwierdzenie, iż osie układu współrzędnych zaznaczone są „symbolicznie”.

Kolejnym krokiem będzie pominięcie, znów w podręczniku dla uczelni technicznych [5], również tego ostrzeżenia. Czy można posunąć się jeszcze dalej? Okazuje się, że tak. Można mianowicie „zapomnieć” o urojonym charakterze przedstawianej współrzędnej czasowej, w dodatku w podręczniku dla uczniów szkół średnich [6]! Zarówno ze względu na treść przekazu, jak i rodzaj odbiorcy, negatywny efekt dydaktyczny, w postaci ukształtowania fałszywej intuicji, jest w tym przypadku gwarantowany. Niewiele pomoże oddalony o dwie strony komentarz, w którym słowo „obrot” wzięto w cudzysłów, nie wyjaśniając jednak sensu tego zabiegu, podczas gdy kontekst sugeruje, iż jego jedynym uzasadnieniem jest przejście od dwóch do czterech wymiarów. Tymczasem przekształcenie Lorentza w dwóch wymiarach nie jest obrotem bardziej niż w czterech, podczas gdy zwykły obrót przestrzenny jest nim w niemniejszym stopniu w czterech wymiarach niż w dwóch.

Jak już wspomniano, nazwanie przekształcenia Lorentza „obrotem”, w cudzysłówie czy bez, można potraktować jako pewną przenośnię. Przenośnia taka jednak, zwłaszcza wzmocniona odpowiadającym jej dosłownej treści rysunkiem i nieopatrzona stosownym ostrzeżeniem, może zrobić uczniowi – mówiąc potocznie – „wodę z mózgu”. Oczywiście to dobrze, że nie w sensie dosłownym, lecz przenośnym. Szkoda jednak, którą poniesie ów uczeń, a może i jego nauczyciel, będzie całkiem realna... Nie bardzo więc wiadomo, czemu taki pseudodydaktyczny zabieg ma służyć (por. [7,8]), chociaż kontekst treści zawartych w innych wymienionych podręcznikach w jakimś stopniu usprawiedliwia autorów. Z drugiej strony jednak tenże sam kontekst sprawić może, iż nie dla wszystkich czytelników przytoczonych recenzji, którzy przecież mają prawo ufać podręcznikom akademickim, błędność tego zabiegu będzie oczywista. Przedstawione wyżej skrupulatne wyjaśnienie tej kwestii wydaje się więc celowe.

Literatura

- [1] A. Staruszkiewicz, informacja prywatna.
- [2] C. Møller, *The Theory of Relativity* (Clarendon Press, Oxford 1952), s. 96.
- [3] B. Konorski, *Elementy teorii względności, relatywistycznej mechaniki i elektrodynamiki dla inżynierów* (WNT, Warszawa 1976), s. 293.
- [4] A.K. Wróblewski, J.A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, t. 1, wyd. 2 (PWN, Warszawa 1984), s. 528.
- [5] L. Jacak, *Krótki wykład z fizyki ogólnej* (Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994), s. 41.
- [6] K. Chyla, A. Warczak, B. Warczak, *Fizyka z astronomią. Od Arystotelesa do Einsteina* (DEBIT, Bielsko-Biała 2002), s. 100 i 108.
- [7] A. Majhofer, „Od Arystotelesa do Einsteina” (recenzja podręcznika [6]), *Fizyka w Szkole*, nr 1/2003; www.wsip.com.pl/serwisy/czasfiz/strony/rec1.htm.
- [8] A. Staruszkiewicz, recenzja podręcznika dla liceum *Fizyka z astronomią. Od Arystotelesa do Einsteina*, www.ptf.agh.edu.pl/SN/staruszkiewicz_6.pdf.



Dr JAN CZERNIAWSKI, urodzony w 1957 r., jest z pochodzenia rzeszowianinem. Ukończył fizykę teoretyczną i filozofię na Uniwersytecie Jagiellońskim. Pracę doktorską obronił z metodologii nauk, ale jego zainteresowania wykraczają znacznie poza tę dziedzinę, m.in. w stronę interpretacyjnych problemów teorii fizycznych, zwłaszcza teorii względności. Z problematyką tą wiąże się też jego zainteresowanie popularyzacją wiedzy fizycznej i dydaktycznymi problemami teorii względności, które znalazło wyraz w wydanej w 1993 r. popularnonaukowej książce *Zrozumieć teorię względności* oraz w publikacjach na łamach *Fizyki w Szkole* (nr 3/1995 i 3/1997) i *Postępów Fizyki* (nr 6/1995). Prywatnie jest miłośnikiem turystyki górskiej i szeroko rozumianej fantastyki.

80-lecie Profesora Andrzeja Olesia

Jest poniedziałek 5 maja 2003 r. O godz. 11.30 na trzecim piętrze budynku Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, jak zwykle w ten dzień tygodnia o tej porze, do sali 312 schodzą się ludzie – całkiem młodzi, trochę starsi, a i z posiwiałymi włosami też – łącznie blisko 30 osób. Zebranie Zakładu Fizyki Fazy Skondensowanej gromadzi ich wokół wielkiego stołu, ustawionego na nim rzutnika i ekspresu z kawą. Jest niby zwyczajnie, ale nie całkiem. Dzisiaj właśnie Profesor Andrzej Oleś, niekwestionowany, honorowy Szef, choć od 9 lat na emeryturze, ale wciąż aktywny, zgodził się opowiedzieć o historii Zakładu. Ponieważ dzieje te od pierwszych chwil splatają się z jego własnym życiem, może uda się zobaczyć przez nie i utrwalić w pamięci młodych postać niezwykłego człowieka.



Profesor Andrzej Oleś podczas uroczystości jubileuszowych na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej AGH.

Profesor nie chce wiele mówić o sobie; nas do tego spotkania zainspirowała 80. rocznica jego urodzin. Podkreśla jubileusz 30-lecia istnienia Zakładu oraz 10-lecia uprawiania w nim tematyki polimerów, i o tym chce opowiadać. Pragnie też słuchającym go młodym doktorantom opowiedzieć, jak w czasach jego młodości było trudno zdobywać wiedzę. Potem możemy pytać, jak to zwykle na seminariach bywa.

I jak to zwykle na seminariach bywa, Profesor staje przy rzutniku, rozkłada przygotowane przezroczka i przedstawia plan swojego wystąpienia. Mówi: – Najpierw chciałbym przedstawić daty, skład personalny, powiedzieć o tematyce prac rozwijanych w Zakładzie – to bardzo ważne! – potem chcę powiedzieć parę słów o aparaturze, o osiągnięciach i stopniach naukowych kolegów, a na koniec o 10. rocznicy tematyki

polimerów, ale na początek o tym, jak młodzież zawsze garnęła się do wiedzy. – Więc słuchamy. Razem z nami przyszedł posłuchać dziekan naszego Wydziału, prof. Kazimierz Jeleń.

Profesor Oleś opowiada o tym, jak wyglądała nauka w czasie wojny w Kielcach – pewnie jak w wielu miastach polskich w tym czasie: na tajnych kompletach, wieczorami, po ciężko przepracowanym dniu. Profesor pracował w fabryce marmurów i mówi, że miał szczęście, bo praca tam w porównaniu z pracą w kamieniołomach nie była taka ciężka. Komplety, tajne nauczanie – znamy to z lekcji historii. Martwa już historia ożywia się, kiedy na twarzy Profesora pojawia się uśmiech na wspomnienie nauczyciela, który w kaloszach przynosił – nie wiedząc zresztą o tym – miłosne listy z kompletu chłopięcego na komplet dziewczęcy. Matura w 1942 r. i potem niedzielne dojazdy do Krakowa na tajne studia na Uniwersytecie Jagiellońskim. I znów okruchy życia w historii: w Sędziszowie – ukryty za rogiem – unika niemieckiej łapanki. W podróży na krakowski Uniwersytet, z braćmi Gierowskimi (Andrzej, później historyk i rektor UJ, oraz Stefan, artysta malarz i profesor Akademii Sztuk Pięknych w Warszawie) z Jędrzejowa do Miechowa pieszo okrąża Tunel, bo groziło tam zgarnięcie przez Rosjan do odkopywania tunelu kolejowego, wysadzonego przez Niemców.

Profesor jeszcze w czasie wojny podjął studia filozofii przyrody, aby – jak mówi – zrozumieć świat i człowieka. Po wojnie zapisał się na UJ na filozofię i równocześnie na fizykę, bo zawsze go interesowała, choć w szkole – jak wspomina – nauczycieli fizyki miał kiepskich. Doszedł jednak do wniosku, że jego filozofia prywatna nie pasuje do urzędowej, i choć w 1948 r. uzyskał absolutorium z filozofii, skoncentrował się na fizyce. Opowiada o tym, jak przed zajęciami z matematyki przy ul. św. Jana studenci musieli najpierw wytaszczyć z piwnicy na III czy IV piętro wielkie ławy, dziewczyny zmywały podłogę, a dopiero potem mogli zajmować się matematyką – takie to były czasy...

Rok 1948 to początek pracy Andrzeja Olesia na Akademii Górniczo-Hutniczej. Podejmuje pracę jako asystent prof. Mariana Mięśowicza w II Katedrze Fizyki. Tak rozpoczyna się jego związek z AGH, który trwa do dziś, czyli nieprzerwanie przez 55 lat.

Profesor opowiada, jak początkowo zajmował się fizyką jądrową, a konkretnie badaniem promieniowania kosmicznego. W tej dziedzinie uzyskał w 1950 r. dyplom magistra fizyki, później obronił pracę doktorską („Stosunek składowej elektronowo-fotonowej do składowej przenikliwej promieniowania kosmicznego na poziomie morza i na wysokościach górskich”), której promotorem był prof. Mięśowicz, ale przewód doktorski

przeprowadzono na Uniwersytecie Łódzkim, gdzie profesorem był Aleksander Zawadzki. Wspomina, jak wykonywał pomiary na dachu budynku AGH, a także na Łomnicy i w górach Kaukazu, kierując polsko-armeńską grupą badawczą na szczycie Aragacu (3200 m n.p.m.).

W 1963 r. dr Andrzej Oleś zainspirowany przez prof. Leopolda Jurkiewicza, ówczesnego dyrektora Instytutu Techniki Jądrowej AGH przy Katedrze Fizyki II, zmienia tematykę swojej pracy naukowej, poświęcając się zagadnieniom fizyki ciała stałego i nowej w tych czasach metodzie doświadczalnej – dyfrakcji neutronów. Wspominając ten czas, wchodzenie w nową dziedzinę przez uczestnictwo w seminariach prof. Jerzego Janika na UJ czy wyjazdy do Warszawy na seminaria prof. Bronisława Burasa w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku, Profesor mówi, że nie jest to jego całkiem prywatna karta, bo właśnie w tymże roku zostaje przyjęty do Instytutu Staszek Nizioł, pierwszy jego uczeń i współpracownik, z którym razem budowali dyfraktometr neutronów przy reaktorze EWA w Świerku. O dyfraktometrze Profesor mówi, że to było wielkie dzieło Staszka. I tak już będzie do końca wspomnień – Profesor usuwa się z pierwszego planu, mówi o swoich uczniach i wychowankach, o ich osiągnięciach i sukcesach, a jego postać można zobaczyć w tym opowiadaniu przez dzieła zespołu, który stworzył.

W 1969 r. powstaje w ITJ kierowany przez profesora Olesia Zakład Fizyki i dołączają kolejni, młodzi wówczas ludzie. W 1973 r., kiedy powołany zostaje Międzyresortowy Instytut Fizyki i Techniki Jądrowej, zakład prof. Olesia otrzymuje obecną nazwę – Zakład Fizyki Fazy Skondensowanej. Liczy wówczas (wraz z Profesorem) 17 osób zajmujących się w ramach badań własności fazy skondensowanej bardzo różnorodną tematyką. Zainspirowani przez Profesora młodzi współpracownicy rozwijają swoje własne zainteresowania. Prowadzi się w Zakładzie badania strukturalnych i magnetycznych przejść fazowych, a w ich ramach prace doświadczalne na zbudowanym dyfraktometrze neutronów w Świerku, bierze udział w eksperymentach w laboratoriach zagranicznych (Dubna, Saclay), wykonuje pomiary na dyfraktometrach rentgenowskich zainstalowanych w pomieszczeniach Zakładu, rozpoczyna i prowadzi badania magnetometryczne, także w silnych polach magnetycznych. Są tu prowadzone prace nad zastosowaniami – badania uporządkowania stopów we współpracy z Instytutem Metalurgii, badania struktury meteorytu (wypożyczonego z Muzeum Watykańskiego) czy neutronograficzne badanie struktury grafitu produkowanego w Zakładach Elektrod Węglowych w Biegonicach k. Nowego Sącza. Mówiąc o tej współpracy, Profesor wspomina wypromowanego przez siebie doktora, Krzysztofa Pawłowskiego, pracownika zakładu w Biegonicach. Nikt wtedy nie przypuszczał, że będzie on kiedyś założycielem niepaństwowej uczelni, bodaj najbardziej znanej, jednej z najlep-

szych w Polsce – Wyższej Szkoły Biznesu w Nowym Sączu. Spośród zastosowań fizyki w technice najpierw zostaje opracowana w Zakładzie neutronograficzna metoda wyznaczania tekstur, a następnie wykonywane są ich pomiary, później wsparte teorią badania mechanizmów deformacji i jej wpływu na teksturę, prowadzone we współpracy z różnymi laboratoriami w świecie. Pojawia się temat struktur aperiodycznych i kwazikryształów, a także niezwykle interesujący i ważny z punktu widzenia możliwych zastosowań temat polimerów.

Równoległe z badaniami doświadczalnymi w Zakładzie prowadzona jest od 1973 r. ogromna praca opracowania danych literaturowych dotyczących struktur magnetycznych przebadanych metodą dyfrakcji neutronów, którą prof. Oleś podjął i w którą wciągnął wielu swoich pracowników. Zapytany, co go skłoniło do takiej pracy, mówi, że najlepszy sposób wejścia w nową tematykę to przestudiowanie i usystematyzowanie wiadomości znanych już w literaturze. Opublikowanie takiej syntezy wydawało się pożyteczne dla innych, w 1976 r. pojawia się więc wydana przez PWN monografia *Magnetic structures determined by neutron diffraction*. Była ona i jest naprawdę pożyteczna; do dzisiaj można ją znaleźć na podręcznych półkach w wielu laboratoriach na świecie zajmujących się strukturami magnetycznymi. Praca nad „książką” – tak o niej mówiło się w Zakładzie – inspirowała teoretyczną analizę symetrii struktur krystalicznych, a później obliczenia elektronowej struktury pasmowej i jej wpływu na własności kryształów.

Profesor wspomina, jak rozwijała się baza aparaturowa Zakładu. Pierwszy, i pewnie najważniejszy w tej historii, pojawia się dyfraktometr neutronów – oglądamy (niektórzy z sentymentem, bo spędzili przy tym dyfraktometrze wiele godzin) rysunki poszczególnych elementów, pierwsze otrzymane na tym przyrządzie widma dyfrakcyjne. Potem zbudowana w Zakładzie przystawka teksturowa, uruchomiona waga magnetyczna Cahna, dyfraktometry rentgenowskie, spektrometr EPR, aparatura wykorzystująca silne impulsowe pola magnetyczne i wreszcie – laboratorium polimerowe.

Profesor przechodzi do następnego punktu prezentacji – opowiada o wypromowanych w Zakładzie doktorach oraz habilitacjach i tytułach profesorskich swoich pracowników. Na folii pojawia się lista 19 obrotionych prac doktorskich, których był promotorem. Wspominając swoich pierwszych doktorów, żałuje, że nie udało mu się jako pierwszego doprowadzić do doktoratu Staszka Nizioła – swojego pierwszego ucznia i współpracownika. Wyprzedził go Jurek Szpunar. Na ich przykładzie Profesor mówi o dwóch typach naukowców: jedni – jak Staszek – perfekjoniści, muszą doprowadzić do końca wszystko, pracując wiele dla innych, dla Zakładu, dla Uczelni, i w karierze są wolniejsi; inni prą do przodu, i choć czuje się, że sympatia Profesora jest bardziej przy tych pierwszych, to o tych drugich mówi: – Nie piętnuję, są tacy i tacy. – Opowiada o roz-

mowach z jednym ze swoich kolegów profesorów, zdroszczającym mu tyłu uczniów, których zostawia po sobie. Profesor protestuje, kiedy mówi się, że to jego uczniowie. Mówi, że oni sami zdobywali stopnie i tytuły, trzeba było tylko im pozwolić, nie przeszkadzać. I zaraz dodaje: – Kiedy będziecie kiedyś kierować zakładami, nie bójcie się przyjmować młodych ludzi lep-

szych od Was i pozwólcie im się rozwijać. – Tego, że trzeba jeszcze takiej dobrej atmosfery i stosunków międzyludzkich, jaką udało się stworzyć w Zakładzie profesorowi Olesiowi, żeby każdy mógł się rozwijać w tym kierunku, który go interesuje, Profesor nie mówi już sam, to dopowiada Krzysztof Wierzbowski, wyrażając odczucia chyba wszystkich uczestników spotkania.



Uczestnicy zebrania jubileuszowego. Od lewej, wokół stołu: mgr Konrad Piwowarczyk, prof. Andrzej Oleś, mgr Klaudiusz Słowikowski, mgr Grzegorz Urban, prof. AGH Andrzej Zięba, dr Andrzej Barnasik, mgr Janusz Malinowski, Władysław Błaszczuk, dr Jan Kulka, prof. Wojciech Łuźny, mgr Jadwiga Włodarczyk-Miśkiewicz, dr Jacek Tarasiuk, prof. AGH Wiesława Sikora, prof. Krzysztof Wierzbowski.

Na koniec prof. Oleś mówi o recenzowanych przez siebie pracach. To imponująca lista 51 prac doktorskich, 27 rozpraw habilitacyjnych, 25 wniosków o stanowisko lub tytuł profesora, z Krakowa, Warszawy, Katowic, Wrocławia, Łodzi. Ale Profesor opowiada o osiągnięciach Zakładu, nie swoich prywatnych, więc dodaje, że ten spis trzeba uzupełnić o recenzje pisane przez wszystkich, którzy „wyrósłi” w Zakładzie. Uzupełnia też listę stopni uzyskanych w Zakładzie o doktorów wypromowanych przez jego uczniów, czyli – jak mówi – „naukowych wnuczków”. Jeszcze jedno wspomnienie: 10 rocznicy pierwszych opublikowanych prac na temat polimerów i nieodżałowanego Staszka Nizioła, który był inicjatorem tej tematyki w Zakładzie oraz organizatorem laboratorium polimerów. Na finał stwierdzenie: – Widać, jak ten Zakład pięknie się rozwijał. – To koniec prezentacji profesora Olesia, ale nie koniec spotkania.

Teraz – jak na każdym seminarium – można pytać. Pytań jest wiele, atmosfera spotkania robi się swobodna, czasem żartobliwa, ale są też pytania poważne, np.: – Co było przyczyną zmiany zaintereso-

wań Profesora – od promieniowania kosmicznego do fizyki ciała stałego? – Profesor opowiada, że taką propozycję złożył mu prof. Jurkiewicz – pewnie pod wpływem prof. Burasa, z którym się przyjaźnił – kiedy zmieniał się Instytut i myślano o poszerzeniu tematyki. Wtedy zastosowanie dyfrakcji neutronów do badania ciała stałego było zupełnie nową tematyką. Ale nie był to nakaz, ani żadna presja; profesor Jurkiewicz – wspomina nasz Szef – był człowiekiem łagodnym i dobrym, nie zmuszał, sugerował możliwość, ale decyzja o zmianie tematyki była twarda i wymagała wielkiej pracy. Dziekan Jeleń, uprawiający fizykę cząstek elementarnych, pyta, czy nie było Profesorowi żal, że zostawił dziedzinę fizyki, gdzie przyszły potem takie wspaniałe odkrycia. Profesor mówi, że to go zawsze interesowało, ale nie żałował – mógł wykształcić tyłu młodych ludzi w nowych kierunkach, nauczyć ich projektować i wykonywać pomiary fizyczne. – Wy nie macie takich możliwości samodzielnej pracy, jesteście ograniczeni wielkimi zespołami, wielkimi i ogromnie kosztownymi przyrządami. Wam trudno się przebić z własną koncepcją eksperymentu – mówi. Ale zgadza

się z prof. Jeleniem, że kształcić młodych „w cząstkach” oczywiście też można.

Pytamy Profesora o jego kontakty z ośrodkami naukowymi poza granicami Polski. Przecież dzięki Profesorowi wielu z nas nawiązało współpracę z naukowcami w różnych krajach. Profesor wspomina inne czasy, kiedy otrzymać stypendium za granicą nie było łatwo. Opowiada, jak starał się o stypendium w Saclay i musiał zdawać egzamin przed ważnymi osobistościami w Warszawie. I zabawny akcent w tej historii – żeby nie przekreślić swoich szans posiwiiałymi przedwcześnie włosami, Profesor postanawia je przed wyjazdem ufarbować, ale farby były, jakie były, i włosy z siwych zrobiły się pięknie fioletowe. Śmiejemy się, że Profesor wyprzedził swoją epokę. Dzisiaj fioletowe włosy nikogo nie dziwią, ale w tamtych czasach... W każdym razie nie odrzucono jego kandydatury, do Saclay pojechał. Wspomina swoją tam pracę pod kierunkiem wspaniałego eksperymentatora, prof. Pierre’a Mériela, który najpierw protestował przeciw przyjmowaniu stypendysty, ale potem bardzo się z nim zaprzyjaźnił i ta przyjaźń trwała wiele lat, do śmierci prof. Mériela. Jeszcze jedno wspomnienie egzotycznego wyjazdu. W 1975 r. prof. Oleś wyjechał na rok do Brazylii jako ekspert ONZ w dziedzinie neutronografii. Praca była ciężka, bo tamtejsi ludzie – jak mówi Profesor – usiłowali nie pracować, trzeba było ich szukać, dyfraktometr neutronów był ciężki, mało sprawny, a reaktor nie pracował z taką mocą, jak powinien. – Ja sobie pozwoliłem zawrzeć w sprawozdaniu do Agencji Atomistyki pewne uwagi krytyczne – mówi Profesor. – Oni najpierw trochę się obrazili, ale potem się wszystko ułożyło...

Na pytanie o najważniejsze osiągnięcie w ciągu tych długich 30 lat pracy w dziedzinie fizyki ciała stałego, Profesor odpowiada najpierw pytaniem: – A jak określić to najważniejsze? Chyba to, co przyniosło największą satysfakcję – mówi. Więc takim było stwierdzenie, że za magnetyzm uranu odpowiedzialne są nie elektrony 6d – jak wszyscy dotąd uważali – ale elektrony 5f. Udało się to wykazać na podstawie pomiarów magnetycznego czynnika rozpraszania. Później stwierdzono to także innymi metodami.

Pada pytanie sięgające początków istnienia ZFFS i wzajemnych stosunków z powstałym wcześniej Zakładem Fizyki Ciała Stałego w Instytucie Metalurgii. Konkurencja czy partnerstwo? Profesor Oleś chwilę się zastanawia, a potem mówi, że jednak na początku był problem konkurencji, np. kto ma prowadzić wykłady z fizyki ciała stałego na uczelni, choć wspomina przyjazne kontakty z prof. Kropem. Potem – mówi – to się jakoś szczęśliwie ułożyło. Wspominając początki tej dwutorowej drogi rozwoju fizyki ciała stałego na

AGH, docieramy do dwóch wielkich indywidualności – prof. Mieczysława Jeżewskiego, kierującego Zakładem Fizyki Technicznej, a potem Katedrą Fizyki I, i prof. Mariana Mięśowicza, kierującego Zakładem Fizyki Ogólnej, a potem Katedrą Fizyki II.

Ktoś pyta jeszcze Profesora o czasy najdawniejsze, o komplety nauczania w czasie wojny. Czy Profesor pamięta jakieś nazwiska? Oczywiście, że pamięta – na przykład zajęcia z filozofii prof. Zawierskiego. – Platon, to było dla niego coś wspaniałego, on nam tego Platona wbił w głowę – wspomina Profesor. Ale potem, to była taka przykra historia. Żeby utrzymać stanowisko profesora na UJ, musiał wstąpić do Partii. Na jego pogrzebie były wprawdzie sztandary, ale chyba mu się bardzo gorzko umierało – chwila zadumy nad czasami, które kiedyś takie właśnie były. Dalej Profesor opowiada o prof. Stefanie Szumanie – miał naprawdę wspaniałe wykłady z psychologii – potem prof. Roman Ingarden, ale to już na Uniwersytecie. – A jeśli chodzi o fizyków, to miałem okazję słuchać w Kielcach prof. Jerzego Pniewskiego – mówi. – Przyjechał do Kielc po powstaniu, ale wykładał nam nie fizykę, tylko matematykę wyższą.

– A już w czasie normalnych studiów na Uniwersytecie, po wojnie, kto był według Pana Profesora taką znaczącą postacią? – pada jeszcze jedno pytanie. Profesor zastanawia się chwilę i wymienia: – Konstanty Zakrzewski... Jan Błaton... tak, Błaton z fizyki teoretycznej, wspaniały człowiek, był klasą dla siebie. Wspaniale wykładał; tak jasno, klarownie, wszystko tak przemyślane. Ja takich wykładów już więcej w życiu nie słyszałem – wspomina Profesor. Niestety, zginął na Świnicy.

Mówią, że historia kołem się toczy. Nasza wędrówka przez historię Zakładu szlakiem wspomnień prof. Olesia też zatoczyła koło. Zaczęliśmy od czasów dawnych, sprzed połowy minionego wieku, kiedy wielu z naszych młodszych kolegów nie było jeszcze na świecie, i znów do nich wróciliśmy. Trzeba kończyć nasze spotkanie; na jednych czekają studenci, na innych zaczęta praca w laboratorium, na jeszcze innych nieodpisane e-maile. Dziękujemy Profesorowi za spędzony z nami czas i przybliżenie nam ludzi oraz zdarzeń, które minęły, trochę znikają z pamięci, a które tworzyły miejsce, gdzie jesteśmy – Zakład Fizyki Fazy Skondensowanej, na tętniącym życiem Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej, w roku 2003.

Wiesława Sikora

Zakład Fizyki Fazy Skondensowanej
Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH
Kraków

■ Marek Żukowski

Urodzony w 1952 r. w Gdyni. Studiował fizykę (magisterium 1976) oraz matematykę na Uniwersytecie Gdańskim. Doktorat uzyskał na UG (1983, promotor prof. Jan Fiutak), a habilitował się na UMK (1995). Od 1976 r. pracuje na UG, obecnie w Instytucie Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki, gdzie od 1996 r. jest kierownikiem Zakładu Optyki i Informatyki Kwantowej. Tytuł naukowy otrzymał 11 kwietnia 2003 r.



Początkowo zajmował się elektrodynamiką kwantową atomów (1976–89); od 1987 r. prowadzi badania w dziedzinie informacji kwantowej (interferometria kwantowa i podstawy teorii kwantów). Od 1990 r. stale współpracuje z Antonem Zeilingerem. Podstawowy wspólny wynik to teoria interferencji wyższego rzędu fotonów pochodzących z niezależnych źródeł; została ona zastosowana do zaobserwowania kwantowej teleportacji kubitów (1997), wymiany splątania (1998) oraz ultranieklasycznych korelacji trójfotonowych (1999). Ponadto samodzielnie lub w zespole prowadzi prace z dziedziny interferometrii kwantowej (m.in. teoretyczne i doświadczalne badanie interferencji czterocząstkowej), kwantowej kryptografii i złożoności kwantowej komunikacji, a także prace dotyczące twierdzenia Bella.

Autor lub współautor ponad 80 publikacji (najczęściej cytowana praca: *Phys. Rev. Lett.* **71**, 4297 (1993) – ponad 170 cytowań). Wielokrotnie był profesorem-gościeniem na Uniwersytetach w Innsbrucku i Wiedniu.

Członek Rady Naukowej KL FAMO, członek (associate editor) zespołu redakcyjnego czasopisma *International Journal of Quantum Information*. W 2003 r. uzyskał subsydlum profesorskie Fundacji na rzecz Nauki Polskiej.

Pasje poza fizyką: biegi maratońskie (ok. 40), windsurfing, słuchanie jazzu nowoczesnego i muzyki klasycznej, obserwacja wydarzeń w gospodarce światowej i nauce (także polityka i historia). Ma żonę Małgorzatę i córkę Monikę.

Strona domowa: iftia9.univ.gda.pl/~marek.

■ Jan Wąsicki

Urodził się w 1952 r. w Poznaniu. Studia fizyki na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu ukończył w 1974 r. (dyplom z wyróżnieniem). W tym samym roku podjął pracę w Zakładzie Radiospektroskopii Instytutu Fizyki UAM. Pracę doktorską (promotor prof. Zdzisław Pająk) dotyczącą badania reorientacji molekuł *p*-trójfenylu metodą magnetycznego rezonansu jądrowego obronił w 1981 r. Tytuł naukowy otrzymał 2 czerwca 2003 r.



W latach 1982–86 przebywał na stażu naukowym w Laboratorium Fizyki Neutronów Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej. Zajmował się badaniem dynamiki sieci, dynamiki molekuł, przemian fazowych oraz struktury układów molekularnych i jonowych za pomocą neutronów. Stopień doktora habilitowanego uzyskał w 1991 r. na Wydziale Matematyki i Fizyki UAM. Po habilitacji zajmuje się nadal badaniem dynamiki i przemian fazowych w układach molekularnych i jonowo-molekularnych, poszerzwszy zakres stosowanych metod badawczych o spektroskopię dielektryczną i optyczną (we współpracy z Uniwersytetem Rennes 1). Zastosowanie kilku metod badania reorientacji molekularnych i przemian fazowych zaowocowało odkryciem w IF UAM nowej rodziny ferroelektryków – soli pirydyniowych. W 1994 r. został mianowany na stanowisko profesora nadzwyczajnego UAM. Od tegoż roku kieruje Zakładem Radiospektroskopii IF UAM. W tym czasie zainicjował badania magnetycznej relaksacji jądrowej pod wysokim ciśnieniem hydrostatycznym. Planuje rozwijać tę technikę badawczą. Jego dorobek naukowy obejmuje ponad 60 publikacji w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Wypromował dwóch doktorów. W latach 1995–2003 kierował trzema krajowymi (KBN) i trzema międzynarodowymi grantami badawczymi. W 2002 r. został wybrany na prodziekana Wydziału Fizyki UAM.

Jest żonaty i ma dwie córki. Pasjonuje się historią.

■ Rajmund Bacewicz

Urodził się w 1951 r. w Wilnie. Studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego ukończył w 1974 r. ze specjalnością fizyka ciała stałego. Od tego czasu pracuje na Wydziale Fizyki (wcześniej Instytut Fizyki) Politechniki Warszawskiej, od 1998 roku na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Pracę doktorską obronił w roku 1980 (promotor prof. Rajmund Trykozko), stopień doktora habilitowanego uzyskał w 1990 r., a tytuł naukowy otrzymał 28 marca 2003 r.



Zajmuje się badaniami materiałowymi przy użyciu metod spektroskopii optycznej. Początkowo badał strukturę elektronową i widma fononowe trójskładnikowych związków półprzewodnikowych, a od lat 80. zajmuje się półprzewodnikami stosowanymi w fotowoltaicznej konwersji energii słonecznej (CuInSe_2 i materiały pochodne). W latach 1986–88 przebywał na stażu w Instytucie Badawczym Energii Słonecznej (SERI) w Golden (USA), gdzie zajmował się technologią i badaniem nowych materiałów półprzewodnikowych o potencjalnych zastosowaniach w ogniwach słonecznych. Obecnie w badaniach materiałów fotowoltaicznych metodami optycznymi koncentruje się na zagadnieniach płytkich defektów.

Od 1998 r. stosuje metody rentgenowskiej spektroskopii absorpcyjnej z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego (XANES, EXAFS) w badaniach m.in. lokalnego otoczenia domieszek metali przejściowych (Mn, Fe) w półprzewodnikach (np. GaN) oraz własności strukturalnych materiałów jonowych. Jest autorem lub współautorem ponad 70 prac naukowych.

Drugą kadencję pełni funkcję prodziekana ds. nauczania na Wydziale Fizyki PW. Jest współautorem programów nauczania na tym Wydziale. Prowadzi wykłady z zakresu fizyki ciała stałego i optycznych własności materiałów. Jest autorem skryptu *Optyka ciała stałego – wybrane zagadnienia*. W latach 1997 i 2003 organizował Szkoły Optoelektroniki (XII i XVII) poświęcone fotowoltaice. Wypromował trzech doktorów.

■ Janusz Wolny

Urodził się w 1954 r. w Wodzisławiu Śląskim. W roku 1977 ukończył studia fizyczne na Uniwersytecie Jagiellońskim (specjalność fizyka ciała stałego). Doktorat uzyskał w 1985 r. (w Instytucie Fizyki UJ), a habilitację w 1991 r. (na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej). Tytuł naukowy otrzymał 8 lipca 2003 r.

Przed doktoratem zajmował się stopami amorficznymi, a w szczególności ich stabilnością termiczną. Opracował oryginalną metodę wyznaczania energii aktywacji z izotermicznych pomiarów zmienności czasowej wybranych wielkości fizycznych. W tym czasie prowadził również badania strukturalne układów amorficznych, włókien węglowych i ciekłych metali (gal). Dużym jego osiągnięciem było opracowanie diagramu fazowego dla ciekłego galu z uwzględnieniem efektu pamięci struktury krystalicznej po przejściu do fazy ciekłej.



Po doktoracie głównym obiektem jego zainteresowania stały się kwazikryształy oraz ziemie rzadkie, zwłaszcza neodym i prazeodym oraz ich stopy. We współpracy z B. Lebech (Risø National Laboratory, Dania) prowadził wieloletnie badania dyfrakcji neutronów na monokryształach ziem rzadkich, które doprowadziły do opracowania modelu magnetycznej struktury modulowanej lekkich ziem rzadkich.

Za swój największy sukces uważa opracowaną w ostatnich latach metodę obliczania widm dyfrakcyjnych na podstawie rozkładów prawdopodobieństwa położenia atomów względem tzw. sieci referencyjnej. Metoda sieci referencyjnej pozwala na zdefiniowanie średniej komórki elementarnej. Poza kwazikryształami, nietrywialnym przykładem jej zastosowania jest analiza osobliwych widm dyfrakcyjnych skalujących się fraktalnie z liczbą atomów.

Wyniki badań opublikował w 64 pracach naukowych oraz prezentował na ponad 100 konferencjach naukowych. Za działalność naukową otrzymał 2 nagrody Ministra Edukacji Narodowej.

Kazimierz Antonowicz (1914–2003)

Kazimierz Antonowicz urodził się w 1914 r. Rozpoczął studia fizyki na Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie, które ukończył w roku 1950 na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Doktoryzował się w 1954 r., a profesorem został w roku 1963. Swoją działalność zawodową rozpoczął jako kierownik techniczny rozgłośni radiowej w Bydgoszczy, gdzie pokochał elektronikę, z którą była ściśle związana jego późniejsza praca w dziedzinie radiospektroskopii na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Zmarł 5 maja 2003 r.



Kazimierz Antonowicz

Był jednym z pionierów radiospektroskopii rezonansów magnetycznych w Polsce, o czym świadczy choćby jego pierwszy obszerny artykuł w *Postęпах Fizyki* [1] poświęcony pracom E.M. Purcella i F. Blocha – odkrywców magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR). W tym czasie prace nad NMR obok Antonowicza [2] prowadził w Krakowie Andrzej Hrynkiewicz [3], który z zespołem badał relaksację podłużną T_1 w płynącej wodzie. Ponieważ rezonansem magnetycznym zainteresował nas Arkadiusz Piekara już na seminarium studenckim, z Jerzym Angerem zbudowaliśmy w Poznaniu autodynę – najprostszy detektor sygnału NMR – i zobaczyliśmy to przepiękne zjawisko. W związku z pojawieniem się możliwości budowy masera przy wykorzystaniu emisji wymuszonej w układzie spinów jądrowych w płynącej cieczy zajęliśmy się wynikami prac [2,3], gdyż była w nich rozbieżność polegająca na tym, że u Antonowicza ze wzrostem prędkości wody amplituda sygnału NMR malała, a u Hrynkiew-

cza rosła, aż do osiągnięcia nasycenia. Ta rozbieżność wynikała stąd, że w pierwszym przypadku wpływająca do cewki pomiarowej woda miała coraz mniejszą polaryzację, natomiast w drugim przypadku woda była wstępnie spolaryzowana i wzrost sygnału był związany ze zmniejszeniem się nasycenia wywołanego przez pole o wielkiej częstotliwości. Pokazaliśmy to w pracy z Angerem [4], w której badaliśmy amplitudę sygnału NMR w płynącej wodzie ze wstępnym podmagnesowaniem wody w dodatkowym magnesie. Prace te były związane z maserem Benoit, który uzyskał odwrócenie obsadzenia poziomów spinowych w procesie adiabatycznego odwrócenia obsadzenia w układzie spinów podczas powolnego przechodzenia przez linię NMR. Jest to dokładnie opisane w naszej książce z Andrzejem Grają [5] i tam odsyłam wszystkich zainteresowanych. Mimo że maser z płynącą cieczą nie mógł konkurować z maserem amoniakalnym, nasz mistrz Arkadiusz Piekara na przykładzie NMR opisanego w pracy Antonowicza ukazał nam piękno równań Blocha, co do dziś pamiętamy.

W dziedzinie NMR Kazimierz Antonowicz odniósł jeszcze jeden wielki sukces. W zbudowanym przez siebie elektromagnesie, w którym jarzmo było stojanem starej prądnicy, otrzymał bez obrotu próbki dużą zdolność rozdzielczą widma NMR dla alkoholu, co wówczas było naszym marzeniem.

Najczęstsze nasze kontakty dotyczyły jednak elektronowego rezonansu paramagnetycznego w węglu [6] i ta tematyka stała się dzięki Antonowiczowi specjalnością Torunia. Profesor Franciszek Rozpłoch jest kontynuatorem badań w tej nadal rozwijającej się dziedzinie fizyki ciała stałego. Antonowicz po powrocie z Buffalo w USA rozpoczął w Toruniu systematyczne badania węgla amorficznego. W latach 70. badano intensywnie elektronowe procesy lawinowe w substancjach bezpostaciowych. Profesor Kazimierz Antonowicz wykonał wiele ciekawych obserwacji dotyczących zjawiska mikroprzebiecia w nanokanałach występujących w próbkach węgla amorficznego [7]. Najbardziej do dzisiaj tajemnicza obserwacja dotyczy rejestracji okresowej zależności od pola magnetycznego prądu przewodzonego w takim nanokanale. Wyjaśnił on ją jako przejaw nadprzewodnictwa występującego w temperaturze pokojowej. Uzyskana zależność miała charakter zależności prądu krytycznego dla złącza Josephsona. Mimo że wynik ten pojawiał się tylko dla niektórych próbek i nie był długotrwały, obserwacja Antonowicza została opublikowana w *Nature* [8] i do dzisiaj nas intryguje.

Profesor Kazimierz Antonowicz był cudownym człowiekiem. Zakochany w eksperymentowaniu, miał wyobraźnię tak wrażliwą, że spotkanie go było dla nas, początkujących eksperymentatorów, wielkim

przeżyciem. Ciepło wspominają go nasi doktoranci, dzisiaj już profesorowie, Andrzej Więckowski i Bolesław Sczaniecki, których prace doktorskie recenzował. Również Andrzej Duber broniący doktoratu w czasie stanu wojennego miał Antonowicza jako recenzenta.



Kazimierz Antonowicz w karykaturze prof. Leona Jeśmanowicza

Nigdy nie zapomnę obrony pracy doktorskiej Andrzeja Jeśmanowicza, wykonanej pod kierunkiem Antonowicza, w której autor badał złożone zjawiska nieliniowe w układzie spinów elektronów. Tematyka ta wyprzedzała o wiele lat prace nad chaosem, które dzisiaj stanowią istotny nurt badań dynamiki molekularnej. Dodatkową atrakcją tej obrony była podróż samolotem

sportowym z Poznania do Torunia, bo doktorant był zapalonym pilotem i skoczkiem spadochronowym. Gdy po latach spotkałem go w Milwaukee (USA), oprócz tomografii NMR pasjonował się zbiorowymi skokami spadochronowymi.

Ostatni raz widziałem profesora Kazimierza Antonowicza przy okazji mojego pobytu w Toruniu, bo z Wojciechem Kempnińskim pasjonujemy się nadprzewodnictwem w substancjach węglowych. Stale mamy nadzieję, że uda się nam powtórzenie obserwacji Antonowicza – nadprzewodnictwa w temperaturze pokojowej.

Śmierć profesora Kazimierza Antonowicza kończy epokę samotnych badaczy, którzy cuda Natury ukazywali nam za pomocą urządzeń przez siebie stworzonych.

- [1] K. Antonowicz, „Magnetyczny rezonans jądrowy i jego zastosowania”, *Postępy Fizyki* **9**, 303 (1958).
- [2] K. Antonowicz, „Nuclear Resonance Signals in Flowing Liquid”, *Bull. Acad. Polon. Sci.* **5**, 813 (1957).
- [3] A. Hryniewicz, T. Waluga, „On Nuclear Magnetic Resonance in Flowing Liquid”, *Acta Phys. Polon.* **16**, 381 (1957).
- [4] J. Angerer, J. Stankowski, „NMR in Flowing Liquid”, *Bull. Soc. Amis. Sci. Poznań* **17**, 21 (1962/63).
- [5] J. Stankowski, A. Graja, *Wstęp do elektroniki kwantowej* (WKiŁ, 1972).
- [6] K. Antonowicz, „ESR in Nearly Amorphous Carbon”, *Carbon* **5**, 261 (1967).
- [7] K. Antonowicz, „Switching Phenomena in Glassy Carbon”, *Carbon* **11**, 1 (1973).
- [8] K. Antonowicz, „Possible Superconductivity at Room Temperature”, *Nature* **247**, 358 (1974).

Jan Stankowski
Instytut Fizyki Molekularnej PAN
Poznań

Lucjan Zemło (1939–2003)

5 maja 2003 r. w wieku 64 lat zmarł dr Lucjan Zemło. Przez ostatnie 5 lat swego życia toczył heroiczną walkę z podstępą, śmiertelną chorobą. Lekarze dawali mu półtora roku życia, on przeżył ponad pięć lat. Ostatnie miesiące to już była walka z chorobą i bezsilnością. W walce tej wspierały go dzielnie żona Anna i rodzina. Lucjan nigdy nie był okazem zdrowia. W czasie II wojny światowej – jako małe dziecko – uległ nieszczęśliwemu wypadkowi. I tylko dzięki poświęceniu dzielnej matki, która z odległego zaścianka pod Siedlcami dotarła do Warszawy do szpitala, przeżył i nie został kaleką.

Lucjan Zemło urodził się 28 stycznia 1939 r. w Zemłach, gdzie jego rodzice posiadali gospodarstwo rolne. Szkołę podstawową ukończył w Mokobodach, odległych o 4–5 km od domu. Drogę do szkoły przebywał

codziennie pieszo. Zaowocowało to w przyszłości zamilowaniem do pokonywania pieszo, bez względu na pogodę, znacznych odległości. Szkołę średnią ukończył w Siedlcach w roku 1956. Jako laureat V Olimpiady Fizycznej (4. miejsce) wstęp na studia miał wolny. Studia wyższe odbył na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w latach 1956–61, ze specjalizacją w dziedzinie fizyki jądrowej.

Przez większą część swej pracy zawodowej związany był z Uniwersytetem Warszawskim i Instytutem Badań Jądrowych. Po ukończeniu studiów przez półtora roku pracował jako nauczyciel w IX Liceum Ogólnokształcącym dla Pracujących w Warszawie, a od 1962 r. w Katedrze Fizyki Jądra Atomowego UW. W latach 1967–84 pracował w Zakładzie Reakcji Jądrowych IBJ, a następnie w Instytucie Problemów Ją-

drowych kolejno na stanowiskach asystenta, starszego asystenta i adiunkta. Od 1985 r. podjął pracę na etacie adiunkta w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów UW z zadaniem – zakończonym sukcesem – doprowadzenia do uruchomienia cyklotronu ciężkich jonów U-200P.

Lucjan Zemło odbył trzy dłuższe staże naukowe w ośrodkach zagranicznych: w roku 1969 przebywał 6 miesięcy w ZIBJ w Dubnej, w latach 1976–77 w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Erlangen-Nürnberg, w latach 1981–83 w Instytucie Fizyki Jądrowej w Jülich.



Lucjan Zemło (wrzesień 1987 r.)

Dorobek naukowy Lucjana Zemły obejmuje ponad 40 pozycji opublikowanych w większości w recenzowanych czasopismach o obiegu międzynarodowym (*Nuclear Physics*, *Nuclear Instruments and Methods*, *Physical Review*, *Journal of Physics B*). Duża część tych publikacji jest związana z badaniem reakcji jądrowych typu (n,α) i była tematem jego rozprawy doktorskiej zakończonej obroną w roku 1974. Inna grupa prac była poświęcona fizyce akceleratorów, a mianowicie technicznym zagadnieniom akceleratora typu Van de Graaffa, optyce transportu jonów, generatorom neutronów, zastosowaniu wiązek jonów w analizie składu pierwiastkowego różnorodnych próbek (metodzie PIXE). W jego dorobku naukowym znajdują się prace dotyczące jednonukleonowego przekazu w reakcjach jądrowych z użyciem protonów (również spolaryzowanych), deuteronów i jonów helu. Prace te z powodzeniem mogły być przedmiotem pracy habilitacyjnej. Spośród jego prac najczęściej cytowane były prace poświęcone badaniom reakcji typu (n,α) wywołanych przez prędkie neutrony w ciężkich jądrach.

Do jego dorobku technicznego należy zaliczyć: modernizację akceleratora kaskadowego typu Cockcrofta-Waltona, udział w uruchomieniu i modernizacji elektrostatycznego akceleratora typu Van de Graaffa

„Lech” (eksploatacji i modernizacji tego akceleratora poświęcił wiele lat życia), zaprojektowanie i budowę generatora neutronów i źródeł jonów, wreszcie decydujący udział, tak merytoryczny, jak i organizacyjny, w uruchomieniu cyklotronu ciężkich jonów U-200P, a następnie w jego modernizacji. Urządzeniu temu poświęcił ostatnie lata swej działalności zawodowej.

Wiele z rozwiązań technicznych w tych zadaniach mogło być przedmiotem publikacji i patentów – ale na to nie starczało mu czasu.

Miał swoje wielkie zamiłowanie – pszczelarstwo. Prowadził wzorową pasiekę w rodzinnych Zemłach i na terenie ogródka działkowego, prawie w centrum Warszawy. Był aktywnym działaczem Związku Pszczelarzy. Jego zamiłowanie do pszczelarstwa zaowocowało również pracą naukową opublikowaną w *Nuclear Instruments and Methods*, a dotyczącą badania składu pierwiastkowego miodów zbieranych w rejonie rolniczym i centrum Warszawy (z myślą użycia miodów jako bioindykatora zanieczyszczenia środowiska), w której – mimo dużej dokładności metody – ani nie stwierdzono różnic składu, ani nie wykryto obecności ołowiu, zwłaszcza w miodach warszawskich.

Podjmował się nieraz zadań niezwykle i zaskakujących, np. zajmował się suszeniem metodą próżniową bezcennych książek i starodruków zalanych podczas powodzi w 1996 r. oraz budową układu do elektrostatycznego rozpylania środków ochrony roślin z samolotów.

Lucjan Zemło był wybitnie uzdolnionym eksperymentatorem o wielkim doświadczeniu w dziedzinie fizyki jądrowej i fizyki akceleratorów. Miał rozległą wiedzę, obejmującą rozmaite działy fizyki i techniki, umysł krytyczny i dociekliwy. Był niezwykle pracowity, wytrwały i sumienny, a w stosunku do kolegów i współpracowników – lojalny i życzliwy. Był członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego i w latach 1992–95 skarbnikiem Zarządu Głównego PTF. Do zaszczytów i honorów nie przywiązywał wagi (był nagrodzony tylko raz nagrodą zespołową III stopnia Państwowej Rady ds. Atomistyki). Był człowiekiem skromnym, jak gdyby nieświadomym swojej wartości, człowiekiem głębokiej wiary, dumnym ze swojej rodziny, dzieci i wnuków, a zwłaszcza z wnuczki, która dotarła do finału Olimpiady Matematycznej w 2003 r.

Odszedł przedwcześnie, lecz może spoglądać na swe dzieło z przeświadczeniem jego dopełnienia i dokonania.

Marian Jaskóła

Instytut Problemów Jądrowych
im. Andrzeja Sołtana
Warszawa

Zygmunt Kleszczewski (1943–2003)

7 maja 2003 r. odszedł od nas, będąc w pełni sił twórczych, prof. dr. hab. Zygmunt Kleszczewski. Urodził się w 1943 r. w Ciężkowicach. W 1966 r. ukończył studia na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (specjalność – fizyka jądrowa) i również w tym roku rozpoczął pracę na Politechnice Śląskiej – najpierw w Katedrze Fizyki A Wydziału Elektrycznego, a następnie w Instytucie Fizyki Wydziału Matematyczno-Fizycznego (po jego utworzeniu w 1969 r.). Przeszedł wszystkie szczeble kariery akademickiej. Stopień naukowy doktora nauk fizycznych został mu nadany z wyróżnieniem w 1972 r. przez Radę Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Gdańskiego, za pracę „Własności akustyczne niektórych cieczy organicznych w obszarze dyspersyjnym”. W 1980 r. uzyskał stopień naukowy doktora habilitowanego za pracę „Oddziaływanie światła laserowego z objętościowymi falami akustycznymi”. Kollokwium habilitacyjne odbyło się przed Radą Naukową Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk. Praca habilitacyjna została nagrodzona przez Ministra Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki. Stanowisko profesora nadzwyczajnego uzyskał w 1991 r., a profesora zwyczajnego w 1999 r. Wyniki jego badań zostały opublikowane w 110 pracach, z tego 50 w czasopismach z listy filadelfijskiej. Wypromował 7 doktorów, z których jeden uzyskał stopień doktora habilitowanego, a kolejny wszczął procedurę habilitacyjną. Jego działalność naukowa została uhonorowana m.in. Nagrodą Sekretarza Naukowego PAN, dwiema nagrodami MNSzWiT oraz kilkunastoma nagrodami Rektora Politechniki Śląskiej. Znamiennym uznaniem jego wkładu w rozwój nauki było nadanie mu w 1997 roku tytułu profesora nauk technicznych.

Był znakomitym dydaktykiem. Dydaktyka była właściwie jego pasją. Napisał trzy obszerne podręczniki: *Fizyka klasyczna*, *Fizyka kwantowa*, *atomowa i ciała stałego* oraz *Fizyczne podstawy elektroniki*. To ogromne zaangażowanie w dydaktykę zyskało mu powszechny szacunek i uznanie wśród studentów, co wyrażali w wielokrotnym wyróżnianiu go „Złotą Kredą”.

Był bardzo zaangażowany w działalność organizacyjną. Pełnił wiele odpowiedzialnych funkcji w Politechnice Śląskiej: dziekana Wydziału Matematyczno-Fizycznego (1985–93), prodziekana Wydziału Matematyczno-Fizycznego (1982–85), zastępcy dyrektora ds. dydaktyki w Instytucie Fizyki (1981–91), kierownika Zakładu Akustyki Ciała Stałego, później Fizyki Stosowanej (1981–2003), dyrektora Instytutu Fizyki (1997–2003), redaktora naczelnego Wydawnictwa Politechniki Śląskiej (1997–2003). Był członkiem Komitetu Akustyki PAN (1981–93), członkiem Zespołu Ekspertów przy Ministrze Edukacji Narodowej ds. kierunku Podstawowe Problemy Techniki (1989–90), wiceprzewodniczącym (1981–84) oraz członkiem (1984–87) Za-

ządu Głównego Polskiego Towarzystwa Akustycznego, przewodniczącym Oddziału Górnośląskiego PTA (1978–81), przewodniczącym Oddziału Gliwickiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego (1994–98), członkiem Rady Naukowej Instytutu Akustyki Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, członkiem Komitetu Redakcyjnego Matematyki i Fizyki WNT, uczestniczył w pracach komitetów organizacyjnych wielu konferencji. W ostatnim okresie był przewodniczącym Komitetu Naukowego 50. Otwartego Seminarium z Akustyki, najważniejszej konferencji akustycznej w kraju.



Zygmunt Kleszczewski

Za swoją działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną był wielokrotnie odznaczany i wyróżniany: Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Złotym i Brązowym Krzyżem Zasługi, Medalem Komisji Edukacji Narodowej, Srebrną Odznaką Zasłużonego dla Województwa Katowickiego i Odznaką Zasłużonemu dla Politechniki Śląskiej, nagrodami Ministra i Rektora Politechniki Śląskiej.

Piszący te słowa niemal przez całą swoją dotychczasową działalność zawodową był związany ze Zmarłym. Mam zaszczyt być pierwszym doktorem wypromowanym przez Profesora. W feralnym dniu oczekiwałem, wraz z innymi pracownikami Zakładu Zastosowań Fizyki, na jego przybycie. Na zebraniu naukowym zakładu miałem wygłosić kolejny referat z prac własnych. Jak zawsze w takim przypadku, bardzo mi zależało na wysłuchaniu opinii Profesora. Niestety, takich opinii ani ja, ani inni jego współpracownicy, już nigdy nie będziemy mogli wysłuchać. Wielu rozpoczętych i planowanych zamierzeń nie było mu dane zrealizować. W naszej pamięci pozostanie jako człowiek niezwykle skromny, uczciwy i wrażliwy, wyrozumiały przełożony, człowiek, który podejmując decyzje widział ludzi, których one dotyczą.

Roman J. Bukowski
Instytut Fizyki PŚI
Gliwice

Quantum Challenges II

Konferencja Quantum Challenges II odbyła się w dniach 4–6 września 2003 r. w Falentach koło Warszawy. Jak nazwa wskazuje, była to druga konferencja tego cyklu; pierwsza odbyła się w roku 2000 w Essen. Inicjatorami obu konferencji oraz głównymi ich organizatorami byli profesorowie Martin Wilkens (Poczdami) i Maciej Lewenstein (Hanower). Pretekstem do zorganizowania konferencji w Essen była 60. rocznica urodzin prof. Fritza Haakego (tegorocznego laureata Nagrody Smoluchowskiego–Warburga).

Podstawowym celem pierwszej konferencji było wytyczenie zasadniczych kierunków rozwoju fizyki kwantowej w XXI wieku. Cel ten okazał się nierealny – konferencja była zbyt kameralna, dotyczyła jedynie części zagadnień fizyki kwantowej. Odniosła jednak sukces – przedstawione zostały zagadnienia z różnych dziedzin fizyki, w których szeroko stosuje się teorię kwantów.

Sukces pierwszej konferencji skłonił organizatorów do zorganizowania następnej. I tym razem znalazł się pretekst – 60. rocznica urodzin prof. Kazimierza Rzążewskiego. Warto zwrócić uwagę, że obaj organizatorzy, Maciej Lewenstein i Martin Wilkens, są uczniami zarówno Fritza Haakego, jak i Kazimierza Rzążewskiego.



Profesor Kazimierz Rzążewski z małżonką Danutą w czasie uroczystej kolacji (fot. Krzysztof Góral).

Konferencja Quantum Challenges II nie stawiała sobie tak dalekosiężnych planów jak pierwsza. Ze względu na osobiste zainteresowania organizatorzy postanowili skoncentrować się na fizyce ultrazimnych gazów oraz, w mniejszym stopniu, na podstawach fizycznych tzw. informatyki kwantowej. Na ogólną liczbę 27 referatów ponad 2/3 poświęcone było fizyce kondensatów Bosego–Einsteina i innym aspektom ultrazimnych gazów atomowych.

Postęp w dziedzinie manipulowania zimnymi gazami jest wprost szokujący. Od czasu uzyskania w 1995 r. pierwszych kondensatów Bosego–Einsteina minęło 8 lat.

Wydawało się, że techniki chłodzenia gazów do temperatur nanokelwinowych są tak finezyjne, że tylko kilka ośrodków będzie mogło je opanować. Tymczasem obecnie mamy ponad setkę laboratoriów, w których uzyskuje się takie temperatury. Przeprowadzono wiele doświadczeń głęboko wnikaających we właściwości ultrazimnych gazów. Stwierdzono istnienie nadciekłości oraz skwantowanych wirów, występowanie fal solitonowych rozchodzących się w kondensatach, interferencję kondensatów itd. Kolejnym krokiem w rozwoju dziedziny są kondensaty w sieciach optycznych, dające olbrzymie możliwości manipulowania atomami, np. w celu uzyskania zegarów atomowych, ewentualnie także bramek logicznych stanowiących elementy komputerów kwantowych.

Innym celem działalności fizyków w tej dziedzinie jest próba wytworzenia kondensatów molekularnych, jak również uzyskanie ultrazimnych gazów atomów fermionowych. Wprawdzie już kilka lat temu udało się uzyskać temperaturę niższą niż temperatura Fermiego dla gazu fermionowego (izotopu litu ^6Li), ale nie udało uzyskać temperatury przejścia BCS. Gdyby się to udało, mielibyśmy atomowy odpowiednik nadprzewodnictwa. Próby uzyskania kondensatu molekularnego (dla dwuatomowych cząsteczek litu) oraz stanu nadprzewodzącego atomów litu referował C. Salomon z Ecole Normale Supérieure w Paryżu. Te doświadczenia zrobiły na mnie największe wrażenie podczas konferencji – okazuje się, że z atomami można robić „co się chce” – trzeba tylko mieć technologię dostępną w Paryżu. Również nieocenione są teoretyczne prace G. Szlapnikowa (pracującego w Amsterdamie, Paryżu i Moskwie – jak on to robi?) dające doświadczalnikom wskazówki, które procesy mogą zajść, a które nie. Referat Szlapnikowa na konferencji wskazał na wzorową współpracę teorii i doświadczenia.

Inne referaty z tego nurtu nie ustępowały wspomnianym pod względem poziomu naukowego. Organizatorom udało się zebrać światową czołówkę osób pracujących w tej dziedzinie.

Referaty z innych dziedzin nie zrobiły na mnie takiego wrażenia. Być może dlatego, że nie było tu spójnego przeglądu osiągnięć w danej dziedzinie. Kluczem do zaproszenia wykładowców były raczej względy osobiste. Niemniej były to referaty na bardzo wysokim poziomie: niejedna polska konferencja byłaby dumna z takich wykładowców. Na przykład prof. Herbert Walther mówił o manipulowaniu fotonami w mikromaserze. Jego grupa potrafi uzyskać stan jedno- lub dwufotonowy „na zawołanie” i eksperymentować z pojedynczymi fotonami.

Na konferencji przedstawiono też kilkadziesiąt plakatów.

Konferencja była zorganizowana przez Centrum Fizyki Teoretycznej PAN i Instytut Fizyki PAN. Program naukowy był w gestii prof. Martina Wilkensa i prof. Macieja Lewensteina, a lokalne sprawy organizacyjne załatwiali głównie prof. Marek Kuś i doc. Mariusz Gajda. Konferencja była w znacznej części sfinansowana przez Euro-

pean Science Foundation w ramach programu BEC2000+ oraz w mniejszej części przez US Air Force (European office for aerospace research and development) i Komitet Fizyki PAN. Większość uczestników musiała zapłacić za udział. Były to kwoty duże jak na polskie warunki: 400 euro (czyli ponad 1600 zł) za czterodniową konferencję. Ograniczyło to znacznie liczbę polskich uczestników. Nie była to jednak konferencja szkoleniowa dla młodych fizyków, przeciwnie – organizatorzy nastawili się na udział osób o uznanej renomie, dla których jej cena była do przyjęcia.

Trzeba też powiedzieć, że warunki w Ośrodku Szkoleniowo-Konferencyjnym w Falentach pod Warszawą są doskonałe. Sale wykładowe są klimatyzowane i dobrze wyposażone w sprzęt audiowizualny, a warunki zakwaterowania i wyżywienia – wręcz znakomite. Dodatkowym atutem jest nieduża odległość od warszawskiego lotniska.

Przy okazji konferencji odbyła się też impreza dodatkowa – przyjęcie z okazji 60. rocznicy urodzin prof. Kazimierza Rzążewskiego. Zebrani przyjaciele, uczniowie oraz liczni współpracownicy prof. Rzążewskiego życzyli mu dalszych sukcesów.

Jan Mostowski

Instytut Fizyki PAN
oraz Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego
Warszawa

XVIII Sympozjum Maksa Borna

W dniach 22–25 września 2003 r. odbyło się w Łądku Zdroju XVIII Sympozjum Maksa Borna „Fizyka statystyczna poza fizyką” zorganizowane przez Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego. Wzięły w nim udział 53 osoby z dziewięciu krajów.

Tegoroczne sympozjum poświęcone było zastosowaniu metod fizyki statystycznej w biologii, medycynie, socjologii, ekonomii i meteorologii. W trakcie konferencji wygłoszono 14 wykładów plenarnych, 9 krótkich referatów oraz odbyła się sesja plakatowa z 3-minutowymi prezentacjami. Sympozjum otworzył wykład profesora Dietricha Stauffera z Uniwersytetu w Kolonii, wprowadzający w tematykę spotkania. Przedstawił on zastosowania metod fizyki statystycznej w układach społecznych, biologicznych i ekonomicznych. Wszystkie te złożone i dynamiczne układy wykazują wiele fundamentalnych wspólnych cech – nieprzewidywalność, dramatyczne zmiany globalnego charakteru, zależności typu praw potęgowych. Shlomo Havlin z Uniwersytetu w Bar-Ilan (Izrael) przedstawił w niezwykle interesujący sposób obecny stan wiedzy na temat sieci złożonych występujących w rzeczywi-

stym świecie (np. sieci społecznych, internetowych itp.). Podobnej tematyki dotyczył wykład Janusza Hołysta z Politechniki Warszawskiej. Peter Richmond z Uniwersytetu w Dublinie omówił zastosowanie modeli mikroskopowych (ang. agent-based models) w ekonomii. Problemom ekologii, w szczególności układowi drapieżca–ofiara, poświęcone były dwa wykłady – Michela Droza z Genewy oraz Dietricha Stauffera z Kolonii. Układy ekologiczne od dawna były modelowane przez biologów i matematyków, okazało się jednak, że metody fizyki statystycznej, w szczególności metody dynamiki nieliniowej, dają znacznie większe możliwości ich opisu.

W ostatnich latach niezwykle intensywnie rozwijane są metody służące do badania szeregów czasowych. Problem ten został przedstawiony w trzech wykładach – Marcela Ausloosa z Uniwersytetu w Liège (prognozowanie pogody), Janosa Kertésza z Uniwersytetu w Budapeszcie (analiza finansowych szeregów czasowych) oraz Jana Żebrowskiego z Politechniki Warszawskiej (diagnostyka medyczna, w szczególności analiza rytmów serca). Już w latach 70. socjologowie zaczęli używać modeli typu Isinga do opisu dynamiki w układach społecznych. Serge Galam z Paryża przedstawił skrótkowo historię zastosowań metod fizyki statystycznej w socjologii oraz nowe wyniki modelu socjofizycznego opartego na idei grupy renormalizacji. Problemy ekonomiczne zostały ujęte zarówno od strony filozoficznej w wykładzie Witolda Kwaśnickiego (Uniwersytet Wrocławski) na temat ekonomii ewolucyjnej, jak i praktycznej (analiza rynku energii) w wykładzie Rafała Weron (Politechnika Wrocławska). Stanisław Cebat z Uniwersytetu Wrocławskiego omówił analizę sekwencji kodujących w łańcuchach DNA, natomiast Joseph Indekeu z Leuven – metody opisu dynamiki kolonii bakteryjnych. Bardzo duże zainteresowanie Sympozjum oraz wysoki poziom wykładów świadczy o tym, że tematyka studiów interdyscyplinarnych zdobyła już sobie trwałe miejsce jako pełnoprawna tematyka badawcza. Stwarza to możliwości rozwiązania wielu problemów, które nie mogły być podejmowane w ramach jednej dyscypliny.

Komitety Organizacyjny XVIII Sympozjum Maksa Borna tworzyli: Andrzej Pękalski (dyrektor), Grzegorz Kondrat, Zbigniew Koza, Witold Kwaśnicki i Katarzyna Sznajd-Weron. Sponsorami były: Uniwersytet Wrocławski, W.E. Heraeus Foundation, Ministerstwo Edukacji Narodowej i Sportu oraz Urząd Marszałkowski miasta Wrocławia. Materiały konferencyjne ukażą się jako osobny tom prestiżowego czasopisma *Physica A*.

Andrzej Pękalski, Katarzyna Sznajd-Weron
Instytut Fizyki Teoretycznej UWr
Wrocław

Wstęp do spektroskopii laserowej

Halina Abramczyk: *Wstęp do spektroskopii laserowej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000, s. 232.

Wydana w roku 2000 przez Wydawnictwo Naukowe PWN książka *Wstęp do spektroskopii laserowej* autorstwa Haliny Abramczyk składa się z 11 rozdziałów poprzedzonych wstępem i zakończonych spisem literatury oraz skrowidzem. Już pobieżna analiza spisu treści pokazuje, że zawarte w tytule książki określenie „spektroskopia laserowa” zostało zawężone przez Autorkę wyłącznie do wybranych metod czasoworozdzielczych.

Trudno jest ustalić, dla kogo przeznaczona jest recenzowana książka. Według zapewnień Autorki „została zaplanowana jako podręcznik akademicki dla szerokiego kręgu odbiorców (studentów fizyki, chemii, biofizyki, biochemii uniwersytetów i politechnik oraz studentów akademii medycznych)”. Myślę, że poszczególne rozdziały książki istotnie znajdą wybiórczo odbiorców w tych grupach czytelników. Natomiast w całości książka nie spełnia ww. założeń i trudno zaliczyć ją do kategorii podręczników akademickich.

Układ treści jest dość tradycyjny: pierwszych pięć rozdziałów (objętościowo stanowi to 1/3 książki) poświęcono laserom. Rozdział VI zawiera podstawowe informacje z zakresu optyki nieliniowej. Odpowiadający tytułowi książki materiał zawarto w rozdziale siódmym, który liczy 40 stron, z czego połowę przeznaczono na omówienie jednej metody spektroskopowej, metody echa fotonowego. Na pozostałych 20 stronach omówiono inne metody spektroskopowe: metodę zaniku fluorescencji, metody dwuimpulsowe (w tym pomiar absorpcji przejściowej i rezonansowego, czasoworozdzielczego rozpraszania ramanowskiego), CARS, dudnienia kwantowe oraz metody pomiaru czasu trwania impulsu laserowego. W kolejnych dwóch rozdziałach omówiono wybrane zastosowania metod spektroskopii laserowej. Książkę kończą dwa krótkie rozdziały poświęcone potencjalnym zagrożeniom wynikającym z niewłaściwego korzystania z laserów oraz rozdział poświęcony detektorom optycznym.

Część „laserowa” książki napisana jest w sposób niezwykle elementarny, co może być atrakcyjne dla studentów specjalności innych niż fizyka. Dobór materiału w tym rozdziale jest jednak dalece niezrozumiały. Stosowanym powszechnie w ultraszybkiej spektroskopii czasoworozdzielczej laserom barwnikowym, a przede wszystkim laserom na szafirze domieszkowanym tytanem, po-

święcono w sumie mniej miejsca niż laserom na CO₂ i CO, które obecnie mają raczej niewielkie zastosowanie w spektroskopii laserowej, szczególnie czasoworozdzielczej. Kluczowej w generacji ultrakrótkich impulsów laserowych metodzie synchronizacji modów z soczewką Kerra (KLML) poświęcono kilka zdań, odsyłając czytelnika do książki Franciszka Kaczmarka *Wstęp do fizyki laserów*, w której metoda ta nie jest omawiana.

Z drugiej zaś strony nie wyobrażam sobie, aby przez przytoczony w książce kwantowo-klasyczny opis zjawiska echa fotonowego byli w stanie przebrnąć inni studenci poza fizykami. A wszystko to po to, aby w podrozdziale 7.4.4 poświęconym praktycznym korzyściom zastosowania echa fotonowego stwierdzić: „Echo fotonowe pozwala eliminować niejednorodne procesy relaksacyjne”. I tylko tyle.

Niezwykle enigmatyczny jest opis uniwersalnego, według Autorki, układu pomiarowego do badań absorpcji przejściowej, rozpraszania ramanowskiego i fluorescencji. Różnice w technice pomiarowej tych trzech różnych wielkości są tak duże, że na pewno nie wystarczy, zgodnie z opisem w książce, obrót jednego zwierciadła o 90°. Przede wszystkim zastosowanie impulsów femtosekundowych (130 fs), a więc szerokich widmowo (FWHM ≈ 10–12 nm) do czasoworozdzielczych pomiarów ramanowskich spowoduje, że widmowa rozdzielczość układu nie będzie lepsza niż 100 cm⁻¹.

Na stronie 132 Autorka dyskutuje sygnał absorpcji przejściowej, mierzony metodą wiązki pompującej i sondującej. Dyskusja ta ma charakter niezwykle ogólny, wręcz ogólnikowy. W rzeczywistości bowiem zmiany absorpcji przejściowej mogą mieć trojaki charakter: 1) zmiana absorpcji przejściowej, 2) depopulacja stanu podstawowego, 3) emisja wymuszona, a każdy z tych wkładów ma inne pochodzenie i może nieść inne (często komplementarne) informacje o badanym układzie.

Reasumując, chciałbym stwierdzić, że zapotrzebowanie na nowoczesny podręcznik akademicki z zakresu spektroskopii laserowej jest olbrzymie. Istniejące obecnie podręczniki zostały bowiem napisane wiele lat temu i czas odcisnął już na nich swoje piętno. Książka *Wstęp do spektroskopii laserowej* autorstwa Haliny Abramczyk niestety tylko w niewielkim stopniu wypełnia to zapotrzebowanie.

Ryszard Naskręcki
Instytut Fizyki UAM
Poznań

■ Tytuły profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymali w dniu 10 października 2003 r.: Wojciech Jan Florkowski (IFJ, Kraków), Jerzy Garbarczyk (PW), Roman Juszkiewicz (CAMK, Warszawa), Bolesław Maksymilian Kozaniewicz (IF PAN), Wojciech Sadowski (PG), Grażyna Natalia Sznajd (INTiBS PAN), Grzegorz Andrzej Wilk (IPJ, Świerk), Romuald Wit (UJ).

www.prezydent.pl

■ Subsidia profesorskie FNP

Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej prowadzi program wspierania wybitnych uczonych, przyznając im 3-letnie subsidia, na które składają się imienne subsydia laureata i środki, które zgodnie ze swym uznaniem może przeznaczyć na stypendia dla doktorantów i młodych doktorów, zakup książek, aparatury, materiałów, udział w konferencjach. Subsidia przyznawane są w drodze zamkniętego konkursu obejmującego co rok inny obszar nauki. W 2003 r. są nim nauki ścisłe.

Laureatami konkursu w 2003 r. zostali m.in.:

prof. Jacek Dobaczewski (Wydz. Fizyki UW), temat badań – egzotyczne własności jąder atomowych dalekich od ścieżki stabilności;

prof. Józef E. Korecki (Wydz. Fizyki i Techniki Jądrowej AGH) – funkcjonalne nanostruktury epitaksjalne w katalizie i magnetyzmie;

prof. Jacek Kossut (IF PAN) – zjawiska spinowe w niskowymiarowych strukturach z rozcieńczonych półprzewodników magnetycznych i w strukturach hybrydowych;

prof. Roman Micnas (Wydz. Fizyki UAM) – nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe i uporządkowania elektronowe;

prof. Józef Spałek (Wydz. Matematyki, Fizyki i Informatyki UJ) – nowa fizyka silnie skorelowanych fermionów w nanoukładach i nadprzewodnikach;

prof. Andrzej Udalski (Obserwatorium Astronomiczne UW) – poszukiwanie pozasłonecznych układów planetarnych metodami fotometrycznymi;

prof. Marek Żukowski (Wydz. Matematyki i Fizyki UG) – interferometria splątanych fotonów i informatyka kwantowa.

www.fnp.org.pl

■ Nagrody EPS za fizykę wysokich energii

High Energy and Particle Physics Prize, nagrodę przyznaną przez Oddział Wielkich Energii Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (EPS), otrzymali w 2003 r.: David Gross (Instytut Fizyki Teoretycznej, Santa Barbara), David Politzer (Caltech) i Frank Wilczek (MIT) za „podstawowy wkład do chromodynamiki kwantowej”.

Nagrodę dla młodych – Young Physicist Prize – otrzymał Guillaume Unal (Orsay) za „wkład do analizy danych, przez co uzyskano bezpośredni dowód naruszenia symetrii CP w rozpadach K”.

CERN Courier 43, nr 7 (2003)

B. W.

■ Nagroda im. Mariana Mięśowicza

Dla upamiętnienia wielkiego fizyka Mariana Mięśowicza Wydział Matematyczno-Fizyczno-Chemiczny Polskiej Akademii Umiejętności przyznaje co dwa lata nagrodę naukową jego imienia. W 2003 r. laureatem został prof. Stanisław Jadach z Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie.

Stanisław Jadach pracuje w Zakładzie V Teorii Cząstek IFJ od 1992 r. Studiował fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim (1965–70), staż odbywał na AGH (1971), potem studia doktoranckie (1971–75) w Instytucie Fizyki UJ i praca w tym Instytucie aż do stanowiska docenta.

Profesor Jadach jest liczącym się w świecie uczonym. Współpracuje z największymi ośrodkami badawczymi, z których najważniejsze to CERN (Genewa) i DESY (Hamburg). Przez prawie 2 lata pracował w Saclay, w latach 1983–87 współpracował z Instytutem Maksa Plancka w Monachium. Ma wieloletnie związki z Uniwersytetem Stanu Tennessee w Knoxville. Kilkakrotnie przebywał na Uniwersytecie Stanforda (w SLAC-u), gdzie zajmował się zarówno pracami doświadczalnymi, jak i teorią.

Nagrodę im. Mięśowicza otrzymał za precyzyjne pomiary tzw. procesu Bhabhy, czyli sprężystego rozpraszania elektron–pozyton, prowadzone przy akceleratorze LEP. Proces Bhabhy rozpraszania pod małymi kątami został wykorzystany do pomiaru świetlności akceleratorów LEP i LEP2, a co za tym idzie, do normalizacji wszystkich przekrojów czynnych. Od doświadczalnej i teoretycznej precyzji analizy tego procesu zależała dokładność testów Modelu Standardowego wykonanych przy użyciu tych akceleratorów dla oddziaływań elektrosłabych i silnych. Właśnie to osiągnięcie stanowiło główny doświadczalny wynik całego programu LEP, umożliwiający weryfikację Modelu Standardowego dla oddziaływań elektrosłabych na poziomie poprawek kwantowych, i przesądziło o przyznaniu Nagrody Nobla z fizyki w 1998 r. Veltmanowi i 't Hooftowi.

Stanisław Jadach wraz ze współpracownikami (Z. Wąs, M. Skrzypek, W. Płaczek i E. Richter-Wąs) przeprowadził dla procesu Bhabhy obliczenia różniczkowego przekroju czynnego o bezprecedensowej dokładności, większej niż dokładność osiągnięta doświadczalnie. Jego obliczenia dotyczyły także produkcji par bozonów W na poziomie poprawek kwantowych. Dzięki zastosowaniu metody Monte Carlo obliczenia te znalazły bezpośrednie zastosowanie w analizach fizycznych przeprowadzonych przez grupy badawcze ALEPH, DELPHI, L3 i OPAL, prowadzące eksperymenty przy LEP-ie.

Obecnie prof. Jadach zaczyna prace nad zagadnieniami związanymi z przyszłymi eksperymentami LHC w CERN-ie i wraca do tematyki oddziaływań silnych.

– Patrona Nagrody, prof. Mięśowicza, znałem osobiście – mówi laureat – i mam bardzo ciepłe wspomnienia z nim związane. Po pierwsze, przy końcu studiów, jako magistrant (ówczesnego) docenta Białasa chodziłem co tydzień na słynne seminaria w gabinecie prof. Mięśowicza, jeszcze w budynku C1 AGH. Dzięki prof. Mięśowiczowi i prof. Białasowi panowała tam niezapomniana atmosfera entuzjazmu i przekonania, że „coś się dzieje” i że „fizyka cząstek TO JEST TO!” Właściwie ktoś powinien to opisać osobno... Prof. Mięśowicz dodał mi otuchy w trudnym momencie, gdy w końcu lat 80. zmieniłem tematykę i zająłem się oddziaływaniami elektrostałymi oraz fizyką akceleratora LEP. Myślę, że byłby zadowolony z nagrodzonych w tym roku prac.

Małgorzata Nowina Konopka

■ Powstaje Europejska Rada Badań

W roku ubiegłym Unia Europejska powołała grupę ekspertów, która miała się zastanowić, czy należy utworzyć Europejską Radę Badań Naukowych (European Research Council, ERC).

Ogłoszona niedawno opinia tej grupy jest jednoznaczna: Europie potrzebna jest międzynarodowa organizacja promująca w skali całego kontynentu europejskiego badania naukowe. Finansowanie badań w Europie było dotychczas w dużej mierze w gestii poszczególnych krajów, a więc zależało od ich potrzeb i możliwości. Wyrażono opinię, że europejski program badań, tzw. Program Ramowy (Framework Programme) jest wysoce biurokratyzowany i nie spełnia dobrze swoich zadań, m.in. dlatego, że kładzie zbyt duży nacisk na zastosowania wyników badań.

Dyskutowano, kto powinien finansować działania ERC – czy głównie Unia Europejska, czy może poszczególne kraje członkowskie. Przewodniczący grupy ekspertów Federico Mayor, profesor biologii molekularnej Autonomicznego Uniwersytetu Madryckiego i były dyrektor generalny UNESCO, przypomniał deklarację ogłoszoną przez głowy państw członkowskich, że Europa nie stanie się konkurencyjna w ekonomii opartej na wiedzy, jeśli nie zostanie powiększone w sposób znaczący finansowanie badań podstawowych.

Wspólna opinia ekspertów brzmi, że wprowadzanie drobnych ulepszeń w działaniu Europejskiej Fundacji Nauki i europejskiego Programu Ramowego byłoby stratą czasu i pieniędzy. Raport rekomenduje stworzenie w budżecie Unii specjalnego funduszu dla ERC (który musiałby być zatwierdzany przez Parlament Europejski) w rocznej wysokości ok. 2 mld euro.

ERC byłaby odpowiedzialna przed Parlamentem Europejskim, a rozdzielanie funduszy powinno być przeprowadzane w sposób otwarty i oparte na wartościach osiągnięć naukowych, bez argumentów politycznych i geopolitycznych.

Nature 425, nr 6957 (2003)

B. W.

■ Współpraca Kraków–Genewa

W Genewie zostało podpisane porozumienie między CERN-em i Instytutem Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego w Krakowie. Przewiduje ono, że zespół 22 polskich fizyków, inżynierów i techników pojedzie do CERN-u, aby uczestniczyć w pracach montażowych i kontrolnych przy budowie wielkiego zderzacza hadronów (LHC). Zespół będzie musiał m.in. sprawdzić 1700 połączeń między magnesami LHC (połączenia próżniowe, kable z nadprzewodników, układy kriogeniczne). Prace inspekcyjne polski zespół rozpocznie w kwietniu 2004 r.

CERN Courier 43, nr 7 (2003)

B. W.

■ Nazwa pierwiastka 110

16 sierpnia 2003 r. Rada Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC) na zebraniu w Ottawie zatwierdziła, po długiej procedurze, nazwę pierwiastka o liczbie atomowej $Z = 110$, zaproponowaną przez odkrywców: darmstadtium (symbol Ds). Pochodzi ona od nazwy miasta Darmstadt w Niemczech, na którego obrzeżach znajduje się instytut ciężkich jonów GSI, gdzie pierwiastek ten wytworzono i zidentyfikowano w 1994 r. Procedura weryfikacyjna, prowadząca od odkrycia do zatwierdzenia nazwy, trwała więc ok. 9 lat. Na jej ostateczny wynik miało niewątpliwie wpływ powtórzenie syntezy (na drodze reakcji jądrowej) tego pierwiastka przez fizyków japońskich (dr Kosuke Morita i współpracownicy) w laboratorium RIKEN k. Tokio.

W zaproponowaniu nazwy darmstadtium ($Z = 110$) i wcześniej hassium ($Z = 108$) fizycy niemieccy poszli wyraźnie śladem fizyków amerykańskich z Laboratorium im. Lawrence'a w Berkeley, którzy zaproponowali niegdyś nazwę berkelium ($Z = 97$) i californium ($Z = 98$) dla pierwiastków wytworzonych w Berkeley. Hassium bowiem to łacińska nazwa Hesji, kraju związkowego w Niemczech, w którym leży Darmstadt, podobnie jak California jest nazwą stanu, na którego terenie jest Berkeley.

Sądzę, że zgodnie z ostatnio przyjętą zasadą wierności oryginałowi polska nazwa tego pierwiastka powinna brzmieć „darmstadt”, podobnie jak rutherford ($Z = 104$) czy meitner ($Z = 109$). Zdecyduje o tym jednak odpowiednia komisja nazewnictwa chemii nieorganicznej Polskiego Towarzystwa Chemicznego, która konsultuje sprawy nazw pierwiastków z fizykami.

Adam Sobiczewski

■ Włoski fizyk wspomina Krzysztofa Ernsta

W zeszycie 1–2 (2003) *Il Nuovo Saggiatore*, czasopiśmie wydawanego przez Włoskie Towarzystwo Fizyczne, ukazało się wspomnienie o Krzysztofie Ernście autorstwa prof. Massimo Inguscio, dyrektora Europejskiego Laboratorium Spektroskopii Nieliniowej (LENS) we Florencji.

Massimo Inguscio, bliski przyjaciel i współpracownik Krzysztofa Ernsta, wspomina jego wielokrotne pobyty

naukowe we Włoszech (Piza, Florencja, Neapol), współpracę z kilkudziesięcioma fizykami włoskimi, a przede wszystkim jego nadzwyczajną osobowość jako człowieka szlachetnego, silnego, dowcipnego, ciekawego życia, a przy tym doskonale znającego i ceniącego kulturę włoską. Wspomina też włoskie wydanie jego książki *Fizyka sportu* oraz mało znany fakt, że pisywał wiersze.

B. W.

■ Awantura o Nobla

W roku 2003 Nagroda Nobla z medycyny została przyznana Paulowi Lauterburowi (Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, USA) i sir Peterowi Mansfieldowi (Univ. of Nottingham, W. Brytania) w uznaniu roli, jaką odegrali w rozwoju metody obrazowania za pomocą rezonansu magnetycznego (MRI) jako techniki medycznej badania ciała ludzkiego. Decyzja Komitetu Noblowskiego wywołała gwałtowny protest nowojorskiego lekarza Raymonda Damadiana, który twierdzi, że to on wynalazł tę metodę. W 1971 r. opublikował w czasopiśmie *Science* pracę wykazującą, że za pomocą jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR) można odróżnić tkankę zdrową od nowotworowej. Opatentował później metodę określania miejsc zaatakowanych przez raka za pomocą odczytów sygnałów NMR dochodzących z różnych kierunków.

Protest Damadiana polega na umieszczeniu całostronicowych ogłoszeń w dziennikach *The Washington Post*, *The New York Times* i *Los Angeles Times*. Prosi tam czytelników, aby wycięli zamieszczony w ogłoszeniu kupon i wysłali go do Komitetu Noblowskiego z żądaniem uznania go za trzeciego laureata Nagrody. Nie należy się spodziewać, że takie protesty odniosą skutek – Komitet Noblowski nie poddaje pod dyskusję swoich orzeczeń.

Nature 425, nr 6959 (2003)

B. W.

■ Czujniki w oponach

Czujniki ciśnienia w oponie samochodowej są od dawna znane – bywają stosowane w ogumieniu ciężarówek, autobusów. Bezpieczeństwo jazdy, także samochodów osobowych, bardzo by podniosła informacja o kształcie bieżnika zmieniającym się w czasie ruchu pojazdu po gładkim lodzie czy warstewce wody. Nad tym zagadnieniem pracuje się już od dawna na Politechnice w Darmstadzie. Proponowane rozwiązanie to naklejanie na profil opony małych magnesów i sond hallowskich. Zmiana odległości między magnesem a sondą wywołana odkształceniem opony powoduje zmianę napięcia hallowskiego, co z kolei może być miarą siły zmieniającej kształt opony, a więc jej przylegania do nawierzchni. Wadą tego pomysłu jest to, że takie czujniki wytrzymują tylko prędkości do 50 km/h, a także konieczność wbudowywania w korpus opony ogniw zasilających i odpowiednich styków. Można wątpić, czy producenci ogumienia zdecydują się na wprowadzenie takich urządzeń.

Ostatnio w centrum badawczym CAESAR (Center of Advanced European Studies and Research) w Bonn opracowano czujnik (o długości 1 cm), który wraz ze swoją

anteną jest wklejany do opony. Działa on jak elektryczny obwód drgający. Częstota rezonansowa zmienia się wskutek odkształcenia opony. Obwód pobudzany jest do drgań impulsem o częstotliwości radiowej. Nie wiadomo jeszcze, czy ten pomysł będzie realizowany.

Phys. J. 2, nr 7/8 (2003)

B. W.

■ 150 rocznica urodzin Ostwalda

Wilhelm Ostwald urodził się w Rydze 2 września 1853 r. jako syn Gotfryda Wilhelma i Elżbiety Leuckel. Zmarł w Grossbothen k. Lipska 3 kwietnia 1932 r. Studiował chemię na Uniwersytecie w Dorpacie. Został tam wykładowcą w 1877 r. Od 1882 r. pracował jako profesor Politechniki w Rydze, a w latach 1887–1906 był profesorem chemii fizycznej Uniwersytetu w Lipsku. Do jego uczniów zaliczani byli S.A. Arrhenius (Nobel 1903), J.H. van't Hoff (Nobel 1901) i W. Nernst (Nobel 1920). Ostwald rozwinął teorię dysocjacji Arrheniusa, powiązał stopień dysocjacji elektrolitu z jego stężeniem w roztworze (prawo rozcieńczeń Ostwalda). Podał w r. 1899 definicję katalizy jako zmiany szybkości lub pobudzenia reakcji chemicznej pod wpływem obecności pewnych substancji, które nie pozostają wśród końcowych produktów reakcji. Katalizatorami są niektóre metale, jak platyna, ale także – w biochemii – enzymy. Ostwald podkreślał, że natury katalizy nie należy szukać w pobudzaniu do reakcji, lecz w jej przyspieszaniu. Opracował metodę utleniania amoniaku do tlenków azotu, która stała się podstawą przemysłu produkcji kwasu azotowego. Napisał podręczniki *Lehrbuch der allgemeinen Chemie* (1884), *Grundriss der allgemeinen Chemie* (1889) oraz *Elektrochemie, ihre Geschichte und Lehre* (1896). W 1887 r. założył czasopismo *Zeitschrift für physikalische Chemie*, w 1902 r. *Annalen der Naturphilosophie*, a w 1889 r. serię *Klassiker der exakten Wissenschaften*. Interesował się chemią barw, wydał monografie *Die Farbenfibel*, *Die Farbenlehre* oraz *Die Harmonie der Farben*. W 1906 r. został członkiem Akademii Nauk w Petersburgu. W tym samym roku zrezygnował z katedry uniwersyteckiej i pogрузzył się w filozofii przyrodznawstwa. W swych poglądach na opis zjawisk przyrody głosił koncepcję tzw. energetyzmu, zbliżał się do empiriokrytycyzmu i monizmu, rozwijał też tzw. kinetyzm. Dopiero w 1908 r. uznał współczesne mu poglądy atomistyki za udowodnione doświadczalnie. W roku 1909 otrzymał Nagrodę Nobla z chemii za prace nad katalizą, równowagami chemicznymi i szybkościami reakcji chemicznych.

Jego syn, Karl Wilhelm Wolfgang Ostwald, redagował *Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide*.

Maciej Suffczyński

■ W stulecie urodzin Łaszkarowa

7 października 2003 r. upłynęło 100 lat od dnia urodzin Wadima Jewgieniewicza Łaszkarowa – wybitnego uczonego, organizatora i pierwszego dyrektora Instytutu Fizyki Półprzewodników Narodowej Akademii Nauk Ukrainy w Kijowie (uprzednio Instytutu Półprzewodników

AN USRR). Dla uczczenia tej rocznicy zorganizowano w Instytucie, noszącym obecnie imię Łaszkiariowa, jubileuszową sesję naukową (7–10 października 2003 r.), na którą zaproszono wielu uczonych (w tym autora niniejszej notatki) przedstawiających zarówno osiągnięcia naukowe związane z działalnością Instytutu, jak i osobiste wspomnienia dotyczące jubilatą.

Łaszkiariow urodził się w Kijowie, ale jego przodkowie wywodzili się z Gruzji, ze starej szlacheckiej rodziny Łaszkaraszwili. Wielu członków tej rodziny aktywnie uczestniczyło w życiu politycznym i naukowym ówczesnej Rosji, na przykład Sergiej Łazarowicz Łaszkiariow, wybitny dyplomata XVIII w., przyczynił się w istotny sposób do pokojowego przyłączenia Krymu do Rosji.

Po ukończeniu Kijowskiego Instytutu Oświaty Ludowej (jak po rewolucji nazywał się Uniwersytet Kijowski) Łaszkiariow został aspirantem, a następnie docentem Kijowskiego Instytutu Politechnicznego (1924–27). Jego początkowa działalność naukowa dotyczyła fizyki promieni rentgenowskich i obejmowała także budowę aparatury do analizy rentgenowskiej. Opracował wówczas oryginalną metodę wyznaczania współczynnika załamania promieni rentgenowskich (1926). W tym okresie ujawnił się talent Łaszkiariowa również jako teoretyka, czego świadectwem są niektóre jego prace, np. „O teorii gravitacji”, „O teorii ruchu materii i światła w polu gravitacyjnym”, „Wyprowadzenie współczynnika unoszenia Fresnela z kwantowej teorii światła” (1927).

W roku 1930 Łaszkiariow został zaproszony przez akademika A.F. Joffego do Instytutu Fizyko-Technicznego w Leningradzie, gdzie przez pięć lat kierował najpierw oddziałem promieni rentgenowskich, a potem oddziałem dyfrakcji elektronów. W tym czasie przeprowadził pionierskie badania rozkładu gęstości elektronowej i potencjału w ciele stałym (1933) oraz napisał pierwszą w ZSRR monografię nt. dyfrakcji elektronów. Za prace te otrzymał stopień doktora nauk fizyko-matematycznych bez obowiązku przeprowadzenia publicznej obrony rozprawy.

W latach 1934–39 Łaszkiariow kieruje katedrą fizyki w Archangielskim Instytucie Medycyny, gdzie zajmuje się biofizyką włókien nerwowych. Ten osobliwy epizod z jego życia (zdawkowo wspominany w jego oficjalnej biografii) związany był z przymusowym zesłaniem do odległego Archangielska. Zesłanie to nie było spowodowane jego „niewłaściwym” pochodzeniem społecznym, ani wyrażanymi poglądami politycznymi, ale przejściowym zainteresowaniem modnym wówczas okultyzmem, co było bardzo źle odbierane przez władzę radziecką.

W roku 1939 na zaproszenie Akademii Nauk USRR Łaszkiariow powraca do Kijowa, gdzie kieruje oddziałem półprzewodników Instytutu Fizyki AN USRR. W tym czasie zmieniają się zasadniczo jego zainteresowania naukowe. W 1941 r. ukazują się jego klasyczne prace dotyczące badania – za pomocą tzw. termosondy – warstwy zaporowej prostowników tlenkowo-miedziowych (1941). Doprowadziły one do odkrycia złącza p–n, podstawowego elementu późniejszej elektroniki półprzewodnikowej.

W czasie II wojny światowej Łaszkiariow pracował w Ufie i Moskwie, dokąd ewakuowano Instytut Fizyki, a jednocześnie kierował laboratorium w jednym z przemysłowych instytutów naukowo-badawczych, zajmującym się wytwarzaniem prostowników tlenkowo-miedziowych dla wojskowych radiostacji polowych.

W roku 1944 powraca do Kijowa, gdzie w 1945 r. zostaje wybrany na członka AN USRR. Wówczas zaczyna się najbardziej twórczy okres jego działalności naukowej, w którym – aż do śmierci w 1974 r. – opublikował sam lub ze swoimi współpracownikami blisko 100 prac naukowych. Prowadził przede wszystkim badania zjawisk fotoelektrycznych w półprzewodnikach (początkowo w tradycyjnym tlenku miedziowym, 1949). Jego prace istotnie przyczyniły się do zrozumienia mechanizmów powstawania siły fotoelektromotorycznej oraz roli większościowych i mniejszościowych nośników prądu w procesach dyfuzji ładunku w półprzewodnikach (1952).



Wadim Jewgieniewicz Łaszkiariow

Dla nas może być interesującym fakt, że wiele koncepcji Łaszkiariowa, np. zrozumienie znaczenia złącza p–n w półprzewodnikach, powstawało równoległe do idei zaproponowanych przez Leonarda Sosnowskiego, z którym notabene Łaszkiariow utrzymywał bliskie stosunki koleżeńskie.

W 1950 r. został utworzony i kierowany przez Łaszkiariowa oddział fizyki półprzewodników Instytutu Fizyki AN USRR, który – wraz z innymi instytutami naukowo-badawczymi – miał za zadanie stymulować rozwój elektroniki półprzewodnikowej w ZSRR. Na bazie tego oddziału, w roku 1960, został zorganizowany Instytut Półprzewodników AN USRR, którym Łaszkiariow kierował do końca 1970 r.

Łaszkiariow wniósł wielki wkład w rozwój fizyki półprzewodników jako samodzielnej dyscypliny naukowej, a wielu spośród jego byłych studentów jest obecnie wybitnymi uczonymi i organizatorami nauki.

Tadeusz Figielski

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2004 r. wynosi 36,00 zł za pół roku, 72,00 zł za rok. Prenumeratę przyjmują:

I. „RUCH” S.A.

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

2. Informacji o prenumeracie ze zleceniem dostawy za granicę udziela Dział Prenumerat i Współpracy z Zagranicą, ul. Jana Kazimierza 31/33, 01-248 Warszawa, tel. (+4822) 5328731, e-mail: prenumerata@okdp.ruch.com.pl, Internet: www.ruch.pol.pl.

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

II. ZARZĄD GŁÓWNY PTF

Wpłaty należy dokonać na konto Zarządu Głównego PTF w PKO BP IX O/Warszawa nr 51 10201097 122911128 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową pod wskazany adres.

III. ODDZIAŁY PTF

Oplata dla członków PTF oraz studentów wynosi 48,00 zł. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

INFORMACJE DLA AUTORÓW

Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być dostępne dla ogółu fizyków. Prace należy nadsyłać pod adresem redakcji. O przyjęciu pracy do druku decyduje komitet redakcyjny. Maszynopisów prac niezamówionych i niezakwalifikowanych do druku redakcja nie zwraca. Bardziej szczegółowe informacje na temat układu i sposobu przygotowania pracy znajdują się na stronie internetowej *Postępów Fizyki*.

REKLAMA W POSTĘPACH FIZYKI

Zapraszamy – szczególnie przedstawicieli producentów aparatury oraz sprzętu i oprogramowania komputerowego, wydawców podręczników i książek naukowych oraz popularnonaukowych – do zamieszczania ogłoszeń reklamowych w *Postępach Fizyki*. Nasze czasopismo dociera do większości polskich fizyków, z których wielu decyduje o bieżących zakupach uczelni, instytutów i szkół. Zainteresowanych prosimy o kontakt z redakcją pod adresem: postepy@fuw.edu.pl.

POSTĘPY FIZYKI (ADVANCES IN PHYSICS)

founded in 1949, published bimonthly in Polish with titles in English by the Polish Physical Society with a support of the Polish State Research Committee (KBN) and the Physics Faculty of the Warsaw University.

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Jana Kazimierza 31/33, skrytka pocztowa 12, 00-958 Warszawa, Poland (for details see <http://www.ruch.pol.pl>).

NOWE KSIĄŻKI

- Henryk Szydłowski, *Pracownia fizyczna wspomagana komputerem*, wyd. X zmienione, PWN, Warszawa 2003, s. 507.
- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, *Podstawy fizyki*, t. V, z jęz. angielskiego tłum. Adam Babiński i Rafał Bożek; PWN, Warszawa 2003, s. 231+26.
- Andrzej Stasiewicz, *Filmujemy i analizujemy zjawiska fizyczne*, MIKOM, Warszawa 2003, s. 86, cena 13 zł.
- Elżbieta Śliwińska, *Środowisko fizyczne człowieka*, Oficyna Wydawnicza Pol. Wrocławskiej, Wrocław 2003, s. 135, cena 13 zł.

POSTĘPY FIZYKI W INTERNECIE

Zapraszamy do odwiedzania naszej strony internetowej www.fuw.edu.pl/~postepy, na której można znaleźć:

- szczegółowe spisy treści wszystkich zeszytów wydanych od roku 1993, z możliwością ich przeszukiwania,
- materiały dodatkowe, uzupełniające treść niektórych artykułów,
- materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku w 1999 r. (spis treści obu zeszytów dodatkowych *Postępów Fizyki* z 1999 i 2000 r.),
- materiały XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich w Toruniu w 2001 r. (PEŁNE TEKSTY WSZYSTKICH ARTYKUŁÓW tomu dodatkowego *Postępów Fizyki*, 53D (2002), w formacie pdf).
- PEŁNE TEKSTY WYBRANYCH ARTYKUŁÓW:
 - Wolfgang Ketterle – Gdy atomy zachowują się jak fale: kondensacja Bosego–Einsteina i laser atomowy (zesz. 1/2003)
 - Janusz Zakrzewski – Na 50-lecie odkrycia hiperjader (zesz. 2/2003)
 - Andrzej Krasieński – Jak powstawała teoria względności (zesz. 3/2003)
 - Janusz Zakrzewski – Częstki Modelu Standardowego: co nowego? (zesz. 4/2003)
 - Raymond Davis Jr. – Pół wieku z neutrinami słonecznymi (zesz. 5/2003)

WKRÓTCE W POSTĘPACH

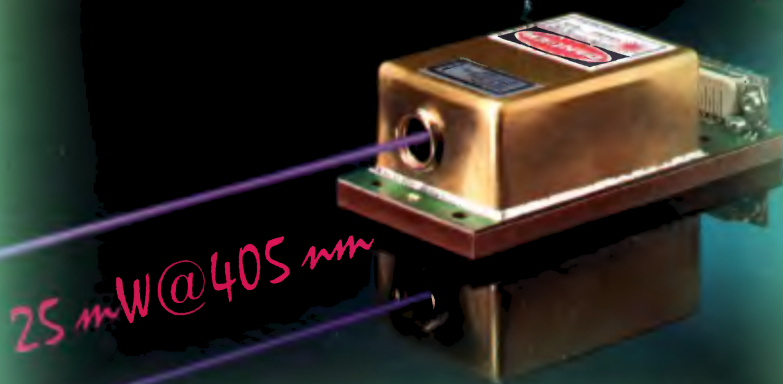
- *Wykład noblowski Riccarda Giacconiego*
- *Waldemar Tomaszewski i Piotr Pierański o fizyce strzału z bicza*
- *Stanisław Bednarek – Dokąd zmierza fizyka zabawek?*

SKOROWIDZ AUTORÓW TOMU 54 (2003)

A – Artykuły, J – Jubileusze, K – Kronika, L – Listy do redakcji, N – O Nagrodzie Nobla, R – Recenzje, T – Z życia PTF
W – Wspomnienia, Z – Ze zjazdów i konferencji

Maria Baster-Grząślewicz (A)	4, 161	Artur Łoziński (A)	4, 168
Stanisław Bażański (K)	1, 47	John Marburger (A)	4, 150
Adam Bechler (R)	1, 39	Roman Marcinek (Z)	1, 37
Stanisław Bednarek (R)	2, 84	Marcin Mierzejewski (K)	3, 138
Jacek Bieroń (Z)	1, 37	Aleksandra Miłosz (T)	3, 94
Grzegorz Brona (A)	5, 202	Jan Mostowski (K)	5, 227
Mieczysław Budzyński (R)	5, 222	Jan Mostowski (Z)	6, 265
Roman J. Bukowski (W)	6, 264	Ryszard Naskręcki (R)	6, 267
Andrzej Burian (R)	4, 177	Małgorzata Nowina Konopka (K)	2, 87
Jan Czerniawski (A)	6, 253	Małgorzata Nowina Konopka (W)	5, 217
Raymond Davis Jr. (wykład noblowski)	5, 191	Małgorzata Nowina Konopka (K)	6, 268
Marek Demiański (K)	1, 47	Andrzej Pękalski (Z)	6, 266
Jacek Dobaczewski (K)	5, 224	Andrzej Ptok (T)	4, 172
M.G. Edmunds (A)	2, 60	Krystian Roleder (T)	2, 59
Tadeusz Figielski (K)	6, 270	Krystian Roleder (T)	3, 129
Anthony P. French (A)	6, 240	Ewa Rondio (N)	1, 3
Harald Fritzsich (A)	4, 153	Manfred Schroeder (A)	3, 107
Zygmunt Galasiewicz (L)	6, 230	Wiesława Sikora (J)	6, 255
Piotr Garbaczewski (R)	1, 41	Adam Sobiczewski (A)	4, 157
Maciej Geller (K)	1, 43	Adam Sobiczewski (A)	5, 187
Marian Głowacki (T)	5, 212	Adam Sobiczewski (K)	6, 269
Marek W. Gutowski (odpowiedź)	3, 128	Andrzej Sołtan (N)	1, 5
Stanisław Hałas (R)	1, 40	Jan Stankowski (W)	6, 261
Józef Hurwic (L)	5, 223	Andrzej Staruszkiewicz (K)	1, 47
Zbigniew Jacyna-Onyszkiewicz (K)	2, 91	Tomasz Story (K)	2, 89
Bernard Jancewicz (T)	4, 171	Maciej Suffczyński (K)	3, 136
Jerzy Janik (W)	5, 218	Maciej Suffczyński (K)	4, 181
Paweł Janiszewski (K)	5, 226	Maciej Suffczyński (K)	4, 182
Paweł Janiszewski (K)	5, 227	Maciej Suffczyński (K)	6, 270
Justyna Jankiewicz (T)	3, 129	Maria Suszyńska (Z)	3, 132
Justyna Jankiewicz (T)	4, 142	Marek Szczekowski (K)	4, 180
Elżbieta Jartych (K)	1, 44	Katarzyna Sznajd-Weron (Z)	6, 266
Elżbieta Jartych (Z)	5, 221	Jacek Szuber (Z)	2, 83
Marian Jaskóła (W)	6, 262	Andrzej Szytuła (L)	5, 223
Perła Kacman (W)	5, 213	Valentine L. Telegdi (A)	2, 69
Beata Kaczorowska (T)	4, 172	Paweł Tomaszewski (Z)	4, 174
Wiesław A. Kamiński (T)	2, 50	Andrzej Trautman (K)	1, 47
Wolfgang Ketterle (wykład noblowski)	1, 11	Ludwik Turko (Z)	4, 174
Adam Kiejna (A)	2, 77	Łukasz A. Turski (W)	5, 214
Adam Kiejna (A)	3, 113	Beata Walasek (T)	4, 172
Danuta Kiełczewska (N)	1, 3	Marek Wolf (R)	3, 133
Małgorzata Klisowska (R)	4, 176	Andrzej Woszczyzna (R)	3, 134
Alexei Kojevnikov (A)	5, 206	Urszula Woźnikowska-Bezak (Z)	1, 36
Aleksandra Kopystyńska (W)	5, 216	Jakub Zakrzewski (Z)	1, 37
Masatoshi Koshihara (wykład noblowski)	6, 231	Janusz Zakrzewski (A)	2, 51
Marcin Kostur (Z)	3, 131	Janusz Zakrzewski (A)	4, 143
Magdalena Kowalska (A)	1, 9	Andrzej Zięba (A)	3, 123
Andrzej Krasieński (A)	3, 95	Andrzej Zięba (T)	6, 230
Ewa Królczyk (T)	4, 142	Karol Życzkowski (A)	4, 168
Jerzy Kuczyński (A)	1, 33		

Fioletowa rewolucja



25 mW @ 405 nm

Ultrafioletowa rewolucja



*Paladin
4W @ 355 nm @ 15 ps*



Lasery

Podzespoły inżynierii fotonicznej

Optyka i optomechanika

Mierniki mocy i analizatory wiązki

Klocki optyczne i układy

Eurotek International Sp. z o. o. (od 1992 r.)

Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Tel./faks: (22) 843 79 40 / 843 61 43. inbox@eurotek.com.pl