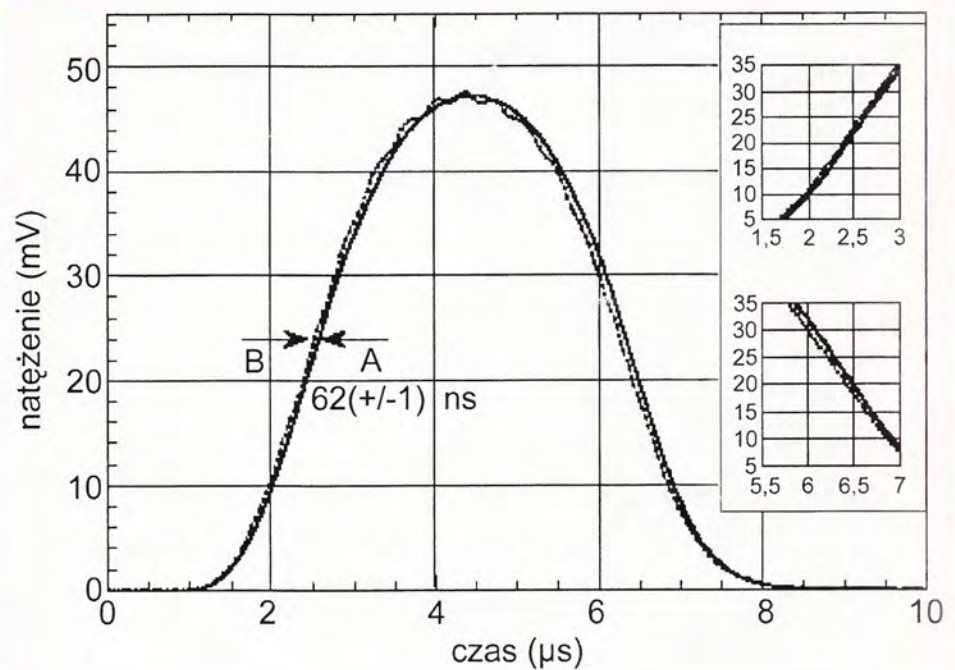


POSTĘPY FIZYKI

TOM **52** ZESZYT **2** ROK **2001**



DWUMIESIĘCZNIK
POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



O PRĘDKOŚCI ŚWIATŁA

NOCNE ROZMYŚLANIA FIZYKA KWANTOWEGO
FIZYKA W POLSCE W ROKU 2000
POMIARY A ZJAWISKA FIZYCZNE
NAGRODY NOBLA 2000

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes: Prof. Ireneusz Strzałkowski
Wiceprezisi: Prof. Krzysztof Ernst
Prof. Karol I. Wysokiński
Sekretarz Generalny: Prof. Maciej Kolwas
Skarbnik: Dr hab. Witold D. Dobrowolski
Członkowie ZG: Prof. Katarzyna Chałasińska-Macukow
Prof. Bogdan Cichocki
Prof. Wojciech Gawlik
Prof. Jerzy Nowak
Prof. Jerzy Warczewski
Mgr Urszula Woźnikowska-Bezak

REDAKTORZY NACZELNI CZASOPISM PTF

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

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Prof. Andrzej Maziewski (Białystok)
Prof. Ryszard Siuda (Bydgoszcz)
Prof. Kazimierz Dziliński (Częstochowa)
Prof. Eugeniusz Czuchaj (Gdańsk)
Dr Andrzej Klimasek (Gliwice)
Prof. Jerzy Warczewski (Katowice)
Prof. Zbigniew Włodarczyk (Kielce)
Prof. Andrzej Zięba (Kraków)
Prof. Stanisław Hałas (Lublin)
Prof. Leszek Wojtczak (Łódź)
Prof. Stefan Szymura (Opole)
Prof. Andrzej Dobek (Poznań)
Prof. Marian Kuźma (Rzeszów)
Prof. Henryk Wrembel (Słupsk)
Prof. Adam Bechler (Szczecin)
Prof. Andrzej Bielski (Toruń)
Prof. Jacek Baranowski (Warszawa)
Prof. Jerzy Czerwonko (Wrocław)
Prof. Andrzej Więckowski (Zielona Góra)

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

POSTĘPY FIZYKI

RADA REDAKCYJNA

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

KOMITET REDAKCYJNY

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

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

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

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

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

O prędkości światła*

Kazimierz Rzązewski

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN oraz Szkoła Nauk Ścisłych, Warszawa

On the velocity of light

Abstract: Recent experiment by Wang et al. on gain-assisted superluminal light propagation is critically reviewed.

20 lipca 2000 r. na stronie tytułowej największej polskiej gazety, *Gazety Wyborczej*, w miejscu zwykle przeznaczonym na najważniejsze doniesienia polityczne, ukazał się artykuł zatytułowany „Szybciej od światła” (podtytuł: „Impuls światła opuścił komórkę wcześniej niż do niej wszedł”). Wszystko jest ilustrowane żartem rysunkowym: młody człowiek na noc poślubną wnosi do pokoju swoją wybrankę, no i spotyka siebie samego, niezwykle zadowolonego, już z tego pokoju wychodzącego; nie wiadomo, co z małżonką (rys. 1). Obok autor większości tych notatek, Piotr Cieśliński, w krótkim komentarzu pisze, że to wielka rewelacja, nawet podejrzewa – on studiował fizykę – żeśmy go trochę źle uczyli. O co chodzi? Właśnie ten artykuł, a może raczej doświadczenie, które zostało spopularyzowane w całym świecie artykułami tego typu w prasie codziennej, stało się pretekstem do dzisiejszego wykładu.

Oczywiście będziemy mówili o ruchu falowym. W najprostszym wydaniu ruch falowy kojarzy nam się z taką sinusoidą, jak na rys. 2, która ma kilka cech charakterystycznych, m.in. odstęp pomiędzy powtarzającymi się maksimami czy minimami, czy też może zerami wychylenia – taki odstęp to oczywiście długość fali λ . Z kolei jeśli

zasiadłbym w jakimś punkcie, a fala by biegła, i chciałbym zdefiniować odległość w czasie między pojawianiem się dwóch kolejnych maksimów, to wtedy mówiłbym o okresie fali T . Na różne sposoby można napisać podstawowy wzór ruchu falowego

$$\begin{aligned} E(x, t) &= E_0 \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - \nu t) \right] \\ &= E_0 \sin \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right] = \dots \quad (1) \end{aligned}$$

W przypadku światła, to „wychylenie” E to oczywiście wartość pola elektrycznego w pewnym punkcie przestrzeni i w pewnej chwili czasu. Pamiętamy, że w fali elektromagnetycznej występuje także zmienne w czasie i przestrzeni pole magnetyczne. Zwykle detektory są jednak głównie czułe na pole elektryczne. Wzór (1) jest bardzo uniwersalny, dotyczy nie tylko światła, ale także np. fal akustycznych, które właśnie wykorzystujemy do porozumiewania się, fal na wodzie itp. Wszystkie one dają się opisać takim prostym wzorem – pod warunkiem, że są monochromatyczne, że jest to taka prosta sinusoida.

Bardzo często mamy do czynienia ze znacznie bardziej złożonymi ruchami falowymi. Bardzo

*Tekst wykładu inauguracyjnego, wygłoszonego podczas uroczystego rozpoczęcia roku akad. 2000/2001 w Szkole Nauk Ścisłych w Warszawie w dniu 2 października 2000 r., a następnie przedstawionego w nieco mniej popularnej wersji m.in. na warszawskim Seminarium Optycznym oraz na Konwersatorium im. Jerzego Pniewskiego Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW i Oddziału Warszawskiego PTF (przypr. Red.).

WARSZAWA

CZWARTEK
20 lipca 2000
NR 168. 3469
Kwota 805 zł. WYK 2,00 zł
9
REDAKTOR PRACOWNICY:
MARCIN PIASECKI
WITKOWA ADRESA SA
KODER INDEKSU 350141
INTERNET: WWW.GAZETA.PL

gazeta

WYBORCZA



SZYBCIEJ OD ŚWIATŁA

Wyniki tego niesamowitego eksperymentu, przeprowadzonego w laboratorium NEC w Princeton (USA), publikują dzisiaj „Nature”. Uczniowie wysłali świetny impuls do sześciocentymetrowej komory wypełnionej ciekłą w postaci gazowej. Przedem w komorze, gdzie była próżnia, impulsowi świetelnemu przebiec 6 cm zajęło 0,2 nanosekundy (miliardowe części sekundy). Tymczasem w ciele impuls pokonał ten sam dystans o 62 nanosekundy szybciej!

To znaczy, że czas potrzebny światłu na przemierzenie komory był tjemny. Innymi słowy – szczyt impulsu opuszczał komorę, zanim do niej wkroczył. Uczniowie nie mogli w to uwierzyć. Powtarzali eksperyment raz za razem. I zawsze wynik był identyczny.

Jednym z autorów eksperymentu jest dr Lijun Wang. Poprosiliśmy go o komentarz na temat tego niepojętego wyniku.

– Od dziś nie da się powiedzieć, iż nic nie może poruszać się szybciej niż światło”. Tego nie sposób intuicyjnie wyjaśnić – tłumaczy Wang. – Nasza intuicja oparta jest na tym, co widać wokół siebie, w naturze. Tymczasem w wypełnionej ciekłą komorze światło rozchodzi się zupełnie inaczej. Gdyby np. w kropelkach wody panowały takie warunki jak we wnętrzu naszej komory, uślad barw w wężu byłby całkowicie odwrócony.

Czyby więc naukowcom z Princeton udało się znaleźć wyłom w teorii względności Einsteina?

– Dam dolary przeciw orzechom, i to spełniałym, że tak nie jest – twierdzi prof. Andrzej Szymacha z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. – To nie pierwszy przykład ruchu szybszego niż światło. Z takimi prędkościami stykali się już astronauci, np. w ruchu fi-

Impuls świetlny wyprzedził sam siebie. Opuszczył komorę, przez którą przelatywał, wcześniej, niż do niej wpadł. Biegł wielokrotnie szybciej, niż dopuszczają obowiązujące dziś prawa fizyki



– Bo wtedy zgodnie z teorią względności obserwatorzy widzieliby, jak skutek wyprzedza przyczynę – np. piorun wybuchający na górze, a potem sapersa następującego zapalnik. Byłby to paradoks otwierający możliwość podróży w czasie.

– Ale czyż właśnie takiego efektu nie obserwują uczniowie z Princeton?

– Nie sądzę. Jeśli w ich eksperymencie coś porusza się szybciej niż światło, to na pewno nie jest to energia. Jeśli się niąyle, to znaczy, że nie już nie rozumiem i czas iść na emeryturę.

Znów uciekł z Kuby

Morales wolny

W ubliwni kubański baseballista Andy Morales wczoraj po raz drugi w ciągu dwóch miesięcy uciekł z Kuby przez morze. Na początku czerwca Amerykanie zwrócili go komunistycznym władzom jako nielegalnego imigranta. Tym razem amerykańska straż przybrzeżna nie wyłowiła go z morza, lecz sama dobiła do brzegów Florydy. Dzięki temu otrzymał

POTR CIEŚLIŃSKI

Strach uwierzyć

Kiedy niedawno w Internecie pojawiły się pierwsze przecieki o eksperymencie dr. Wang, nie chciałem w nie wierzyć. Na studiach uczono mnie, że prędkość światła jest prędkością graniczną. Nic nie może jej przekroczyć. Końiec, kropka. Doświadczwi studenci co rusz wynuriali różne hipotetyczne sytuacje, w których banerie prędkości światła można by ominąć, ale wykładowcy nieodmiennie powtarzali: to niemożliwe.

A teraz przecieram oczy ze zdumienia. „Nature” to poważny tygodnik. Publikowane tam prace przeglądają renomowani recenzenci. Nie dopatrzyli się uchybień w eksperymencie i jego wnioskach. Mamy więc impuls, który pędzi szybciej niż światło w próżni. Wprawdzie fizycy zapowiadają, że nie przeczą to teorii względności, wygląda jednak na to, że – blisko sto lat po jej ogłoszeniu – nadal nie rozumiemy, co jest w tamtej teorii możliwe.

Czy to Natura nie sobie robi z jej ograniczeń, czy też my źle ją interpretujemy?

DZIEŃ W SKRÓCIE

Pojedynek na śledztwa

AWIS chce, by Sejm powołał komisję śledczą, która zbadałaby fransę PZPi i działalność Aleksandra Łwańskiego sprzed lat jako szefa Urzędu ds. Młodzieży i Kultury Fizycznej. Jeszcze niedawno SLD chciał, by taka komisja zajęła się finansami „S”. Ale po apelu UW, by zajęć się integracją z Unią Europejską, wycofał projekt. „Apeluje do posłów AWIS, by postąpili tak samo: Dla wspólnego dobra” – pisze Adam Michnik. Czyt. – s. 5

Jeśli będę prezydentem...

Jeśli Marian Krzaklewski zostanie prezydentem, to spracowi się małżeństwom homoseksualistów i adopcji przez nich dzieci – mówi wczoraj rzecznik kandydata AWIS Wiesław Walendzki. „...rodzina, ach rodzina” – s. 4

Putin postawił na swoim

Duma odrzuciła wczoraj sprzeciw Rady Federacji – izby wyższej rosyjskiego parlamentu – wobec planu prezydenta Putina ograniczenia

Rys. 1. Fragment pierwszej strony Gazety Wyborczej z dnia 20 lipca 2000 r.

złożonych nie musimy dzisiaj na wykładzie rozpatrywać, ale musimy wiedzieć, co to jest impuls, „porcja światła” czy też skończony w czasie ruch falowy. Taki impuls naszkicowany jest na rys. 3a. Mamy tu szybkie oscylacje, na które nałożona jest gładka funkcja $f(x)$

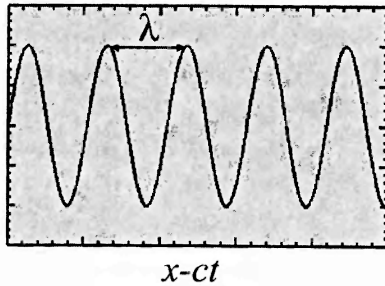
$$E(x) = E_0 f(x) \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right). \quad (2)$$

Nie przypadkiem podaliśmy wzór na przestrzenny kształt impulsu, a nie na jego ruch. Ruchem tym zajmujemy się bowiem dokładniej za chwilę.

Ruchy falowe mają to do siebie, że co prawda wychylenie zmienia się – raz jest dodatnie, raz

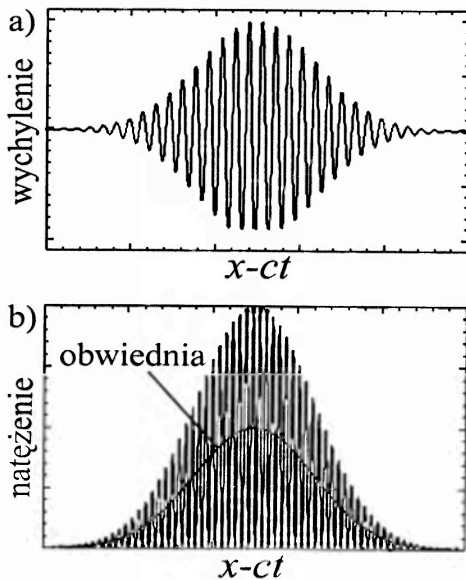
ujemne – ale zwykle, gdy dokonujemy rejestracji, to nasze mierniki nie są wcale czułe na to wychylenie, a na wielkość dodatnią, która jest kwadratem wychylenia. Jest to rozkład natężenia w impulsie. Co więcej, urządzenia pomiarowe, których można użyć do pomiaru zmian w czasie natężenia krótkich impulsów, mają zwykle bezwładność taką, że nie rozróżniają tych ostrych maksimum i minimum, tylko jakoś to uśredniają. Tak jest z uchem w relacji do dźwięku i tak jest właściwie ze wszystkimi miernikami, mogącymi rejestrować szybkie zmiany natężenia światła. Odpowiednie częstotści są zupełnie inne, długości fal są zupełnie inne, ale własność, że rejestratory uśredniają po szybkich

oscylacjach jest dosyć powszechna. Częstość tych szybkich oscylacji jest oczywiście nadal ważną cechą impulsu. W przypadku dźwięku postrzegamy



Rys. 2. Prosta fala sinusoidalna.

ją jako jego wysokość, a w przypadku światła jako jego barwę. Obwiednia impulsu – to jest coś takiego, co mówi, jak średnio biorąc zachowuje się natężenie jako funkcja czasu (rys. 3b).

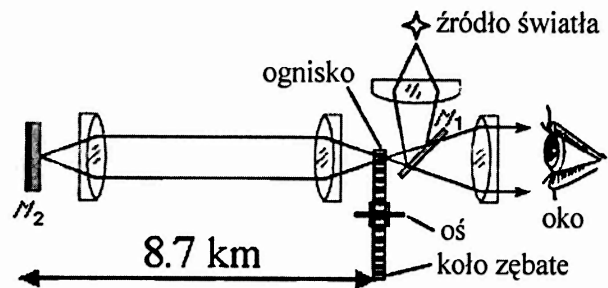


Rys. 3. a) Impuls falowy. b) Rozkład natężenia impulsu.

Będziemy mówili o prędkości rozchodzenia się światła. Żeby dojść do najnowszych doświadczeń, które spowodowały burzę w światowej prasie, wypada kilka słów powiedzieć o historii mierzenia prędkości światła w próżni, czy też w powietrzu, bo to niemal na jedno wychodzi. Starożytni sądzili, że światło rozchodzi się z nieskończoną prędkością, że ono jest natychmiast, że jest zawsze, że jest wszędzie. Wielki Galileusz próbował zmierzyć prędkość światła. Cóż on mógł zrobić w owym czasie? Mógł stanąć na wzgórzu z jakąś lampką oliwną i na innym wzgórzu, możliwie odległym, ustawić asystenta z podobną lampką. W pewnej

chwili mógł odsłonić lampę. W chwili dostrzeżenia światła, asystent odsłania swoją lampę, a Galileusz rejestruje, ile czasu upływa do chwili dostrzeżenia światła z odległego źródła. Rezultat tej pierwszej próby Galileusza był niezadowolający – okazało się, że to opóźnienie raczej zależy od asystenta niż od odległości między wzgórzami, po prostu jeden miał lepszy refleks, a drugi gorszy. Galileusz był człowiekiem wielkim, wybitnym uczonym, i nie stwierdził, że wobec tego prędkość światła zależy od tego, kto odsłania lampkę, tylko raczej stwierdził, że jest ona tak duża, że jego metody doświadczalne nie są dostatecznie precyzyjne, aby tę prędkość zmierzyć.

Pierwszym człowiekiem, który umiał przekonać siebie i swoich znajomych, a także następców, że prędkość światła jest skończona, był duński astronom Rømer, który zauważył w II połowie XVII w., w obserwacjach astronomicznych, że chwila zachodu jednego z księżyców Jowisza zależy od tego, jak Jowisz jest położony względem Ziemi, i w szczególności opóźnia się, jeżeli układ planet jest taki, że Ziemia jest akurat bardzo daleko od Jowisza. On sam nie obliczył prędkości światła. Na podstawie jego notatek zrobili to inni. Ten pierwszy pomiar astronomiczny był bardzo niedokładny, ale to był pierwszy dowód na to, że światło rozchodzi się ze skończoną prędkością. Pierwszy pomiar na Ziemi wykonał Francuz, Armand Fizeau, w 1849 r. za pomocą urządzenia, które schematycznie przedstawione jest na rys. 4. Jest to urządzenie w pewnym sen-



Rys. 4. Schemat doświadczenia Fizeau.

sie bardzo podobne do metody Galileusza, ale zdolne mierzyć znacznie mniejsze opóźnienia. Jak to działa? Mamy źródło światła, które przez soczewkę i odpowiednie zwierciadło jest kierowane na obrzeże koła zębatego. Jeśli światło przejdzie przez otwór w kole zębatym, to biegnie do

odległego wzgórza (w tym doświadczeniu prawie 9 km dzieliło zwierciadło od urządzenia pomiarowego). Koło zębate cały czas się kręci i jeśli kręci się dostatecznie szybko, to światło wracając może trafić nie na otwór między zębami, tylko na ząb. Wtedy obserwator stwierdzi zanik światła odbitego od zwierciadła i z prostego podzielenia odległości, którą musiało przebyć światło, przez czas potrzebny na przesunięcie się koła od otworu do zęba można oszacować prędkość światła. To oszacowanie było już całkiem przyzwoite. Jak Państwo wiedzą, prędkość światła w próżni, a także i w powietrzu, wynosi ok. 300 000 km/s. Wkrótce do rywalizacji z Fizeau przystąpił inny fizyk francuski, Jean Foucault, konstruując inny przyrząd, którego istotnym składnikiem było wirujące lustro. Nie ma to jak konkurencja.

W miarę doskonalenia się metod pomiarowych, coraz dokładniej mierzono prędkość światła. Współczesna wartość to

$$c = 2,997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m/s.} \quad (3)$$

Jak widać, mamy 9 cyfr znaczących – to znakomita dokładność. Pewnie spodziewają się Państwo, że powiem, iż następne cyfry znaczące poznamy wkrótce. Otóż nie poznamy! Dlatego, że metrologowie umówili się, że na mocy definicji prędkość światła wynosi właśnie tyle. Stała się ona jedną z podstawowych wielkości fizycznych. Nie ma już dzisiaj wzorca metra (nie mówiąc już o tym, że ten w Sèvres bardzo się zestarzał). Jest wzorzec częstości, czy też wzorzec czasu, związany z pewnym szczególnym drganiem atomu cezu, natomiast nie ma wzorca długości i wobec tego długość oblicza się z prostego wzoru: droga równa się prędkość razy czas, posługując się dobrze określoną jednostką czasu – przez ten wzorzec atomowy – oraz wartością prędkości światła (3).

Galileusz nie umiał zmierzyć prędkości światła, Fizeau umiał, Foucault wkrótce także umiał, my dzisiaj umiemy to zrobić na tej sali. Ja oczywiście sam bym tego nie potrafił, ale pomogli mi koledzy z Instytutu Fizyki PAN: Małgorzata Głódź, Irena Jackowska i Włodzimierz Jastrzębski. Zestawili doświadczenie, którego sercem jest laser impulsowy. Wysyła on bardzo krótkie impulsy światła, dobrze oddzielone... niczym – ciemnością. W ciągu sekundy światło przebiega 300 000 km. Bardzo trudno wyobrazić sobie takie odległości. Dobrą jednostką czasu dla doświadczeń laboratoryjnych jest nanosekunda, tj. 10^{-9} s. W tym

czasie światło przebiega 30 cm. Każdy umie sobie wyobrazić 30 cm. Nasz laser wysyła w ciągu jednej sekundy 20 krótkich impulsów. Jak krótkich? Każdy impuls trwa mniej więcej 10 ns – gdybym mógł zobaczyć ten impuls biegnący, to miałby on ok. 3 m długości. Światło z lasera jest dzielone na dwie części za pomocą płytki światłodzielnącej, która część światła odbija, a część światła przepuszcza. Pierwsza część (impuls pierwotny) wędruje bezpośrednio do diody, która służy do pomiaru bardzo szybkich przebiegów, natomiast druga część biegnie do zwierciadła, odbija się jeszcze od dwóch zwierciadeł dla wydłużenia drogi i wreszcie zostaje skierowana na tę samą diodę. To, co widać na ekranie oscyloskopu, to obraz dwóch impulsów: bezpośrednio przychodzącego z lasera i impulsu, który przebył czterokrotnie długość stołu w audytorium – oczywiście na ekranie widzimy obwiednie impulsów. Ta droga wynosi ok. 20 m. Impulsy są odległe w czasie – co pozwala ocenić oscyloskop – o ok. 70 ns. Stąd z grubym błędem można wyznaczyć prędkość światła. Jeśli zasłoni się wiązkę biegnącą wzdłuż stołu, drugi impuls znika. Tak więc w tym prostym doświadczeniu, które jesteśmy dziś w stanie wykonać na tej sali, możemy ocenić – z dokładnością zapewne lepszą niż Fizeau, chociaż nie taką, by było 9 cyfr znaczących – prędkość światła. Można tu powiedzieć, że szczęśliwie skończył się w Polsce komunizm, bo jeszcze w latach osiemdziesiątych tak szybko działającego oscyloskopu nie wolno było do Polski sprzedawać.

Omówiliśmy w ten sposób króciutko zagadnienie prędkości światła w próżni. Możemy teraz postąpić o krok dalej. Otóż tylko w próżni fale o wszystkich długościach rozchodzą się z tą samą prędkością, którą tu właśnie udało się zmierzyć. W większości ośrodków przezroczystych jest inaczej – mamy do czynienia z dyspersją, tzn. że prędkość rozchodzenia się fal monochromatycznych zależy od długości fali. Zjawisko dyspersji w dość złożony sposób wpływa na własności rozchodzenia się impulsów światła. Łatwo zrozumieć, dlaczego tak się dzieje. Otóż impuls, taki jak na rys. 3a, można otrzymać przez dodanie wielu prostych fal sinusoidalnych o różnych długościach fal i różnych amplitudach

$$E(x, t) = \sum_n E_n \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda_n} (x - \nu_n t) \right]. \quad (4)$$

Prędkości fal monochromatycznych nazywamy prędkościami fazowymi. Długości fal we wzorze (4), jako reprezentacji impulsu, zgrupowane są zwykle wokół pewnej długości centralnej. Jej prędkość fazową oznaczmy przez v_f . Prędkość, z jaką porusza się obwiednia impulsu, nazywamy prędkością grupową v_g . Rozwijając argument sinusa wokół jego wartości dla centralnej długości fali, można wydzielić prostym wzorem prędkość grupową impulsu w ośrodku dyspersyjnym

$$v_g = \frac{v_f}{1 + \frac{\omega v_f}{c} \frac{dn(\omega)}{d\omega}}. \quad (5)$$

Tak się składa, że prędkość rozchodzenia się światła, ta prędkość fazowa, w ośrodkach materialnych, takich jak woda czy szkło, jest znacznie mniejsza od c . Dla orientacji co do jej wartości powiedzmy, że w czasie 1 ns światło przebywa w szkle nie 30, a tylko 20 cm. Pisząc wzór (5) posłużyliśmy się opisem dyspersji poprzez zależność współczynnika załamania światła n (przypomnijmy, że $n = c/v_f$) od częstości kołowej tej fali $\omega = 2\pi/T$. Tak się zwykle robi w optyce. Okazuje się, a wynika to z głębokich związków matematycznych będących wyrazem przyczynowości, że w ośrodkach przezroczystych ta pochodna współczynnika załamania względem częstości kołowej jest dodatnia. Oznacza to, że fale dłuższe rozchodzą się szybciej od krótszych. To się nazywa normalna dyspersja fal świetlnych. Mówiąc skrótowo i bardzo obrazowo – światło czerwone biegnie zwykle w szkle lub w wodzie nieco szybciej niż światło niebieskie. Dlatego pryzmat rozszczepiając światło białe mniej odchyła składową czerwoną niż niebieską. Zatem pochodna we wzorze (5) jest dodatnia. To zaś oznacza, że w ośrodkach z normalną dyspersją prędkość grupowa jest mniejsza niż prędkość fazowa. Zjawisko to ilustruje animacja komputerowa (rys. 5a) przygotowana przez Radkę Bach, studentkę Szkoły Nauk Ścisłych.

Ale ten wzór dopuszcza także sytuację inną, taką że n jest funkcją malejącą λ , tzn. że fale nieco krótsze rozchodzą się szybciej w ośrodku niż fale nieco dłuższe. Wtedy fizycy mówią o anomalnej dyspersji – wtedy prędkość grupowa v_g jest większa niż prędkość fazowa v_f . To także możemy zilustrować animacją. Kilka kadrów z tej animacji przedstawiamy na rys. 5b.

Jak został przygotowany ten pokaz? Otóż, jak już mówiliśmy, ten impuls daje się przedstawić

jako suma kilku, może kilkunastu fal o określonej długości, tyle że te fale składowe mają nieco różne długości i nieco różne amplitudy – dobrano je tak, by wyszedł taki śliczny impuls, jaki Państwo widzą, po czym różnym składowym monochromatycznym nadano różne prędkości, zgodnie z zasadą normalnej dyspersji na rys. 5a i anomalnej dyspersji rys. 5b. W ten sposób otrzymaliśmy impuls, dla którego prędkość fazowa jest większa albo mniejsza od prędkości grupowej, a więc energia biegnie wolniej lub szybciej niż lokalne maksimum. Strzałki pomagają dostrzec różnice między dwiema opisanymi tu sytuacjami.

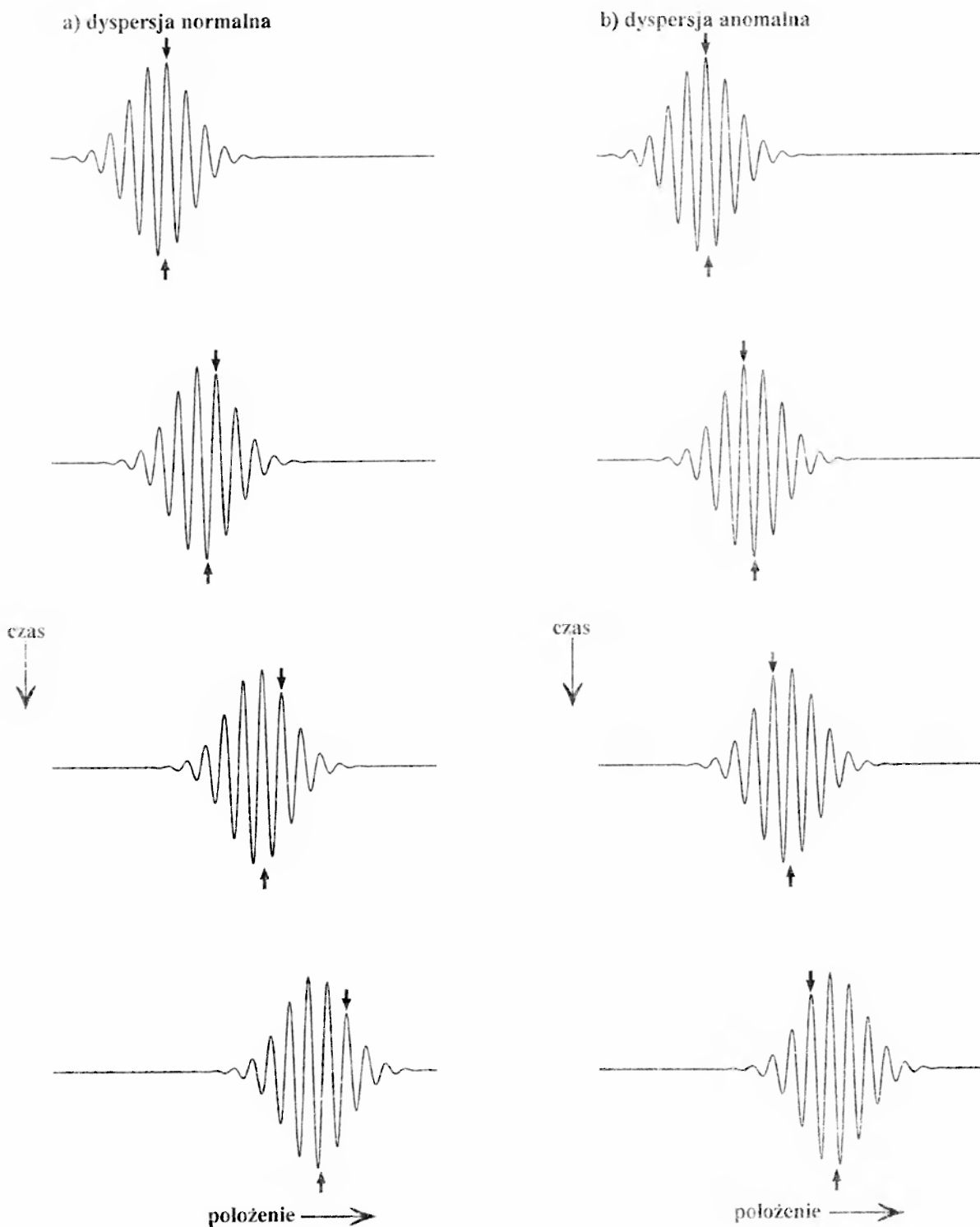
Na koniec zauważmy, że wzór (5) dopuszcza możliwość znacznie bardziej egzotyczną niż dotąd omówione. Jeśli anomalna dyspersja jest dostatecznie wielka, to prędkość grupowa może być ujemna.

Jak widać, anomalna dyspersja to jest coś trochę niepokojącego. Gdyby była, to można by ciekawie rzeczy robić z prędkością grupową. Mogłaby ona przekroczyć prędkość światła w próżni c , jak to *Gazeta Wyborcza* opisała. Dlaczego fizyków zaniepokoiłaby taka możliwość? Otóż dlatego, że fizycy znają szczególną teorię względności, a tam powiada się, że prędkość światła jest prędkością graniczną. W odniesieniu do cząstek obdarzonych masą m , można to zilustrować jednym, bardzo prostym wzorem na energię. Oto on

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (6)$$

Zawdzięczamy go oczywiście Albertowi Einsteinowi, a mówi on, jak zmienia się energia cząstki obdarzonej masą spoczynkową m w funkcji prędkości. Widać, że dla v równego c – tragedia, energia byłaby nieskończona. Nie ma więc obaw, by w jakimś, choćby największym akceleratorze udało się jakąś cząstkę obdarzoną masą przyspieszyć do prędkości światła, bo nawet te największe akceleratory nie dysponują nieskończonym rezerwuarem energii. Tak więc z cząstkami z masą mamy spokój – ich z pewnością nie można przyspieszyć do prędkości światła.

Warto tutaj przytoczyć inny jeszcze argument, związany ze szczególną teorią względności, w którym pojęcie prędkości światła odgrywa decydującą rolę. Otóż kiedy uczy się młodzież szczególnej teorii względności, bardzo często rysuje się



Rys. 5. Kilka kadrów z animacji komputerowej, przedstawiającej rozchodzenie się impulsu światła w ośrodku o dyspersji normalnej (a) i anomalnej (b). Strzałki – górna i dolna – pokazują odpowiednio położenie maksimum wychylenia i maksimum impulsu.

taki nieudolny model czasoprzestrzeni, tzn. od-
 kłada się na wykresie i położenie, i czas (rys. 6).
 Punkty tej przestrzeni to są zdarzenia – powie-
 dzieć, że mam zdarzenie, to jest odpowiedzieć na

dwa pytania: gdzie i kiedy. Centrum świata to zda-
 rzenie „tu i teraz” i można narysować dwa stożki,
 nachylone pod kątem 45° , bo na osi czasu odło-
 żono *ct*. Zdarzenia wewnątrz stożka są połączone

z tym zdarzeniem w ten sposób, że można z jednego do drugiego przejść z prędkością mniejszą niż prędkość światła, natomiast zdarzenie „tu i teraz” oraz zdarzenie na zewnątrz stożka wymagałyby prędkości większej niż prędkość światła, aby je połączyć. O zdarzeniach znajdujących się w górnej części stożka wiemy z całą pewnością, że nastąpiły one później, o zdarzeniach znajdujących się w dolnej części stożka wiemy z całą pewnością, że nastąpiły wcześniej, a zdarzenia poza stożkiem są po prostu gdzie indziej. Ale nie wiemy, czy były one wcześniej, czy później, ponieważ przekształcenia Lorentza, które wiążą ze sobą różne dopuszczalne według szczególnej teorii względności układy odniesienia, mieszają tutaj następstwo czasu. Wobec tego, jeżeli ja nawet w pewnym układzie odniesienia mam dwa zdarzenia zachodzące dokładnie w tej samej chwili, to z punktu widzenia pewnego innego obserwatora ich kolejność może być różna. Gdyby te zdarzenia dało się połączyć sygnałem świetlnym lub jakimkolwiek innym, to jedno zdarzenie mogłoby wpłynąć na drugie, ale jeżeli nie ma następstwa czasowego, to mamy tu kłopot z przyczynowością – jak można by wpłynąć na zdarzenie, które z punktu widzenia pewnych obserwatorów było wcześniej? Coś absurdalnego! Tak więc nie przypadkiem we wspomnianych artykułach prasowych mówi się o czymś zupełnie zdumiewającym.

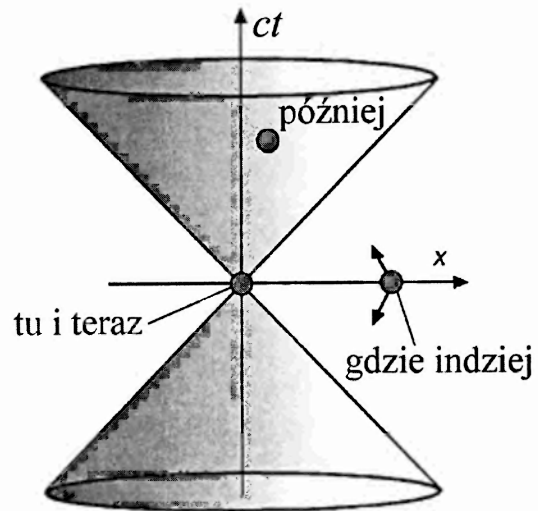
Przypomnę jeszcze doniosły, choć bardzo prosty wzór dotyczący impulsów. Już przy okazji pokazywanych wcześniej animacji mówiłem, że trzeba było złożyć różne fale płaskie o nieco różniących się częstościach, aby dostać impuls. Zachodzi podstawowy związek między czasem trwania impulsu Δt a szerokością $\Delta\omega$ widma światła użytego do jego wytworzenia. Iloczyn tych dwóch wielkości musi być większy niż 1

$$\Delta t \Delta\omega \geq 1. \quad (7)$$

To znaczy, że im krótszy impuls chcę wytworzyć, tym większa musi być jego szerokość widmowa, tym więcej trzeba dodać fal monochromatycznych o różnych barwach, tym szerszy wachlarz barw jest mi potrzebny do stworzenia tego impulsu.

Animacja komputerowa, którą Państwo widzieli, była jednak pewnym uproszczeniem. Jest bowiem tak, że w każdym ośrodku, w którym występuje dyspersja, jak brat syjamski musi pojawić się pochłanianie lub wzmacnianie. Te dwa

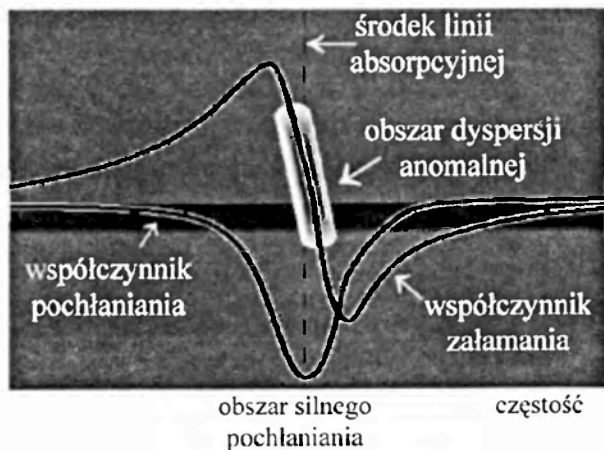
zjawiska idą w parze. Powiem Państwu więcej – okazuje się, że bardzo intymny związek między tymi dwiema wielkościami jest właśnie następstwem zasady przyczynowości – tego, że skutek nie może wyprzedzać przyczyny. Tak więc przyczynowość nakłada bardzo poważne ograniczenia na to, co możemy zrobić z dyspersją, ponieważ ile razy mamy do czynienia z dyspersją, to także amplituda tego światła musi w czasie propagacji ulegać zmianie.



Rys. 6. Uproszczony obraz czasoprzestrzeni.

Jak już mówiliśmy, zwykle przezroczyste materiały, jak woda czy szkło, obdarzone są dyspersją normalną (tzn. prędkości grupowe są w nich zawsze mniejsze niż prędkości fazowe) i nie ma żadnego niebezpieczeństwa, że pojawią się jakieś anomalne, szybsze od światła efekty propagacyjne. Ale nie w całym zakresie widma tak jest. Każdy właściwie materiał ma tzw. linie absorpcyjne, takie szczególne częstości, w pobliżu których krzywa dyspersyjna ma kształt jak na rys. 7, tzn. jako funkcja częstości ma obszar (nieduży, ale ma) dyspersji anomalnej, czyli ma kawałek, na którym jest funkcją malejącą. Można by więc powiedzieć, że właściwie w odniesieniu do każdego materiału można stworzyć takie impulsy, których prędkość grupowa będzie większa niż prędkość światła – no i zyskać tytuł w *Gazecie Wyborczej*. Nie tak łatwo! W takich pasywnych, tzn. nie pompowanych optycznie materiałach, ile razy mamy do czynienia z rezonansową anomalną dyspersją, tyle razy mamy do czynienia z niezwykle silnym pochłanianiem (patrz rys. 7). Mówiąc bar-

dzo prostym językiem: tam, gdzie dyspersja jest anomalna, tam po prostu materiał jest nieprzezroczysty.

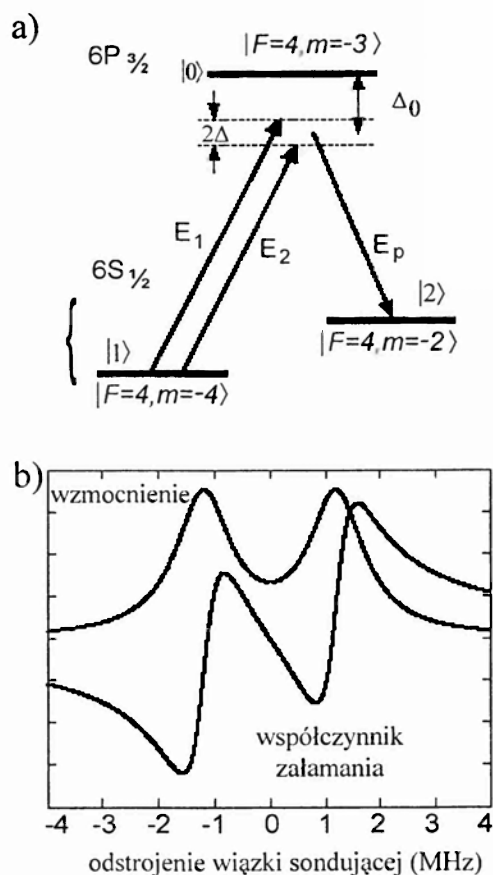


Rys. 7. Współczynnik pochłaniania i współczynnik załamania światła w otoczeniu linii absorpcyjnej.

Jednak już od wielu lat fizycy unieją manipulować zjawiskami dyspersji, potrafią osiągnąć takie sytuacje, których nie ma w naturze, mianowicie potrafią za pomocą innych, przygotowujących układ wiązek laserowych, osiągnąć stan, w którym mamy do czynienia ze wzmacnieniem, tzn. impuls przechodzący przez taki układ jest na wyjściu mocniejszy niż na wejściu. Dlaczego? Dlatego, że w ośrodku zmagazynowana jest energia pochodząca z tych pomocniczych źródeł światła i można tak się postarać, żeby między dwoma obszarami maksymalnego wzmacnienia był obszar anomalnej dyspersji. Właśnie takie doświadczenie zostało wykonane w laboratoriach firmy NEC w New Jersey [1] i to właśnie doświadczenie stało się pretekstem do naszego dzisiejszego wykładu.

Wyniki tego pomiaru zostały opublikowane w prestiżowym brytyjskim czasopiśmie *Nature* pod tytułem „Gain-assisted superluminal light propagation”. Autorzy bardzo podkreślają, że to jest „gain-assisted”, to znaczy, że za pomocą wzmacnienia uzyskali oni szybszy niż światło bieg tego impulsu. Na rys. 8a przedstawiam dosyć złożony układ poziomów energetycznych atomu cezu (w doświadczeniu impuls był przepuszczany przez komórkę z parami cezu). Na rys. 8b przedstawiono, jak wygląda (na podstawie obliczeń autorów) z jednej strony krzywa wzmacnienia, a z drugiej – krzywa dyspersyjna. Ważny jest obszar anomalnej dyspersji. Jeszcze raz przypominam, że jeżeli się wie, jak duży może być obszar wid-

mowy, który ma się do dyspozycji, to można stąd oszacować, jak długie impulsy trzeba zrobić. Tu ten obszar spektralny jest bardzo wąski, wynosi 1.5–2 MHz. Gdyby udało się pokryć cały ten obszar, to dałby o sobie znać niepłaski charakter krzywej wzmacnienia, co by spowodowało zmiany kształtu impulsu, wobec czego trzeba się było jeszcze bardziej ograniczyć – do innej więcej jednej dziesiątej tego obszaru, tzn. posługiwać się impulsami bardzo długimi: o długości ok. 3 mikrosekund. Taki impuls podróżujący w powietrzu miałby długość ok. 1 km. W laboratorium nie ma oczywiście takich odległości i znaczy to tylko tyle,

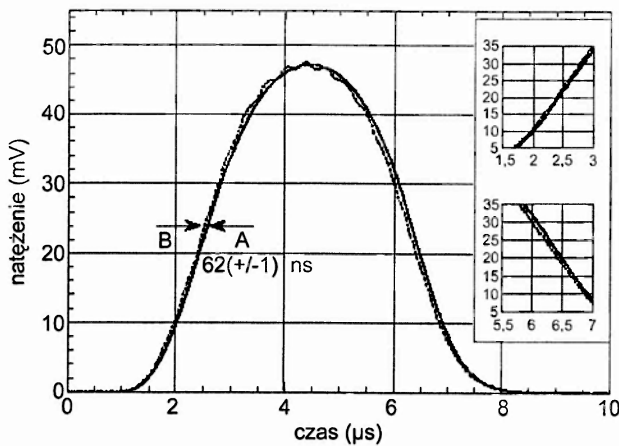


Rys. 8. a) Schemat poziomów atomu cezu, wykorzystanych w doświadczeniu; E_1 i E_2 – wiązki pompujące, E_p – wiązka sondująca (badane impulsy). b) Wzmacnienie i współczynnik załamania w funkcji częstotliwości.

że przez 3–3,5 mikrosekund działa laser, który wysyła te impulsy. Nie zaimponują nam. Tu, na sali wytwarzaliśmy przed chwilą impulsy nanosekundowe.

Czas pokazać wynik doświadczenia. To zdjęcie (rys. 9) jest w pewnym sensie rozczarowujące, ponieważ przedstawia ono cały impuls – czas mie-

rzy się w mikrosekundach. Są tu nałożone dwa lekko przesunięte impulsy: jeden to impuls zarejestrowany bez obecności aktywnego optycznie cezu, a drugi z cezem. Ten przybiegający do detektora z wyprzedzeniem przebył 6 cm w komórce z parami cezu, w których była anomalna dyspersja oraz wzmocnienie. Przesunięcie impulsów wynosi niewielki procent ich długości, mniej więcej 1,5%. Niemniej wynik jest spektakularny – przesunięcie wynosi bowiem 62 ns, czyli w próżni światło pokonałoby w tym czasie ok. 20 m. Komórka cezowa ma, przypominam, grubość 6 cm i wobec tego trochę jak w tym dowcipie z nocą poślubną, jeśli rozpatrujemy tylko położenie maksimum impulsu, to maksimum impulsu padającego jest 20 m przed komórką, gdy maksimum impulsu wychodzącego ją opuszcza. Ale powiadam – maksimum, cały impuls jest dużo dłuższy i zanim to spektakularne wyprzedzenie się pojawi, to długo penetruje on tę komórkę.



Rys. 9. Wynik doświadczenia.

W tym momencie trzeba sobie odpowiedzieć na dwa zasadnicze pytania. Po pierwsze, czy energia wędrowała tu szybciej niż światło w próżni (co by było bardzo niepokojące)? Odpowiedź jest: z całą pewnością nie. Ten ośrodek ma wzmocnienie, w tej komórce zmagazynowana jest energia, maksimum impulsu, które pojawia się poza komórką, zanim do komórki wejdzie maksimum impulsu wchodzącego, jest nasycone energią nie tylko z impulsu padającego, ale także z tego ośrodka (napompowane). Tak więc w bilansie przepływu energii trzeba tu koniecznie uwzględnić energię, którą propagującemu się impulsowi oddaje ośrodek.

Znacznie subtelniejsza jest sprawa z informacją. Jeśli chodzi o zagadnienie przyczynowości, to tutaj z przyczynowością relatywistyczną oczywiście żadnego kłopotu być nie może, bo jak już Państwu mówiłem, jest tu użyty związek między wzmocnieniem a dyspersją i dobrze się sprawdza w doświadczeniu. Pozostaje pytanie, czy coś jest z informacją. I tutaj, jak się rozmawia z autorami tego doświadczenia, a także z innymi specjalistami, którzy pracowali nad tego typu zagadnieniami wcześniej, to oni trochę kręcą, trochę mają nadzieję, że jednak coś tutaj z informacją można zdziałać. Ja sądzę, że nie mają racji, i powiem Państwu dlaczego. Otóż taki gładki impuls, z jakim mamy do czynienia w tym doświadczeniu, to jest funkcja analityczna, tzn. coś takiego, że jak się zna kawałek tej funkcji, to dokładnie wiadomo, jak ją przedłużyć. Wobec tego na podstawie początkowego fragmentu impulsu można dokładnie wyliczyć resztę jego kształtu, położenie maksimum, a także jego wartość. I z tego powodu, moim zdaniem, nie ma tu mowy o tym, żeby jakąkolwiek informację przesłać szybciej niż c . Co nie znaczy, że w jakichś urządzeniach, w których będzie potrzebne szybkie przełączanie itp., nie da się tego zjawiska wykorzystać w sposób celowy i ciekawy.

Dodajmy dwie uwagi: 1) Anomalna dyspersja w doświadczeniu Wanga i kolegów była tak wielka, że prędkość grupowa wewnątrz komórki cezowej była ujemna! 2) Przekaz informacji wiąże się z gwałtownym skokiem pola elektrycznego, jego nieciągłością. Otóż Arnold Sommerfeld wykazał już w 1914 r., że czoło fali w każdym materiale porusza się z prędkością c .

Tyle na temat tego doświadczenia. Mam jednak jeszcze kilka uwag.

Mniej więcej rok wcześniej też środki masowego przekazu (dawniej: musowego przykazu) rozpropagowały wynik pewnego doświadczenia. Może nie było ono aż tak spektakularne, jak omawiane w tym wykładzie, ale jednak zdumiewające. Mianowicie pani Lena Hau, duńska fizyczka, posługując się nowym stanem skupienia materii, zwanym kondensatem Bosego–Einsteina, spowodowała światło do prędkości ok. 50 km/godz, tzn. to światło mogłoby nawet poruszać się po ulicach Warszawy zgodnie z najnowszym ograniczeniem prędkości (por. notatkę „Światło o prędkości rowerzysty” w Kronice zes. 4/99 *Postępów Fizyki*).

To było wielkie osiągnięcie i za jego dokonanie Lena Hau natychmiast została profesorem Uniwersytetu Harvardzkiego. A więc zdumiewa ludzi nie tylko światło poruszające się bardzo szybko, ale i strasznie wolno.

Niektórzy z Państwa są pewnie ludźmi prawdziwie dociekliwymi i pamiętają, że wedle fizyki kwantowej także cząstki obdarzone masą mają własności falowe – są to fale materii, fale de Broglie’a. Natychmiast pojawia się więc pytanie: a jak to jest z falami de Broglie’a, jaką też one mają dyspersję – a w ogóle, czy mają? Mają. Oto znany wzór, który wiąże długość fali de Broglie’a z prędkością cząstki:

$$\lambda = \frac{h}{p}. \quad (8)$$

Jest więc zależność długości fali od prędkości, czyli jest dyspersja, a jak się dobrze przyjrzeć, to jest ona nawet anomalna. No to możemy złąpali fizykę cząstek z masą na jakimś oszustwie, bo ja przed chwilą pokazywałem, że jak się rozpędza cząstkę z masą, to nie można przekroczyć prędkości światła, ale oczywiście nie posługiwałem się językiem fizyki kwantowej i o żadnych falach nie mówiłem. Tak jednak nie jest, dlatego że ta prosta zależność to jest zależność nierelatywistyczna, czyli zależność, która rzeczywiście przysługuje falom materii, ale tylko w przypadku, gdy pędy cząstek nie są zbyt duże. Ścisły wzór na energię szybko poruszających się cząstek daje w granicy wielkich pędów liniowy związek pomiędzy energią cząstki a jej pędem, $E = cp$, identyczny jak dla fotonów w próżni. Właśnie dla fotonów w próżni nie ma dyspersji, nie ma mowy o przekroczeniu prędkości światła. Wobec tego koło się zamyka i to w sposób korzystny dla nas, tzn. bez sprzeczności. Okazuje się, że cząstki relatywistyczne mają fale de Broglie’a bez dyspersji, odpowiednie paczki falowe nie rozplývają się i nie ma mowy o propagacji takich fal z prędkością większą niż światło.

Tyle na temat fizyki. Na koniec mam trzy uwagi natury ogólniejszej.

Jest taki potwór, który nam podobno grozi – globalizacja. Praca, o której tyle tu mówiliśmy, ma trzech autorów. Pierwszy jest Chińczykiem, drugi Rosjaninem, trzeci – nie wiem, bo go nie znam, ale nazwisko wskazuje raczej na Rumuna niż na Anglosasa. Wszyscy trzej pracują w Stanach Zjednoczonych, w laboratorium, które jest własnością japońskiej firmy elektronicznej, swój artykuł wy-

ślali do pisma brytyjskiego, a my w Warszawie już trzy dni przed wydrukowaniem tego numeru *Nature*, dzięki Internetowi ten artykuł mieliśmy. Ja uważam, że to jest globalizacja w jak najbardziej pozytywnym sensie tego słowa. Powiem jeszcze, że dwaj pierwsi autorzy, Chińczyk Wang i Rosjanin Kuźmicz, zrobili doktoraty na Uniwersytecie w Rochester, z którym mamy mnóstwo różnych kontaktów. Opiekunem pracy doktorskiej pierwszego z nich był wybitny optyk Len Mandel. Drugi też zaczynał u Mandla, ale ten, schorowany, przekazał go innemu naszemu dobremu koledze, który się nazywa Ian Walmsley. Tak więc to wszystko w rodzinie, wszystko blisko, wszystko się wiąże, mimo że pochodzimy z różnych miejsc na świecie.

Drugi morał z tego, co się wydarzyło, dotyczy relacji pomiędzy nauką a mediami. Niewątpliwie to doświadczenie stało się faktem medialnym. Tego dnia 20 lipca nie tylko *Gazeta Wyborcza* doniosła na pierwszej stronie o tym doświadczeniu, ale i większość prasy światowej. To doniesienie stało się przedmiotem bardzo licznych wywiadów i komentarzy w różnych stacjach radiowych i w niektórych stacjach telewizyjnych. Z tym się wiąże kilka uwag. Z jednej strony, uczonym, w szczególności tym, którzy zrobili to doświadczenie, zależy na popularności. To jest zrozumiałe. Z drugiej zaś, dziennikarzom, zwłaszcza dziennikarzom, którzy zajmują się informacją, a nie np. popularyzacją nauki, nie zależy na wyjaśnieniu czegokolwiek, im zależy głównie na sensacji. Pojawia się więc we wzajemnej relacji rodzaj napięcia i pewnej sprzeczności interesów. Może Państwu powiem, że tego 20 lipca mnóstwo było wywiadów radiowych i nawet kilka telewizyjnych do godziny mniej więcej 17. Około tej godziny Polska Agencja Prasowa doniosła o tym, że młodą Ukrainkę ugryzł rekin w akwarium w Szczecinie i to się stało sensacją dnia. Trzeba zdawać sobie sprawę z tego, że media działają właśnie w ten sposób.

W mediach nie sposób w programach informacyjnych naprawdę czegokolwiek wyjaśnić. Przyjechała do mnie tego dnia ekipa jednej z telewizji komercyjnych, poprosili, żebym wyjaśnił, o co tam chodzi w tym doświadczeniu. Zapytałem: no dobrze, a ile czasu na to będzie w programie? Dostałem odpowiedź: 30 sekund. Oczywiście w 30 sekund można coś zasygnalizować, a nie wyjaśnić. W dodatku w szybkim cyklu programów informacyjnych nie sposób żądać autoryzacji.

No dobrze, ale nam zależy na tym, aby o fizyce mówiono, żeby o nauce mówiono. Zależy nam na tym z wielu powodów, nie tylko dlatego, że to zaspokaja naszą próżność, ale także dlatego, że każdy z nas – czy to w Ameryce, czy w Polsce – w tej chwili bierze pod uwagę problemy finansowe nauki. Jeśli wokół nauki nie będzie szumu, trudno liczyć, żeby parlamenty krajów – naszego, Stanów Zjednoczonych, Japonii – chciały przeznaczać pieniądze na naukę, czyli zależy nam na tej popularności. Ale ryzyko, zwłaszcza w odniesieniu do tak sensacyjnych wiadomości, jest olbrzymie – tytuł, a zwłaszcza podtytuł tego artykułu w *Gazecie Wyborczej*, jeżeli zostałby wzięty poważnie przez czytelnika, stwarza pewne zagrożenie – taki czytelnik w innej może prasie przeczyta o jakimś UFO albo o jakiejś piramidce, która ostrzy żyłki, i tak naprawdę, jeśli teoria względności jest zła, a impuls może wyjść wcześniej niż wszedł, to może i te żyłki dają się naostrzyć. Zatraca się w ten sposób pewną granicę pomiędzy tym, co zdumiewające, ale jednak należy do głównego nurtu nauki, a tym, co jest zu-

pełną głupotą. Zależy nam wobec tego na uczciwej popularyzacji, powinno nam zależeć na tym, aby poza tym sensacyjnym tytułem w *Gazecie Wyborczej* przynajmniej w niektórych mediach, tych, które poważniej traktują swojego czytelnika, w jakimś momencie ukazało się pełne wyjaśnienie problemu.

I jeszcze jedno smutne spostrzeżenie na temat mediów: obserwowałem, jak wygląda reakcja mediów na różne wydarzenia naukowe, także i to, i muszę powiedzieć, że telewizja publiczna jest zupełnym wyjątkiem, ponieważ żadne – dosłownie żadne – z obserwowanym przeze mnie ważnych wydarzeń naukowych nie zostało przez nią odnotowane.

Uwaga końcowa: warto uczyć się fizyki, ponieważ jak się ją zna, to można zrozumieć niektóre doniesienia *Gazety Wyborczej*.

Literatura

- [1] L.J. Wang, A. Kuzmich, A. Dogariu, *Nature* **406**, 277 (2000).

Nocne rozmyślania fizyka kwantowego*

Adrian Kent

Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge, Cambridge, W. Brytania

Night thoughts of a quantum physicist

Abstract: The most dramatic developments in theoretical physics in the next millennium are likely to come when we make progress on so far unresolved foundational questions. In this essay I consider two of the deepest problems confronting us, the measurement problem in quantum theory and the problem of relating consciousness to the rest of physics. I survey some recent promising ideas on possible solutions to the measurement problem and explain what a proper physical understanding of consciousness would involve and why it would need new physics.

1. Wstęp

U schyłku XX w., a szczególnie w ostatnich latach, fizyka teoretyczna znajduje się w sytuacji wielce niezwykłej: nie ma ogólnie uznanych autorytetów. Programy badawcze mają powszechnie szanowanych liderów, lecz każdy program jest kontrowersyjny. Po okresie niezwykłych sukcesów, trwającym od początku XX w. do wczesnych lat 80., w ciągu ostatnich 15 lat pojawiło się niewiele nowych wyników doświadczalnych o wielkiej wadze (ważny wyjątek stanowi kosmologia)¹. Wszystkie najbardziej interesujące idee teoretyczne napotkały na poważne trudności i nie jest wcale oczywiste, że rozwój którejkolwiek z nich zmierza we właściwym kierunku. Można by rzec, że pewne ogromne i dobrze zorganizowane ekspedycje uporczywie zmierzają do wyimaginowanych celów, podczas gdy inne, mniejsze i bardziej rozproszone grupy fizyków dążą w zgoła odmiennych kierunkach. Ale w istocie wszyscy poru-

szamy się po omacku. Być może nikt z nas donikąd nie dotrze, zanim zrzędzeniem losu znów rozstąpią się na chwilę ciemne chmury.

Spróbuję naszkicować, jak doszło do tego, że osiągnęliśmy ten stan, a następnie zasugerować nowe kierunki, w których postęp jest zapewne możliwy. Jednakże przede wszystkim muszę podkreślić, że przedstawię tu po prostu moje osobiste poglądy, sytuujące się gdzieś między herezją a obecnym głównym nurtem. Myślę, że niektórzy najlepsi fizycy XX w. mogliby je częściowo podzielać², choć większość czołowych fizyków dzisiejszych podkreślałaby inne zagadnienia, a niektórzy z nich poddawaliby w wątpliwość, czy fizycy mogą w ogóle powiedzieć coś sensownego na tematy, które będę dyskutował.

Ja oczywiście myślę, że możemy. Wydaje mi się, że problemy te są tak samo dobrze sformułowane jak te, które rozwiązaliśmy w przeszłości: tak się złożyło, że nie zabraliśmy się jeszcze do

* Artykuł, opublikowany w *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* **358**, 75 (2000), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy [Translated with permission. Copyright © 2000 The Royal Society] (przyp. Red.).

¹ Jest to subiektywny pogląd Autora, który rozwój fizyki ocenia z punktu widzenia fizyka wysokich energii. W ciągu ostatnich 15 lat dokonał się olbrzymi postęp w wielu dziedzinach fizyki, np. w fizyce materii skondensowanej, optyce kwantowej i fizyce jądra atomowego (przyp. tłum.).

² W każdym razie wiele zawdzięczam światłemu sceptycyzmowi Schrödingera i Bella oraz uporczywemu tłumaczeniu Feynmana naukowej konieczności pamiętania o alternatywnych ideach, jeśli są one choć trochę owocne (zob. np. [1-3]).

nich we właściwy sposób. Być może pozostaną one całkiem nietknięte – jako głębokie, nierozwiązane problemy – nawet wtedy, gdy zostanie odkryte to, co rozumiemy na ogół jako „teorię wszystkiego”. Rozwiązanie ich może wymagać dalszych radykalnych zmian w naszym światopoglądzie, podejrzewam jednak, że przekonamy się w końcu, iż nie można się bez nich obejść.

2. Fizyka w roku 1999

Wielkie odkrycia XX-wiecznej fizyki tak głęboko utkwily w powszechnej świadomości, że teraz spojrzenie na nie świeżym okiem wymaga pewnego wysiłku. Powinniśmy jednak spróbować to zrobić, tak jak powinniśmy próbować od czasu do czasu spojrzeć oczyma dziecka na nocne niebo i życie na Ziemi. Uświadomiwszy sobie, jak całkowicie i zadziwiająco zmieniło się nasze rozumienie świata, odnajdziemy zagubioną część i podziw dla Wszechświata i jego piękna³.

Przypomnijmy: w roku 1900 istnienie atomów było jedynie kontrowersyjną hipotezą. Zgodnie z ówczesną wiedzą, materia i światło były całkowicie różne. Znane prawa przyrody były deterministyczne i opierały się na pojęciach absolutnej przestrzeni i czasu, które wydawały się naturalne i zgodne ze zdrowym rozsądkiem, a przy tym tak mocno zakorzenione w ogólnej wizji przyrody, że nie budziły żadnych wątpliwości. Rozwój życia i funkcjonowanie mózgu pozostawały tak tajemnicze, że łatwo było sobie wyobrażać, iż ich rozumienie może wymagać zupełnie nowych zasad fizycznych. Nie istniało nic, co przypominałoby choć trochę współczesną kosmologię.

Oczywiście to Einstein nauczył nas postrzegać przestrzeń i czas jako różne aspekty tej samej geometrii, a ponadto uświadomił nam – jeszcze bardziej zadziwiająco pięknie – że geometria czasoprzestrzeni jest nieliniowa, że materia podlega geometrii i równocześnie ją kształtuje, tak że grawitację rozumiemy jako wzajemne oddziaływanie materii na materię za pośrednictwem krzywizny czasoprzestrzeni.

Pierwsze doświadczenia potwierdzające ważne przewidywanie ogólnej teorii względności – że światło rzeczywiście ulega odchyleniu w polu grawitacyjnym Słońca – zostały wykonane w 1917 r.;

wciąż jeszcze są żywe w naszej pamięci. Kolejne testy doświadczalne potwierdzały ogólną teorię względności z coraz bardziej imponującą dokładnością. Jest ona tak dalece zgodna z naszym rozumieniem kosmologii, jak to jest możliwe, dopóki efekty kwantowe są pomijalne, i obecnie nie ma żadnego poważnego konkurenta – nie mamy innego obrazu świata makroskopowego, który miałby sens i pasował do danych.

Gdyby teoretycy byli bardziej nieśmiali, to doświadczenia z fizyki cząstek i obserwacje astronomiczne prawie na pewno dałyby nam w końcu dostateczne wskazówki, by powstanie szczególnej i ogólnej teorii względności stało się nieuniknione. Jednak Einstein tylko częściowo kierował się eksperymentem. Stworzenie teorii względności było możliwe dzięki jego niezwykłemu geniuszowi przewidywania nowych struktur pojęciowych ukrytych pod znaną fizyką. Dla Einsteina i wielu jego współczesnych zysk na elegancji i prostocie był tak wielki, iż wydawało się, że nowe teorie wprost nie mogą nie być poprawne.

Rozwój teorii kwantów również był oparty na błyskotliwej intuicji i syntezie, lecz przy tym znacznie bardziej inspirowany przez doświadczenia. Dane – widmo promieniowania ciała doskonale czarnego, zjawisko fotoelektryczne, dyfrakcja na kryształach, widma atomowe – właściwie wymusiły na nas nową teorię, najpierw w doraźnych postaciach, a potem, w 1926 r., w formie syntetycznej. Nie wydaje się prawdopodobne, aby ktoś kiedyś znalazł drogę do teorii kwantów nie wspomagany przez obserwowane fakty. Wszyscy wiemy, że nikomu nie udało się znaleźć przekonującego schematu pojęciowego, który by uzasadnił, dlaczego coś takiego jak teoria kwantów ma być prawdziwa. Ona po prostu istnieje. Nikt też nawet po jej powstaniu nie wystąpił z całkowicie zadowalającym wyjaśnieniem, co właściwie fizyka kwantowa mówi nam o przyrodzie. Wiemy, że wszystkie intuicyjne wyobrażenia sprzed 1900 r., oparte na fizyce świata oglądanego na co dzień, okazały się zupełnie niezadowalające. Wiemy, że układy mikroskopowe zachowują się jakościowo inaczej, że najwyraźniej występuje specyficzna przypadkowość w ich oddziaływaniu na urządzenie, którymi zwykle je badamy. Jeszcze większe wrażenie wywiera to, że potrafimy wymienić

³ Zawdzięczamy to oczywiście nie przyrodzie, która najwyraźniej wcale o to nie dba, lecz sobie samym. Odczucie to jest dla nas cenne, mimo że łatwo o nim zapominamy.

wszystkie możliwe wyniki każdego doświadczenia nad układem mikroskopowym i z bardzo dobrym przybliżeniem obliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia każdego z nich. Nie rozumiemy natomiast w pełni, dlaczego te obliczenia dają prawdziwe wyniki: nie mamy na przykład wyrobionego obrazu tego, co się dzieje, gdy nie patrzymy (jeśli wtedy w ogóle coś się dzieje).

Teoria kwantów w oryginalnym sformułowaniu nie była zgodna ze szczególną teorią względności. Po części dlatego nie opisywała też poprawnie oddziaływania między światłem i materią. Rozwiązywanie tego problemu odbywało się etapami i w końcu doprowadziło do stosunkowo systematycznej, choć do dziś niekompletnej wiedzy, jak budować relatywistyczne kwantowe teorie pola, a wreszcie do wniosku, że siłę elektromagnetyczną i dwie siły jądrowe można opisać jedną teorią pola. Dotychczas nie wiemy jednak, jak to zrobić bardziej elegancko, i niemal wszyscy podejrzewają, że czeka nas wspanialsza i piękniejsza zunifikowana teoria tych trzech sił. Nie możemy też uczciwie powiedzieć, że w pełni rozumiemy kwantową teorię pola, ani nawet tego, że ogólnie przyjęte teorie są całkowicie wewnętrznie spójne. Przypominają one schematy obliczeń wraz z częściowym wprawdzie, lecz ludzako sugestywnym objaśnieniem, dlaczego są skuteczne. Większość teoretyków wierzy, że ich głębsze wyjaśnienie wymaga lepszej teorii, która być może zostanie odkryta.

Aktualnie najpopularniejszym kandydatem jest teoria superstrun; wielu fizyków ma nadzieję, że jako „teoria wszystkiego” dostarczy ona pełnej teorii grawitacji i innych sił. Chociaż nikt nie kwestionuje jej matematycznego piękna, to jednak uważa się zgodnie, że teoria superstrun wciąż jeszcze stwarza dwa dość poważne problemy. Po pierwsze, od strony pojęciowej nie wiemy, jak właściwie interpretować superstruny jako teorię materii i czasoprzestrzeni. Po drugie, nie możemy w przekonujący sposób otrzymać z tej teorii jakiegось bardzo interesującego przewidywania, np. właściwości znanych sił, masy znanych cząstek lub widocznej czterowymiarowości czasoprzestrzeni.

Istnieją znaczne różnice opinii, czy są szanse rozwiązania tych problemów, a więc czy teoria superstrun jest teorią wszystkiego, czy może niczego. Czas pokaże. Niemniej prawie wszyscy się zgadzają, że pogodzenie grawitacji z kwantową teorią pola jest jednym z najdonioślejszych pro-

blemów stojących przed współczesną fizyką. Teoria kwantów i ogólna teoria względności, każda wspaniale skuteczna w swojej dziedzinie, opierają się na zupełnie różnych zasadach i oferują wysoce rozbieżne obrazy przyrody. Zgodnie z ogólną teorią względności, świat jest deterministyczny, fundamentalne równania przyrody są nieliniowe, a jej prawidłowy obraz opiera się na geometrii. Zgodnie z teorią kwantów, w przyrodzie istnieje specyficzna przypadkowość, podstawowe równania są liniowe, a prawidłowy język opisu przyrody wydaje się bliższy abstrakcyjnej algebry niż geometrii. Potrzebny będzie kompromis, ale w tej chwili ani nie wiemy, od czego zacząć próby połączenia tych obrazów, ani jak je zmodyfikować, żeby się całkowicie nie załamały.

Chciałbym tu jednak podjąć próbę wyjścia poza bieżącą, konwencjonalną mądrość. Zawsze istnieje niebezpieczeństwo, że uwaga skupi się wokół pewnych problemów uznanych za głębokie, zaniedbując w tym czasie inne ze względu na konwencję, przyzwyczajenie lub czyste zamięłowanie do obliczeń. Fizyka teoretyczna, jak każda dziedzina nauki, zdolna jest do tworzenia intelektualnych tematów tabu, których unika większość rozsądnych ludzi. Oczywiście często mają oni słuszne powody, podejrzewam jednak, że najsilniej utrzymywane tabu przypominają czasami rodzaj podświadomego haraczu. Umysłowa blokada może powstać, gdy pytanie grozi rewolucją, a jego gruntowna analiza może doprowadzić do wniosku, że nasze obecne rozumienie jest zasadniczo nieodpowiednie; innymi słowy, może to być podświadoma obrona przed zbyt silnym uczuciem niepewności. Jest całkiem możliwe, że najlepiej będziemy mogli przewidzieć przyszłe rewolucje w fizyce, jeśli zajmiemy się interesującymi problemami, których unika obecna teoria. Przyjrzymy się zatem dwom spośród nich: zagadnieniu pomiaru w teorii kwantów i problemowi umysł-ciało.

3. Teoria kwantów a problem pomiaru

Jak już widzieliśmy, teorii kwantów nie inspirował początkowo żaden skąpy zbiór zasad zastosowany do niewielkiej liczby danych. Fizycy zdążyli do niej – często nie widząc przed sobą prostej drogi – stopniowo i dzięki różnorodności gromadzących się danych. Twórcy teorii kwantów stawali więc natychmiast przed problemem wyjaśnie-

nia, co w istocie mówi nam ona o przyrodzie. W tym punkcie nigdy nie potrafili się zgodzić, jednak pod kierunkiem Bohra wypracowano dość skuteczny konsens. W co Bohr właściwie wierzył i dlaczego, pozostaje niejasne dla wielu komentatorów, lecz praktycznie prawie nie ma to znaczenia. Fizycy odkryli, że potrafią streścić „interpretację kopenhaską” w formie kilku praktycznych reguł, które wyjaśniają, co można z pożytkiem obliczyć. Jednocześnie wyłoniło się coś w rodzaju roboczego obrazu metafizycznego, by użyć nieco paradoksalnego określenia. C.P. Snow dobrze opisał tę konwencjonalną mądrość w swej na wpół autobiograficznej powieści *The Search* [4]:

„Usłyszałem nagle jednego z największych fizyków matematycznych, mówiącego z zupełną prostotą: »Podstawowe prawa fizyki i chemii zostały oczywiście sformułowane na zawsze. Należy uzupełnić szczegóły: nic nie wiemy o jądrze atomowym, ale podstawowe prawa już znamy. W pewnym sensie fizyka i chemia to nauki skończone«.

Jądro i życie były najtrudniejszymi problemami; we wszystkim innym, w całej chemii i fizyce, widzieliśmy już koniec. Struktura została zbudowana; wytyczono granice wokół kamyczków, które możemy zbierać.

Uderzyło mnie, jak dalece to stwierdzenie byłoby niemożliwe parę lat wcześniej. Przed rokiem 1926 nikt nie mógłby wypowiedzieć tych słów, chyba że byłby megalomanem lub nie znał nauki. A teraz – w dwa lata później – najbardziej bezstronny uczony naszych czasów wypowiada je od niechcienia podczas konwersacji.

Dość trudno jest wyrazić słowami wagę tej rewolucji. [...] Można by jednak ująć to tak. Nauka zaczyna się od faktów wybranych ze świata zewnętrznego. Związki między wyborem, wybierającą osobą, światem zewnętrznym i powstałym faktem są skomplikowane [...] ale w końcu osiąga się zgodność co do »faktów naukowych«. Jeśli chcesz, możesz je nazwać, jak Eddington, »położeniami wskazówki«; linie na płycie fotograficznej, znaczki na ekranie, wszystkie »położenia wskazówek« to efekt umiejętności, staranności i pomysłowości badacza w laboratorium. Są one zakończeniem pracy fizycznej i początkiem pracy naukowej, bo od nich zaczyna się proces naukowego rozumowania i do nich też powraca dla sprawdzenia, czy jest poprawny, czy błędny. Proces naukowy

jest bowiem tylko (lub – jeśli kto woli – aż) pomostem między »położeniami wskazówek«; bierze się pewne położenia i tworzy z nich konstrukcję myślową po to, by przewidzieć kolejne położenia. Następnie dokonuje się ich odczytu; jeśli przewidywania okażą się słuszne, to konstrukcję myślową chwilowo uznaje się za dobrą, a jeśli błędne, to trzeba wypróbować jakąś inną. To wszystko. I do ciebie należy wybór, co nazwiesz »realnością«; możesz znaleźć swą pełną realność albo w położeniach wskazówek, albo w konstrukcji myślowej, albo wreszcie – jeśli lubisz kompromis – w ich mieszaninie”.

Zgodnie z tym konwencjonalnym poglądem, teoria kwantów uczy nas zatem czegoś głębokiego i rewolucyjnego o naturze rzeczywistości. Uczy nas, że błędem są próby zbudowania obrazu świata, który miałby zawierać wszystkie aspekty doświadczenia – przygotowanie aparatury i układu, nad którym będzie się eksperymentować, ich zachowanie w czasie doświadczenia oraz obserwację wyników – w jednym gładkim i spójnym opisie. Wszystko, czego wymagamy od nauki, i wszystko, z czym umiemy sobie radzić, to znalezienie sposobu ekstrapolacji przewidywań – które na ogół okazują się bardziej probabilistyczne niż deterministyczne – ostatecznych wyników na podstawie opisu stanu początkowego. Pytanie, co działo się między tymi stanami, jest pytaniem o coś, czego nie obserwujemy; są to abstrakcyjne pytania, których nie zadaliśmy rzeczywistej przyrodzie. Zgodnie z poglądem kopenhaskim, jest głęboką cechą naszej sytuacji w świecie, że nie możemy w ten sposób oddzielić abstrakcji od konkretności. Jeśli w rzeczywistości nie przeprowadziliśmy odpowiednich obserwacji, to nie zadaliśmy pytania w jedyny sposób, który zmusza przyrodę do dostarczenia odpowiedzi, więc nie musi istnieć żadna sensowna odpowiedź.

Widzimy już koniec. Ale czy rzeczywiście? Teoria kwantów wskazuje nam nieuniknione granice nauki. Ale czy naprawdę? Czy teorię kwantów należy uważać tylko za urządzenie do ekstrapolacji położenia wskazówek z innych położenia? Czy w taki sposób można zadowalająco zrozumieć teorię kwantów? W końcu – jak wiemy – wskazówka jest też tylko zbiorem atomów podlegających prawom kwantowym. Jeśli atomy i prawa kwantowe są tylko konstrukcją myślową, to czy jest nią także wskazówka? Czy jest nią wszystko?

Landau i Lifszyc, przedstawiając w swym klasycznym podręczniku [5] dokładny i – chyba nieumyślnie – krytyczny opis ortodoksyjnego poglądu na teorię kwantową, odczuwali tu jakby pewien dyskomfort:

„Mechanika kwantowa zajmuje wśród teorii fizycznych bardzo osobliwe miejsce, zawiera bowiem mechanikę klasyczną jako przypadek graniczny, lecz równocześnie potrzebuje tego granicznego przypadku dla sformułowania swoich własnych podstaw”.

W tym właśnie tkwi trudność. Świat klasyczny – świat laboratorium – musi być zewnętrzny dla teorii, żeby była ona dla nas zrozumiała, lecz jednocześnie zakładamy, że musi on też zawierać się w tej teorii. Ponieważ jednak te same obiekty odgrywają podwójną rolę, nie mamy jasnego podziału między tym, co jest mikroskopowe, kwantowe, a tym, co jest makroskopowe, klasyczne. Wynika stąd, że nie mamy prawa wywodzić z teorii kwantowej wszystkich przewidywań, które – jak sądzimy – z niej wynikają. Jeśli wskazówka jest tylko konstrukcją myślową, to nie mają sensu pytania, w jakim jest stanie i w którym kierunku wskazuje, a więc nie możemy przewidywać jej zachowania pod koniec doświadczenia. Jeśli jest to rzeczywisty obiekt, niezależny od świata kwantowego, to nie możemy go objaśniać – i pewnie też reszty otaczającego nas makroskopowego świata – w języku teorii kwantów. W każdym razie, jeśli interpretacja kopenhaska jest poprawna, to nie można teoretycznie uzasadnić istotnego składnika naszego rozumienia świata.

Wiemy już jednak, że Bohr, szkoła kopenhaska i większość pionierów teorii kwantów była nadmiernie dogmatyczna. Do przyjęcia interpretacji kopenhaskiej nie zmusza nas ani aparat matematyczny teorii kwantów, ani dane empiryczne. Nie jest to też jedyna poważna możliwość. Rozumiemy już teraz, że jest to tylko jeden z wielu możliwych poglądów na teorię kwantową, mających swoje zalety i wady. Nie została jeszcze odrzucona – nie ma dziś wyraźnej zgody co do tego, który pogląd jest poprawny. W każdym razie, choć interpretacja kopenhaska ma wciąż zwolenników, to jednak wydaje się mało prawdopodobne, że kiedykolwiek zostanie ona znów ogólnie przyjętą, jedynie słuszną ortodoksją.

Jakie są interpretacje alternatywne? Myślę, że jedną z najciekawszych jest prosta, lecz po-

tencjalnie rewolucyjna idea wysunięta przez Ghirardiego i współpracowników [6], a potem rozwinięta przez Ghirardiego, Riminięgo i Webera (GRW) oraz Pearle’ego, Gisina i kilku innych badaczy. Według niej mechanice kwantowej brak jednego kawałka. Możemy rozwiązać wszystkie jej problemy, dodając reguły mówiące dokładnie, jak i kiedy potoczyły się kwantowe kostki. Wystarczy uznać redukcję paczki kwantowej za zjawisko obiektywne, niezależne od obserwatora, i założyć, że nieustannie występują nieznaczne lokalizacje, czyli „miniredukcje”. Upoważnia to do zmiany dynamiki przez dodanie poprawki do równania Schrödingera. Jeśli zrobi się to w taki sposób, jak proponują GRW, to przewidywania wyników doświadczeń prowadzonych na układach mikroskopowych są prawie dokładnie takie same, tak że nie tracimy żadnego z sukcesów teorii kwantów w tej dziedzinie. Jednak duże układy bardziej odbiegają od przewidywań zwykłej teorii kwantowej. Odstępstwa są wciąż bardzo nieznaczne i w chwili obecnej trudne do wykrycia doświadczalnego, lecz bezspornie pojawiają się w równaniach i nie można wykluczyć ich istnienia. Eksperymentatorzy będą mogli kiedyś ustalić ponad wszelką wątpliwość, czy występują one w przyrodzie.

Wprowadzając tę modyfikację, zamieniliśmy teorię kwantów w teorię, która opisuje obiektywne zdarzenia, zachodzące w rzeczywistym świecie zewnętrznym niezależnie od tego, czy prowadzony jest pomiar, niezależnie od tego, czy prowadzona jest obserwacja. Jeśli ten obraz jest poprawny, to rozwiązuje on problem pomiaru: mamy jeden układ równań, który daje jednolity opis fizyki mikroskopowej i makroskopowej, i możemy w sensowny sposób mówić o zachowaniu układów nieobserwowanych, czy to są mikroskopowe elektrony, czy makroskopowe wskazówki. Wskazówka aparatu badającego układ kwantowy przyjmuje określone położenie i robi to bardzo szybko, nie dlatego, że jest to zgodne z jakimś postulatem *ad hoc*, lecz w sposób wynikający bezpośrednio z podstawowych równań teorii.

Teoria GRW jest pewnie całkowicie błędna w szczegółach. Na pewno istnieją poważne trudności w dostosowaniu jej do teorii względności, choć są pewne podstawy do optymistycznych przypuszczeń, że można to zrobić [7,8]. Lecz zasadnicza idea GRW ma – jak myślę – sporą szansę, żeby

być słuszną. Przed rokiem 1986 niewielu ludzi wierzyło, że jakiegokolwiek dłubanie w teorii kwantów jest możliwe; wydawało się, że każda zmiana musi tak kompletnie zmienić strukturę teorii, że doprowadzi do zniszczenia już sprawdzonych przewidywań. Teraz już jednak wiemy, że można poczynić stosunkowo drobne zmiany, które nie doprowadzą do sprzeczności z doświadczeniem, i że dokonując ich, możemy rozwiązać głębokie pojęciowe i interpretacyjne problemy teorii kwantów. Wiemy też, że zmodyfikowana teoria prowadzi do nowych przewidywań eksperymentalnych w całkowicie nieoczekiwanym obszarze fizyki. Jej weryfikacja – jeśli w ogóle kiedyś będzie można ją przeprowadzić – nie będzie polegała na głębszym badaniu jądra atomowego lub budowie akceleratorów o większej energii, lecz na utrzymaniu stosunkowo dużych układów pod odpowiednio staranną kontrolą, tak by efekty kwantowe były obserwowalne. Nowa fizyka może nadejść bezpośrednio ze strony złożonych obiektów o dużej skali, czyli z pogranicza, które od dawna uważaliśmy za zamknięte.

4. Fizyka i świadomość

Wybitna seria filmowa Kieślowskiego *Dekalog* zaczyna się historią naukowca informatyka i jego syna, których wspólną przyjemnością jest obliczanie i prognozowanie przy użyciu komputera; pragną w ten sposób nieco lepiej zapanować nad swoim życiem. Przed wyjściem na łyżwy syn otrzymuje ze stacji meteorologicznej prognozy pogody z ostatnich trzech dni i obaj uruchamiają program, który wyznacza grubość lodu na jeziorze, by wywnioskować, że lód z łatwością udźwignie jego ciężar. Lecz na nieszczęście nie biorą pod uwagę ogniska, które bezdomny rozpalil nad jeziorem. Oczywiście, ujmując rzecz dosłownie, popełniają prosty błąd: w prawidłowym obliczeniu należało uwzględnić ognisko, wyznaczyć lokalną temperaturę i wyliczyć rzeczywistą grubość lodu. Metaforycznie, ta historia sugeruje, że błędem jest pominięcie czynnika duchowego nie tylko w życiu, lecz może nawet również w przewidywaniach fizycznych.

Osobiście nie podzielam religijnego światopoglądu Kieślowskiego i z całą pewnością nie zamie-

rzam wszczynać tu religijnej dyskusji. Ale kryje się tu też kwestia naukowa – którą można roztrząsać bez odwoływania się do pozanaukowych systemów wiary – istotna dla naszego rozumienia świata i naszego w nim miejsca, a przy tym, jak myślę, wciąż zdumiewająco zanedbywana. Chciałbym zatem spojrzeć świeżym okiem na problem świadomości w fizyce, przy czym pod pojęciem „świadomość” rozumiem postrzeżenia, wrażenia, myśli i uczucia, które stanowią o naszym doświadczeniu.

Nastąpił ostatnio znaczny wzrost zainteresowania świadomością, lecz fizycy wciąż poświęcają jej stosunkowo mało uwagi. Większość fizyków wierzy, że jeśli świadomość stanowi w ogóle jakiś problem, to jest to problem spoza ich obszaru działania⁴. W końcu, jak uważają, biologia w dużej mierze sprowadza się do chemii, którą można sprowadzić do znanych praw fizyki. Nic w naszej obecnej wiedzy nie sugeruje, że istoty żywe lub działanie mózgu podlegają jakimś innym zasadom, odmiennym od praw fizyki. Wręcz przeciwnie, neurofizjologia, psychologia doświadczalna oraz biologia ewolucyjna i molekularna rozwijają się z wielkim powodzeniem, wykorzystując założenie, że żadnych różnic nie ma. Nie można oczywiście wykluczyć możliwości, że nasze obecne rozumienie okaże się fałszywe, lecz wobec braku powodów, by tak sądzić, fizykom trudno się sensownie wypowiadać na ten temat.

W dużej mierze zgadzam się z tym poglądem. Naprawdę bardzo trudno sobie wyobrazić, w jaki sposób jakakolwiek nowa fizyka związana ze świadomością mogłaby pasować do tego, co już wiemy. Spekulowanie na temat takich idei wydaje się przy braku danych całkowicie bezowocne. Myślę jednak, że jest coś, co możemy powiedzieć. Należy wygłosić pewną podstawową uwagę o związku świadomości z fizyką, nigdy – jak się wydaje – nie wypowiedzianą w sposób jasny, a sugerującą, że nasze obecne rozumienie praktycznie nie może być pełne.

Argumentacja składa się z trzech etapów. Po pierwsze, załóżmy, zgodnie z częstym zwyczajem fizyków, że każde zjawisko przyrodnicze można opisać matematycznie. Świadomość jest zjawiskiem przyrodniczym i przynajmniej niektóre aspekty świadomości – np. liczba symboli,

⁴ Najbardziej znany wyjątek stanowi Penrose: brak miejsca nie pozwala tu na dyskusję jego specyficznych argumentów, zob. [9,10].

które możemy równocześnie utrzymywać w pamięci – są obliczalne. Z drugiej strony, nie mamy teorii matematycznej nawet tych aspektów świadomości. Nie miałyby to znaczenia, gdybyśmy przynajmniej mogli naszkicować sposób, w jaki można byłoby stwierdzenia o świadomości sprowadzić do dobrze rozumianych zjawisk. W końcu nikt się nie martwi, że nie mamy matematycznej teorii trawienia, bo wierzymy, że w zasadzie rozumiemy, jak sformułować wszystkie fizyczne prawa dotyczące procesu trawienia jako twierdzenia o lokalnej gęstości różnych substancji chemicznych w układzie trawiennym i jak wyprowadzić te twierdzenia ze znanych praw fizyki. Nie potrafimy jednak naszkicować takiej drogi w przypadku świadomości: nikt nie wie, jak przełożyć stwierdzenia typu „widzę czerwoną żyrafę” na twierdzenie o stanie fizycznym mówiącego. Żeby dokonać takiego przekładu, musielibyśmy do znanych nam praw fizyki dołączyć teorię świadomości, gdyż z pewnością nie można jej wyprowadzić tylko z tych praw.

Po drugie, zauważmy, że w fizyce nie możemy całkowicie pomijać świadomości, pomimo braku jej teorii. Wszystkie dane, na których są oparte nasze teorie, wywodzą się przecież ze świadomych wrażeń lub świadomych wspomnień o tych wrażeniach. Gdyby nasze idee fizyczne nie zawierały żadnej hipotezy dotyczącej świadomości, nie mielibyśmy sposobu wyprowadzenia żadnych wniosków o danych, a więc i logicznego powodu, by jedną teorię uznać za lepszą od drugiej. Tę trudność zauważono już dość dawno. Optymalne rozwiązanie polega na przywołaniu tzw. zasady paralelizmu psychofizycznego. Żądamy, byśmy przynajmniej potrafili podać zadowalający zarys koncepcji włączenia wiernego przedstawienia zawartości naszego świadomego rozumu do opisu materialnego świata, dostarczanego przez nasze teorie fizyczne, przy założeniu, że dokładnie rozumiemy sposób przedstawienia świadomości.

Ponieważ właściwie nie wiemy, jak przedstawiać świadomość, wydaje się to pustym żądaniem; tak jednak nie jest. Paralelizm psychofizyczny wymaga na przykład, żeby teoria tłumaczyła, w jaki sposób to, co akurat obserwujemy, może być skorelowane z czymś, co zachodzi w naszym mózgu, i że w danej chwili dzieje się w nim wystarczająco

dużo, by reprezentować całe bogactwo naszych świadomych doznań. Są to kryteria trudne do sprecyzowania; mimo to kwestia możliwości ich spełnienia w obrębie danej teorii stanowi użyteczne ograniczenie.

A więc paralelizm psychofizyczny w obecnym ujęciu zmusza nas, byśmy postrzegali świadomość jako zjawisko wtórne (epifenomen), towarzyszące światu materialnemu. Jak to wspaniale wyraził William James⁵ [11]: „Uzucie jest jedynie ubocznym produktem naszych procesów nerwowych, nie mającym na nie wpływu, podobnie jak cień nie może wpływać na kroki wędrowca, któremu towarzyszy. Jak zwykłemu pasażerowi w podróży przez życie, bezwolnemu i nie pytanemu o zdanie, wolno mu pozostać na pokładzie, lecz nie wolno dotykać steru lub operować żaglami”.

Po trzecie, problem z tym wszystkim polega na tym, że – jak zauważa dalej James – jeśli nasza świadomość jest wynikiem darwinowskiej ewolucji, co wydaje się niewątpliwe, to trudno zrozumieć, jak może być epifenomenem. Przedstawmy wyraźniej argument Jamesa: jeśli istnieje prosta matematyczna teoria świadomości lub pewnego obliczalnego aspektu świadomości, podająca precyzyjną wersję zasady paralelizmu psychofizycznego i opisująca dzięki temu jej epifenomenologiczny związek z materialnym światem, to jej wartość ewolucyjna jest fikcją. Jej wpływ na nasze działanie mógłby bowiem polegać jedynie na uświadomieniu nam liczby neuronów w naszych rękach kolanowych lub stanu wskaźnika powabu w naszych mózgach; w dalszym ciągu moglibyśmy równie dobrze odczuwać przyjemność jako ból i na odwrót. A w rzeczywistości – oczywiście – nasza świadomość stara się dostarczyć nam czegoś w rodzaju skróconego raportu informacyjnego z bezpośrednim odniesieniem do szans przetrwania nas i naszych genów; jesteśmy skłonni postrzegać zdarzenia jako przyjemne lub bolesne w zależności od tego, czy są sprzyjające, czy szkodliwe dla tych szans. Choć nie zawsze zdajemy sobie sprawę z wagi żywotnych informacji, a nieustannie rejestrujemy wiele innych, i choć nasze decyzje na pewno nie zawsze są idealnie skorelowane z perspektywą naszych genów, to jednak ogólna orientacja świadomości na przetrwanie jest zbyt silna, by mogła być tylko kwestią przypadku.

⁵ Amerykański filozof i psycholog (1842–1910), współtwórca pragmatyzmu, inicjator psychologii funkcjonalnej (przyp. Red.).

Oczywiście, prawie nikt na serio nie sugeruje, że przypadek rządzi głównymi cechami naszej świadomości. Naturalną hipotezą jest, że skoro wydają się one korzystne dla ewolucji, to zapewne powstały – podobnie jak inne cechy sprzyjające ewolucji – w wyniku procesu naturalnej selekcji. Lecz jeśli świadomość jest rzeczywiście epifenomenem, to takie tłumaczenie nie jest właściwe. Raport informacyjny, który jest nam przedstawiony, lecz nie ma potem żadnego wpływu na nasze zachowanie, nie stanowi najmniejszej korzyści dla ewolucji. Byłoby zapewne dla nas z korzyścią, gdyby w naszych mózgach zachodziły swoiste, wyrafinowane procesy, wykorzystujące dane dostarczane nam przez świadomość, a wykorzystywane do podejmowania zaawansowanych decyzji dotyczących naszego zachowania. Lecz zgodnie z hipotezą epifenomenologiczną nic nie zyskujemy przez to, że jesteśmy świadomi tych szczególnych procesów: jeśli nawet mają przebiegać, to mogą równie dobrze przebiegać w podświadomości, pozwalając nam skupić uwagę na zupełnie innych czynnościach mózgowych albo ją całkiem wyłączyć.

Coś wobec tego jest nie w porządku z naszym obecnym rozumieniem. Mamy w istocie tylko dwie poważne możliwości. Według pierwszej z nich psychofizycznego paralelizmu nie można precyzyjnie sformułować, a świadomości po prostu nie można wytłumaczyć naukowo. Zgodnie z drugą, świadomość jest czymś, co oddziałuje – choćby bardzo subtelnie – z resztą materialnego świata zamiast po prostu biernie z tym światem współistnieć. Gdyby tak było, to moglibyśmy traktować nasze świadomości i nasze mózgi – a ściślej biorąc, składniki naszych mózgów opisywane przez obecnie rozumiałą fizykę – jak dwa sprzężone ze sobą, współoddziałujące układy. To jest oczywiście obraz radykalnie różny od obecnego, ale ma siłę objaśniania. Gdyby był prawdziwy, ułatwiłby zrozumienie, dlaczego dla ewolucji naszej świadomości korzystne byłoby przyjęcie pewnej szczególnej postaci. Gdyby na przykład uświadomienie sobie szczególnej cechy środowiska pomagało przyspieszyć jej umysłową analizę, skupić na niej większą moc procesów mózgowych, szybciej podejmować odpowiednie decyzje lub doprowadzić do zapamiętania dokładniejszego i bardziej wyrafinowanego opisu, to ewolucja na pewno by spowodowała, że świadomość zwracałaby uwagę na rzeczy istotne, a pomijała nieistotne.

Musimy jednak mieć w tej sprawie jasność: propozycja takiego wyjaśnienia oznacza przyjęcie, że obecne prawa fizyki nie opisują poprawnie działań istot świadomych. Nie wynika stąd jednak, że świadome działania nie mogą być opisane przez jakieś prawa. Wręcz przeciwnie, gdyby tak właśnie było, to mielibyśmy do czynienia z niepojętą tajemnicą, a skoro już mamy zaakceptować niepojętą tajemnicę związaną ze świadomością, to czemu taką, która wymaga modyfikacji praw fizyki, a nie taką, która tych praw nie kwestionuje? Z naukowego punktu widzenia interesującą hipotezą o maksymalnej sile tłumaczenia jest przyjąć, że działania nasze i innych świadomych istot nie są zadowolająco opisywane obecnie znanymi prawami, lecz mogłyby być opisane przez przyszłe prawa, obejmujące właściwą teorię świadomości.

To oczywiście nie musi być prawda. Być może świadomość na zawsze pozostanie tajemnicą. Trudne jednak wydaje się przekonywujące uzasadnienie jakiegokolwiek podziału *a priori* nierozwiązanych zagadnień w fizyce na rozwiązywalne i nierozwiązywalne. Powinniśmy przynajmniej rozważyć skutki maksymalnie ambitnego podejścia. Na ogół zakładamy, że poza świadomością wszystko w przyrodzie podlega pełnemu opisowi matematycznemu. Dlatego na przykład poszukujemy sposobu połączenia teorii kwantów i grawitacji, pomimo widocznych trudności tego zadania. Powinniśmy się zgodzić, że jest rzeczą co najmniej możliwą, iż świadomość też podlega takiemu opisowi. A to zmusza nas do zaakceptowania wynikającego stąd wniosku, iż istnieją rozsądne przesłanki, by wierzyć, że w końcu zdamy sobie sprawę z potrzeby nowych, dynamicznych praw, mimo że nic z naszej pozostałej wiedzy za nią nie przemawia.

I jeszcze ostatnia uwaga. W tym rozumowaniu nic nie opiera się na szczególnych cechach teorii kwantów, ani na pytaniach, jakie ona stawia. To rozumowanie można zastosować równie dobrze do fizyki newtonowskiej. Możliwe, że najgłębsze problemy teorii kwantów i świadomości są powiązane, wydaje mi się jednak, że nie mamy powodu, by tak sądzić. Wynika stąd, że każdy, kto skłania się do poglądów tu przedstawionych, musi przyznać, że w ostatnich 150 latach głębokie problemy fizyczne były na ogół pomijane. Pozwólcie zatem, że zwrócę na nie uwagę.

Nie ma silniejszego i bardziej respektownego naukowego tabu niż opór przeciw wnikaniu – choćby na próbę – w świadomość. James cytuje w 1879 r. „wielce inteligentnego biologa”, który mówi: „Najwyższy czas, by ludzie nauki zaprotestowali przeciw dopuszczaniu do badań naukowych czegoś takiego jak świadomość”.

Ludzie nauki z całą pewnością protestowali przeciw temu często i głośno w ciągu ostatnich 120 lat. Czy jednak te protesty miały znaczną wagę intelektualną?

Ludowa mądrość, przeciwna możliwości badań naukowych świadomości, wydaje się zasażać na zamieszaniu wlokącym się za naukowcami jak kac po niezwykle zgubnych skutkach logicznego pozytywizmu z początku XX wieku. Hipotezy o świadomości są uważane powszechnie za *ipso facto* nienaukowe, gdyż świadomość jest dziś niewymierna, a jej ewentualny wpływ jest dziś niewykrywalny. Opuśćcie słowo „dziś”, a problem będzie postawiony właściwie; zostawcie je, a stanie się trywialny.

Choć logiczny pozytywizm jest winny, to jest on jedynie ostatnim bojownikiem tej sprawy. Wydaje się, że problem jest zakorzeniony dużo głębiej w kulturze naukowej. Schrödinger [1] opisał to zjawisko jako „[...] mur oddzielający »dwie drogi«, drogę serca i drogę czystego rozumu. Patrzymy wzdluż tego muru: czy nie możemy go obalić, czy zawsze tam był? Gdy śledzimy, jak wiję się wokoło pagórków i dolin krainy historii, oglądamy jej daleki, daleki zakątek, odległy o ponad 2000 lat, gdzie mur obniża się i zanika, a droga jeszcze się nie rozgałęziła, lecz była tylko jedna. Niektórzy z nas uważają, że warto odbyć spacer w przeszłość i zobaczyć, czego można się nauczyć z tej kuszącej, pierwotnej jedności.

Porzucając metaforę, w moim przekonaniu filozofia starożytnych Greków jest dziś dla nas atrakcyjna, bo nigdy przedtem i potem, nigdzie na świecie, niczego podobnego do ich zaawansowanego i wyartykułowanego systemu wiedzy nie stworzono bez owego fatalnego podziału, który zaważdał nam przez całe wieki i stał się nie do zniesienia w obecnych czasach”.

To jasne, że renesans zainteresowania grecką filozofią, który zauważył Schrödinger, nie doprowadził od razu do rewolucji, na którą liczył. Lecz nasza ciągła fascynacja świadomością jest widoczna na półkach księgarskich z książkami popu-

laryzującymi naukę i filozofię. Wygląda na to, że rozbicie muru i zbudowanie światopoglądu kompletnego pozostanie zadaniem dla trzeciego milenium. Trudno o większe i bardziej fascynujące wyzwanie.

Nie ma też wielu wyzwań bardziej koniecznych dla naszego dobrobytu na dalszą metę. Nauka uczyniła nam znacznie więcej dobra niż zła, i psychologicznie, i materialnie. Lecz nasze wielkie postępy w rozumieniu przyrody zostały też wykorzystane do podtrzymania światopoglądu, w którym liczy się tylko to, co możemy teraz zmierzyć, w którym dominuje to, co materialne i zewnętrzne, w którym obiektywizujemy i redukujemy siebie i wszystkich innych, w którym istnieje niebezpieczeństwo, że naszą psychę i naszą kulturę, mimo całego ich bogactwa, będziemy widzieć wyłącznie jako wyostrzony przez ewolucję wyraz zbioru surowych nakazów konkurencji.

Wyrażając to bardziej zwięźle, istnieje niebezpieczeństwo, przedstawione przez Václava Havla w niedawnym eseju [12], że człowiek jako obserwator wyalienuje się całkowicie od siebie jako istoty. Havel sugeruje dalej, że obiecujące objawy bardziej humanistycznego i mniej schizofrenicznego światopoglądu można odnaleźć w tym, co – jak sugeruje – można nazwać nauką postmodernistyczną, w postaci hipotezy Gai i zasady antropicznej.

Nie zgadzam się z tym: trudno wyłuskać dokładną naukową treść tych idei i jak mi się wydaje, nie są one pomocne. Myślę, że mamy już jednak gotową odpowiedź. Alienacja jest zjawiskiem wtórnym, stworzonym przez błędną wiarę, że wszystko, co obecnie fizyka opisuje, jest wszystkim, co istnieje. Fizyka jednak milczy o tym wszystkim, co cenimy w naszym humanizmie. A jeśli idzie o nasze zrozumienie ludzkiej świadomości, to choć nauczyliśmy się dość dużo o sobie, nie dowiedzieliśmy się niczego pewnego, co by kwestionowało czy delegalizowało ludzką perspektywę. W tym sensie nie zmieniło się nic z rzeczy najważniejszych.

5. Postscriptum

Wszystko, co tu powiedziano o przewidywaniach przyszłości nauki, to zabawa w kości. Jeśli, jak argumentowałem, fizyka jest jeszcze daleka od zupełności, to najbardziej możemy być

pewni tego, że czekają nas większe niespodzianki niż możemy sobie wyobrazić. Jednak najbardziej prawdopodobne wydaje mi się przewidywanie, że wśród autorów tomu z 2000 r. będą nie tylko ludzie. Być może nasi przyszli pozaziemscy lub mechaniczni koledzy znajdą jakąś rozrywkę w naszych wysiłkach. Naprawdę mam taką nadzieję.

Tłumaczyła Zofia Białynicka-Birula
Instytut Fizyki PAN
oraz Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Literatura

- [1] E. Schrödinger, *Nature and the Greeks* (Cambridge University Press, Cambridge 1954).
- [2] J.S. Bell, *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics: Collected Papers on Quantum Philosophy* (Cambridge University Press, Cambridge 1987).
- [3] R.P. Feynman, *The Character of Physical Law* (British Broadcasting Corporation, London 1965; Addison Wesley, Reading 1965); przekład polski: *Charakter praw fizycznych* (Prószyński i S-ka, Warszawa 2000).
- [4] C.P. Snow, *The Search* (Victor Gollancz, London 1934).
- [5] L.D. Landau, E.M. Lifshitz, *Quantum Mechanics* (Pergamon Press, Oxford 1974); przekład polski: *Mechanika kwantowa. Teoria nierelatywistyczna*, wyd. IV (PWN, Warszawa 1986).
- [6] G. Ghirardi, A. Rimini, T. Weber, „Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems”, *Phys. Rev. D* **34**, 470 (1986).
- [7] P. Pearle, „Relativistic collapse model with tachyonic features”, *Phys. Rev. A* **59**, 80 (1999).
- [8] A. Kent, „Quantum histories”, *Physica Scr.* **T76**, 78 (1998).
- [9] R. Penrose, *The Emperor’s New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics* (Oxford University Press, Oxford 1989); przekład polski: *Nowy umysł cesarza* (PWN, Warszawa 1995).
- [10] R. Penrose, *Shadows of the Mind: a Search for the Missing Science of Consciousness* (Oxford University Press, Oxford 1994).
- [11] W. James, „Are we automata?”, *Mind* **13**, 1 (1879).
- [12] V. Havel, w: *The Fontana Postmodernism Reader*, red. W. Truett Anderson (Fontana, London 1996).

RÓŻNE

Fizyka w Polsce w roku 2000*

Kacper Zalewski

Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński oraz Instytut Fizyki Jądrowej, Kraków

Physics in Poland AD 2000

Motto:

Jeślim co pominął, albo błędnie napisał,
poprawcie na miłość boską, a mnie nie przeklinajcie

Nestor (XI wiek)

1. Wprowadzenie

Ten raport został przygotowany z inicjatywy prof. Ryszarda Sosnowskiego dla Komitetu Fizyki PAN. Wybór materiału podyktowany był czasem przeznaczonym na prezentację (45 minut) oraz tym, że w audytorium zasiadali fizycy mający wpływ na politykę naukową w zakresie fizyki w Polsce i wyrobione zdanie w większości spraw, które zamierzałem poruszyć. Aby się zmieścić w czasie, ograniczyłem się do trzech zagadnień: 1) kadra od stopnia doktora wzwyż, 2) uprawiana tematyka naukowa i poziom uzyskiwanych wyników, 3) niektóre problemy polityki naukowej w zakresie fizyki. Ten wybór materiału pomija szereg ważnych zagadnień, jak kształcenie w dziedzinie fizyki od początków do doktoratu wraz z kształceniem podyplomowym, baza materialna jednostek prowadzących badania w obszarze fizyki i ich współpraca międzynarodowa, popularyzacja i promocja fizyki, fizycy w zawodach innych niż praca naukowa w zakresie fizyki. Każde z tych zagadnień, a lista nie jest pełna, mogłoby być przedmiotem odrębnego raportu.

2. Kadra

2.1. Liczebność

Zestawię teraz liczby profesorów tytularnych, doktorów habilitowanych nie będących profesorami tytularnymi i doktorów bez habilitacji. Żeby te liczby znaleźć, trzeba je najpierw zdefiniować. Uwzględniam tylko pracowników jednostek, które zwracają się do Komitetu Badań Naukowych o finansowanie ich działalności statutowej jako jednostki prowadzące badania w dziedzinie fizyki. Takich jednostek było ostatnio 46, rozmieszczonych w 20 ośrodkach. Przez ośrodek, poza dwoma wyjątkami, rozumiem miasto, będą więc pisał o ośrodku warszawskim, ośrodku opolskim itd. Wyjątkami są Gdańsk, który oznacza Gdańsk i Gdynię, oraz Śląsk, który oznacza Gliwice i Katowice. Te niezbyt poprawne geograficznie nazwy są utworzone od uczelni gdańskich i Uniwersytetu Śląskiego, które są czołowymi jednostkami w tych ośrodkach. Przyjęte założenie jest niedoskonałe. Wliczeni są chemicy, geofizycy, technicy itd. pracujący w wybranych jednostkach, a pominięci są fizycy pracujący w jednostkach prowadzących ba-

*Referat przedstawiony na posiedzeniu Komitetu Fizyki PAN w dniu 25 października 2000 r. Ilustracje znajdują się na stronie internetowej Sekcji Fizyki Teoretycznej Komitetu Fizyki PAN: www.ift.uni.wroc.pl/KFPANSF. stronawbudowie.

dania w dziedzinie chemii, geofizyki, techniki itd. Ta sytuacja jest typowa. Na ogół nie da się zdefiniować wielkości tak, żeby można je było bez wielkiego wysiłku wyznaczyć z dostępnych danych i żeby odpowiadały dokładnie temu, co chcemy określić. Używając terminologii z naszej dziedziny, prawie wszystkie liczby, które w tym raporcie podam, są obciążone błędem systematycznym i powinny być interpretowane tylko jako orientacyjne.

Przy powyższej definicji wziąłem potrzebne mi liczby z *Informatora Nauki Polskiej* [1]. Dla niektórych jednostek już z nazwy wynika, że nie zajmują się wyłącznie fizyką. Przykładem może być Instytut Matematyki i Fizyki Politechniki Białostockiej. W takich przypadkach sprawdzałem podług listy imiennej podawanej w *Informatorze*, czym zajmują się poszczególni profesorowie i doktorzy habilitowani, i odrzucałem tych, którzy nie zajmują się fizyką. Dla doktorów nie ma w *Informatorze* takich list, więc dzieliłem ich na fizyków i niefizyków w tych samych proporcjach, co profesorów i doktorów habilitowanych danej jednostki. Nie stosowałem tej poprawki do jednostek, których nazwa nie wskazuje na obecność niefizyków. Wiadomo na przykład, że w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych jest silna grupa profesorów chemików, ale zgodnie z przyjętą definicją liczyłem ich jako fizyków. Do liczby profesorów zastosowałem jeszcze trzy inne poprawki, bo profesorowie będą szczególnie ważni w dalszej dyskusji. Dwudziestu czterech jest wykazanych jako pracujący w dwu jednostkach każdy. Aby ich nie liczyć podwójnie, dałem każdemu z nich w każdej z jednostek, w których pracuje, wagę 0,5. Doliczyłem profesorów, którzy uzyskali tytuły profesorów fizyki między datą zamknięcia listy przez redaktorów *Informatora* i końcem roku 1999, a odliczyłem profesorów, o których wiem, że już nie pracują. Listę nominacji wziąłem z czasopisma *Sprawy Nauki*. Natomiast informacje o profesorach, którzy przestali pracować po zamknięciu listy w *Informatorze*, miałem niekompletne. Dlatego w stosunku do przyjętej definicji liczba profesorów na mojej liście jest nieco zawyżona.

Stosując powyższą metodę znalazłem następujące liczby: 435 profesorów tytularnych, 516 doktorów habilitowanych i 1434 doktorów. Porównując liczby z ostatniego wydania *Informatora* (bez dodatkowych poprawek dla liczby profeso-

rów) z analogicznymi liczbami z wcześniejszego o dwa lata poprzedniego wydania [1] stwierdziłem, że przybyło 55 profesorów i 38 doktorów habilitowanych, a ubyło 26 doktorów. I tu jest pierwszy z problemów, na które chciałbym zwrócić uwagę – słynny problem odwróconej piramidy. Profesorów przybywa prędzej niż doktorów habilitowanych, a doktorów ubywa. Zmierzamy ku armii złożonej z samych generałów, a takie armie nie biją się dobrze.

Następnie sprawdziłem, jak liczby pracowników poszczególnych kategorii dzielą się między wyższe uczelnie i jednostki pozauczelniane. Jednostki pozauczelniane to są instytuty Polskiej Akademii Nauk i jednostki badawczo-rozwojowe. Mamy trzy jednostki badawczo-rozwojowe. Pod względem rodzaju prowadzonych w nich badań naukowych nie różnią się one zbyt od instytutów Polskiej Akademii Nauk. Dwie największe z nich są w trakcie przechodzenia do PAN-u. Wobec tego w dalszym ciągu nie będę rozróżniał rodzajów jednostek pozauczelnianych. Spośród profesorów 310,5 pracuje w uczelniach i 124,5 w jednostkach pozauczelnianych. Dla doktorów habilitowanych te liczby wynoszą odpowiednio 399 i 117, a dla doktorów 1002 i 432. Tak więc w jednostkach pozauczelnianych pracuje 29% profesorów, 23% doktorów habilitowanych i 30% doktorów. I tu chciałbym zwrócić uwagę na kolejny problem: jaka część środków finansowych powinna być przeznaczana dla jednostek uczelnianych, a jaka dla pozauczelnianych? Przytoczę dwa skrajne poglądy. Słyszysz się, że uczelnie, jak sama nazwa wskazuje, powinny się zajmować uczeniem, a poważne problemy naukowe powinny być badane przez ludzi, którzy mają na to czas, czyli pracują w jednostkach pozauczelnianych. Oczywiście muszą w tym celu otrzymywać najlepszą aparaturę i lwią część środków przeznaczanych na naukę. Z drugiej strony słyszysz się, że z punktu widzenia budżetu nauki, do którego, jak wiadomo, nie wchodzi pieniądze przydzielane z budżetu państwa Ministerstwu Edukacji Narodowej, praca zrobiona w jednostce pozauczelnianej kosztuje kilkakrotnie drożej niż taka sama praca zrobiona na uczelni – zależnie od tego, jak się szacuje, trzy do siedmiu razy drożej. Wynika to z faktu, że uczelnie są w znacznej mierze utrzymywane przez MEN, a to jest inna kieszeń. Wobec tego krytycy jednostek pozauczelnianych twierdzą, że ich

utrzymywanie w sytuacji, gdy pieniędzy na naukę brakuje, jest rozrzutnością, na którą nas nie stać. Te dwa stanowiska są tu przejawskrawione, ale nie tak bardzo, jak mogłoby się wydawać komuś, kto nie bierze udziału w dyskusjach na temat „uczelnie a instytuty pozauczelniane”. Nie będę próbował rozwiązać tego problemu, ale sformułuję dwie uwagi, które wydają mi się najprawdopodobniej trafne. Na krótką metę należy pamiętać, że w jednostkach pozauczelnianych pracuje ok. 30% polskich fizyków, w tym niektórzy z najlepszych. Wobec tego działanie na szkodę takich jednostek jest działaniem na szkodę polskiej fizyki. Na długą metę jednostki pozauczelniane, które nie znajdują sobie jakiejś racji bytu, zginą lub zmarnieją. Podaż zdolnych młodych ludzi, którzy chcieliby pracować naukowo, maleje. Zwykle w kontakt z nimi wchodzi najpierw uczelnie. Wskutek tego mają więcej szans na ich zatrudnienie. Kiedyś jednostki pozauczelniane były bogatsze i bardziej tolerancyjne, jeśli chodzi o poglądy polityczne pracowników, ale to już przestaje działać i jednostki pozauczelniane, które chcą przeżyć, muszą wymyślić coś nowego, aby przyciągnąć tych nielicznych młodych ludzi.

2.2. Rozmieszczenie

W tabeli 1 podany jest podział profesorów tytularnych, doktorów habilitowanych nie będących profesorami tytularnymi i doktorów bez habilitacji według ośrodków. W tym raporcie liczba profesorów w danej grupie będzie interpretowana jako wskaźnik siły czy efektywnej liczebności tej grupy. Nie oznacza to oczywiście, że profesorowie wykonują całą pracę lub najcenniejszą jej część. Wiele znakomitych wyników uzyskują ludzie bez tego tytułu, ale silna grupa powinna mieć wyniki uzasadniające wystąpienia o tytuły profesorskie, czy choćby przyciągać profesorów, więc liczba profesorów jako wskaźnik siły grupy wydaje się rozsądna. Z danych w tabeli widać, że gdyby zamiast liczby profesorów wziąć jako określenie siły ośrodka jakąś średnią ważoną z liczb profesorów, doktorów habilitowanych i doktorów, to jakościowo wyniki byłyby bardzo podobne. Jak widać z tych danych, mamy dwa bardzo duże ośrodki, Warszawę i Kraków, z wyraźną przewagą Warszawy. Dwa ośrodki, tj. Poznań i Wrocław są duże. Dawniej Poznań był znacznie słabszy od Wrocławia [3], ale obecnie różnica nie jest już zna-

cząca. Dalej, zależnie od uznania, można wyróżnić cztery, pięć, czy sześć ośrodków średniej wielkości i pozostaje dziesięć lub nieco więcej ośrodków małych.

Tabela 1. Liczby profesorów tytularnych (P), doktorów habilitowanych (H) i doktorów (D) w poszczególnych ośrodkach.

Ośrodek	P	H	D
Warszawa	121	149	341
Kraków	104	79	321
Wrocław	51,5	58	181
Poznań	51	56	142
Lublin	19	13	58
Śląsk	18,5	29	64
Toruń	17	22	28
Gdańsk	14,5	18	70
Łódź	12,5	21	82
Rzeszów	6	5	13
Białystok	3,5	11	29
Częstochowa	3,5	7	16
Opole	3	8	18
Radom	2	5	13
Szczecin	2	10	25
Zielona Góra	2	6	1
Kielce	1,5	8	7
Słupsk	1,5	7	5
Bydgoszcz	1	4	9
Olsztyn	0	2	5

Ważnym problemem do dyskusji jest, jak środki finansowe powinny być dzielone między większe i mniejsze ośrodki. Znów podam poglądy skrajne, nie starając się ich pogodzić. Słyszysz się, że suma zainwestowana w większy ośrodek przynosi więcej, licząc publikacje w dobrych czasopiśmiech, niż taka sama suma zainwestowana w ośrodek mniejszy. W większym ośrodku jest na ogół lepsza aparatura, bogatsza biblioteka, szersze kontakty międzynarodowe i łatwiej jest o pomocną dyskusję czy dobrą radę. Wnioskiem jest tzw. zasada św. Mateusza: „Każdemu bowiem, kto ma, będzie dodane, tak że nadmiar mieć będzie. Temu zaś, kto nie ma, zabiorą nawet to, co ma” (Mt 25,29). Z drugiej strony słyszysz się, że wystarczy spojrzeć na mapę Polski, by stwierdzić, że na większości obszaru kraju promocja fizyki, wyławianie talentów, przekonywanie podatnika, że uprawianie fizyki nie jest marnowaniem pieniędzy

itd. jest zadaniem ośrodków mniejszych. Większe ośrodki i tak sobie poradzą. To o te mniejsze trzeba szczególnie dbać, jeśli nie chcemy podcinać gałęzi, na której siedzimy.

W tabeli 2 przedstawiono procentowe dane dotyczące liczebności profesorów według ośrodków. Widać, że w ośrodku warszawskim pracuje

Tabela 2. Podział procentowy profesorów pomiędzy ośrodki. Tabela obejmuje 435 profesorów.

Ośrodek	Procent profesorów
Warszawa	27,8
Kraków	23,9
Wrocław	11,8
Poznań	11,7
Lublin	4,4
Śląsk	4,3
Toruń	3,9
Gdańsk	3,3
Łódź	2,9
Rzeszów	1,4
Inne	4,6

blisko 30% wszystkich profesorów, w Warszawie i Krakowie łącznie ok. połowy, a w czterech największych ośrodkach ok. trzech czwartych całkowitej liczby profesorów. Wobec tego, że liczby, które podaję w tym raporcie, są obciążone sporym błędem systematycznym, podawanie procentów z dokładnością do pierwszej cyfry za przecinkiem może się wydawać nieuzasadnione. Zdecydowałem się na to tylko dlatego, żeby znając całkowitą liczbę profesorów (podaną w nagłówku tabeli) można było przejść od procentów do liczb profesorów, gdyby to kogoś interesowało. Dla porównywania liczebności grup zestawienia procentowe są bardziej przejrzyste niż liczby bezwzględne, więc będę ich często używał, podając jednak zawsze w nagłówku normalizację, żeby w razie potrzeby dało się łatwo przejść do liczb bezwzględnych. Tabela 3 przedstawia jeszcze inną próbę sparametryzowania siły ośrodków – tym razem za pomocą liczb publikacji z roku 1997 odnotowanych przez ISI (amerykański Institute for Scientific Information) na tzw. liście filadelfijskiej. Dane pochodzą ze sprawozdań przysłanych przez jednostki do KBN-u w celu ustalenia ich rankingu. Widać, że jakościowo wyniki znów

są podobne. Ilościowo udział Warszawy wzrasta do 37%, głównie kosztem jednostek średnich i małych. Ich udział w polskiej fizyce wynosił 24% przy liczeniu według liczby profesorów, a spadł do 19% przy liczeniu według liczby publikacji filadelfijskich.

Tabela 3. Podział publikacji „filadelfijskich” z roku 1997 między ośrodki. Tabela obejmuje 2453 publikacje.

Ośrodek	Procent publikacji filadelfijskich
Warszawa	36,9
Kraków	21,0
Wrocław	12,5
Poznań	10,8
Śląsk	4,0
Toruń	2,5
Lublin	2,5
Gdańsk	2,4
Łódź	2,3
Białystok	1,1
Rzeszów	1,1
Inne	2,9

2.3. Dynamika

Przez dynamikę rozumiem prędkość dochodzenia i ubywania ludzi z grup diskutowanych w poprzednim punkcie. W tabeli 4 przedstawiona jest dla każdego ośrodka liczba nadanych w latach 1995–98 tytułów profesorskich oraz stopni naukowych doktora habilitowanego i doktora. Dane pochodzą ze sprawozdań przysłanych przez jednostki do KBN-u. Znow należy pamiętać o błędzie systematycznym. Na przykład, dane te różnią się nieco od danych z MEN-u, ale dla naszych celów takie różnice są bez większego znaczenia. Znow dominują Warszawa i Kraków, przy czym w Warszawie było najwięcej habilitacji, a w Krakowie najwięcej doktoratów. Z pozostałych ośrodków największe przyrosty zanotowały Poznań i Wrocław. Znow mniej więcej te same jednostki można zakwalifikować jako średnie. Ciekawsze są liczby zsumowane.

W ciągu tych czterech lat nadano 97 tytułów profesorskich, szczęśliwie zakończyło się 150 habilitacji i 363 przewody doktorskie. Żeby ocenić, co z tego wynika, zastosowałem prosty model. Jest on bardzo uproszczony, ale jako fizycy jesteśmy

przyzwyczajeni do wyciągania użytecznych wniosków nawet z takich modeli. Zaczniemy od profesorów. Jak pokażę dalej, tytuł profesora fizyki uzyskuje się średnio w 52. roku życia. Zakładając, że profesor po nominacji pracuje na etacie jeszcze średnio przez 18 lat i że proces jest stacjonarny, tak że co roku $1/18$ całkowitej liczby profesorów odchodzi, $97/4$ profesorów jest nominowanych, a całkowita liczba profesorów nie ulega zmianie, otrzymujemy liczbę $97 \times 18/4 = 437$ czynnych profesorów, prawie równą liczbie 435 profesorów czynnych obecnie. Można więc przewidywać, że szybki wzrost tej liczby, zanotowany w latach 1995–98, nie będzie trwał dalej. Dokładniejszą analizę dynamiki liczby profesorów przeprowadzę później na podstawie histogramu z rys. 1.

Tabela 4. Podział między ośrodki liczb nadanych tytułów profesora (P) oraz stopni naukowych doktora habilitowanego (H) i doktora (D). Dane dla lat 1995–98.

Ośrodek	P	H	D
Warszawa	23	39	89
Kraków	24	27	113
Wrocław	8	13	40
Poznań	9	13	33
Lublin	9	5	7
Śląsk	6	17	23
Toruń	6	5	10
Gdańsk	5	9	6
Łódź	4	8	20
Rzeszów	1	1	5
Białystok	1	2	3
Częstochowa	0	0	2
Opole	0	2	5
Radom	0	0	1
Szczecin	0	5	2
Zielona Góra	1	0	0
Kielce	0	2	2
Słupsk	0	1	0
Bydgoszcz	0	1	1
Olsztyn	0	0	1
Łącznie	97	150	363

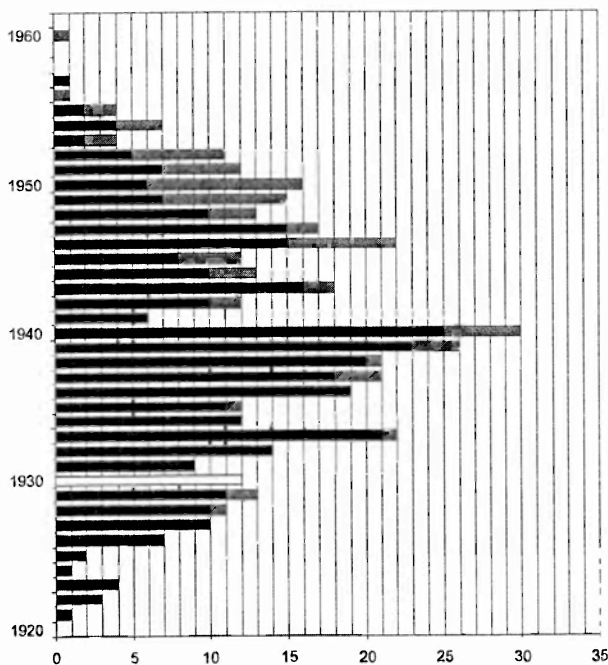
Na nowo promowanych doktorów czekało nieco mniej niż 150 miejsc opróżnionych przez doktorów, którzy się habilitowali. Niektórzy nowi doktorzy weszli na miejsce innych doktorów, którzy z takich czy innych przyczyn odeszli nie ro-

biać habilitacji, ale tego procesu nie badam. Netto w ciągu tych czterech lat odeszło z jednostek prowadzących badania w dziedzinie fizyki ponad 213 doktorów. Licząc, że taki doktor będzie pracował średnio przez 35 lat, mielibyśmy w stanie stacjonarnym ok. 2000 doktorów fizyki poza rozważanymi tu jednostkami. Byłoby ciekawe zbadać, co oni robią, czy możemy im w czymś pomóc oraz czy oni mogą nam w czymś pomóc.

Doktorów habilitowanych dzielę na dwie grupy: tych, którzy zostaną kiedyś profesorami, i tych, którzy profesorami nie zostaną nigdy. Zakładając, że w pierwszej grupie czas między habilitacją i uzyskaniem tytułu profesora wynosi średnio 12 lat, co jest dość optymistyczne, otrzymujemy w stanie stacjonarnym $97 \times 12/4 = 291$ doktorów habilitowanych tej grupy. Zakładając, że doktor, który nie zostaje profesorem, po habilitacji pracuje na etacie jeszcze 25 lat, otrzymujemy $(150 - 97) \times 25/4 = 331$ doktorów habilitowanych drugiej grupy. Łącznie daje to 622 doktorów habilitowanych, a więc znacznie więcej niż obecna liczba 516. Przy zachowaniu obecnych wymagań przewidywany przyrost dotyczyłby doktorów habilitowanych, którzy nigdy nie zostaną profesorami. Można się spodziewać, że ta grupa będzie wywierać silny nacisk, żeby obniżyć poziom wymagań stawianych przy nadawaniu tytułu profesora. Nacisk zapewne okaże się częściowo skuteczny, co doprowadzi do wzrostu liczby profesorów.

Na rysunku 1 podany jest rozkład wieku, a ściślej mówiąc lat urodzenia uczonych mających tytuły profesorów fizyki i pracujących obecnie na etatach. Nieco jaśniejszy słupek 1930 oznacza rocznik, który w tym roku przechodzi na emeryturę. Słupki i jasnoszare fragmenty słupków oznaczają profesorów nominowanych w latach 1997–99. Grupa profesorów powyżej wieku emerytalnego zawiera 52 osoby. Wobec szybkiego napływu nowych profesorów i trudności finansowych jednostek jest prawdopodobne, że ta grupa będzie szybko zanikać. Możliwe, że w znacznej mierze już zanikła – jak wspominałem, moje dane o odchodzeniu profesorów są niekompletne. Średni wiek przy nominacji wynosi ok. 52 lat. Jeżeli założymy, że w ciągu najbliższych kilku lat profesorem w wieku 70 lat (czy nawet 71–72 lat) będą odchodzić z etatów, to co roku będzie ubywało średnio ok. 15 profesorów. W tym samym czasie

można się spodziewać ok. 25 nominacji rocznie, więc rocznie będzie przybywać ok. 10 profesorów w wieku przedemerytalnym. Dla całkowitej liczby profesorów na ten powolny wzrost nakładał się będzie zapewne szybki, ale niezbyt długotrwały spadek liczby profesorów w wieku ponademerytalnym. Za kilka lat przyjdą liczniejsze roczniki profesorskie – trzeba tu uwzględnić nie tylko obecnych profesorów, ale i tych, którzy otrzymają tytuł do tego czasu – i wzrost się zatrzyma. Potem być może liczba profesorów zacznie spadać.



Rys. 1. Histogram dat urodzenia czynnych obecnie profesorów fizyki.

Raz jeszcze podkreślam, że opisany tu model jest bardzo uproszczony i ma za zadanie ułatwienie oswajania się z liczbami, a nie dostarczenie wiarygodnych ilościowo przewidywań.

3. Czasopisma

Zanim przejdziemy do szczegółowych tematów i wyników, warto może podać trochę danych o polskich czasopismach naukowych publikujących prace z zakresu fizyki. Trzy polskie czasopisma, *Acta Physica Polonica A*, *Acta Physica Polonica B* i *Optica Applicata* są już od dawna na liście filadelfijskiej ISI. Dwa następne – *Nukleonika* i *Reports on Mathematical Physics* – dołączyły do nich w roku 1999. Słyszałem, że redakcja *Molecular Physics Reports* też prowadzi starania w tym

kierunku. Dla czasopism, które już od paru lat są na liście filadelfijskiej, publikowane są parametry, które mają ułatwić ocenę pozycji czasopisma w porównaniu z innymi. Na przykład, *Acta Physica Polonica B* było w roku 1997 cytowane 560 razy i opublikowało 184 prace. Stosunek tych liczb daje, podobnie jak słynniejszy „impact factor”, pojęcie o tym, jak cytowane są prace z danego czasopisma. Z podanych liczb dla *Acta Physica Polonica B* otrzymujemy $560/184 = 3,0$. Podobnie dla *Acta Physica Polonica A* i dla *Optica Applicata* otrzymujemy odpowiednio $763/385 = 2,0$ i $38/20 = 1,9$. Można też wyciągać wnioski z pozycji, które polskie czasopisma zajmują na listach ISI. *Acta Physica Polonica B* zajmuje 41. pozycję na liście 63 czasopism określonych przez ISI jako fizyczne. *Acta Physica Polonica A* zajmuje 52. pozycję na tej samej liście. *Optica Applicata* zajmuje 41. pozycję na liście 45 czasopism zaliczonych do optyki. ISI zestawia różne listy. Powyższe dane pochodzą z listy „SCI journal citation reports”. Kolejność czasopism na listach tematycznych jest tam ustalana według „impact factorów”.

Często się słyszy, że polskie czasopisma należy popierać. Mniej jasne jest, co to znaczy. Czy należy popierać wszystkie, czy tylko najlepsze, a jeśli tylko najlepsze, to które? Na czym to poparcie ma polegać: czy tylko na dofinansowaniu, czy też na posyłaniu im większej liczby prac do druku, czy może na zrobieniu wysiłku, żeby je częściej cytować? Ta ostatnia możliwość ma niewątpliwie największy stosunek spodziewanych korzyści do ceny. Wybranie właściwej polityki w stosunku do polskich czasopism naukowych jest kolejnym problemem, który proponowałbym poddać pod dyskusję.

4. Tematyka i wyniki

4.1. Grupy tematyczne

Dzieląc badania z zakresu fizyki na grupy tematyczne nie próbowałem wynaleźć koła, tylko przejąłem z niewielkimi zmianami klasyfikację używaną od lat przez *Postępy Fizyki* przy omawianiu grantów przyznawanych przez KBN. Podział jest następujący.

1. Fizyka teoretyczna,
2. Fizyka cząstek i jądrowa,
3. Fizyka atomów i niedużych cząsteczek, optyka kwantowa,

4. Fizyka materii skondensowanej:
 - a) Kryształy, polimery, ciecze, ciekłe kryształy i duże cząsteczki,
 - b) Półprzewodniki i izolatory,
 - c) Metale, magnetyki i nadprzewodniki,

5. Inne.

Najpoważniejszą zmianą w stosunku do klasyfikacji z *Postępów Fizyki* jest tu połączenie fizyki cząstek i fizyki jądrowej w jeden dział. Tak dużo prac robi się obecnie na pograniczu między fizyką cząstek i fizyką jądrową, że rozróżnienie tych działów staje się wysoce subiektywne.

Powyższy podział łatwo jest skrytykować. Można twierdzić, że jakieś ważne działy nie są tu wydzielone, a powinny być, lub że zagadnienia są pogrupowane w sposób nienaturalny. Można wskazywać, że podział jest nieostry. Na przykład, pracę o adsorbpcji helu na powierzchni metali (była taka!) można uważać za pracę o helu i zaliczyć do działu 3, albo za pracę o metalach i zaliczyć do działu 4c, albo za pracę o zjawiskach powierzchniowych i zaliczyć do działu 5. To wszystko jest prawda i zwiększa błąd systematyczny, o którym wspominałem, ale podobne zarzuty można sformułować dla każdej klasyfikacji. Zaletą tej jest, że jest bliska klasyfikacji używanej od lat z powodzeniem w *Postęпах Fizyki* i że wprowadza podziały, ale nie na tyle działów, żebym ich nie zdążył omówić. Jakiś podział jest niezbędny, jeśli mamy dyskutować ważny problem: czy powinniśmy prowadzić jakąś politykę naukową – czy potrafimy się zgodzić, że jakieś działy zasługują na szczególne poparcie, może kosztem innych.

W tabeli 5 przedstawiony jest rozkład liczby profesorów pomiędzy poszczególne działy. Robiąc ten podział korzystałem głównie z bazy danych, którą przy pomocy wielu koleżanek i kolegów zrobiłem sobie obejmując opiekę nad Sekcją Fizyki w KBN-ie. Poza tym używałem *Informatora* [1] i *Who is who in physics* [4]. Do dwu działów starałem się zaliczyć jak najmniej profesorów: do działu „inne”, z oczywistych przyczyn, i do „teorii”. W dziale „teoria” zostali tylko ci teoretycy, których nie potrafiłem zaliczyć do żadnego innego działu, np. specjaliści od fizyki matematycznej, teorii względności, astrofizyki itd., jak również teoretycy pracujący w dwu lub więcej dziedzinach. W wielu dziedzinach częste są wątpliwości, kto jest teoretykiem, a kto nie. Metoda, którą wybrałem, pozwala ominąć tę trudność.

Omówię teraz kolejno poszczególne działy, zawsze według tego samego planu: pokażę rozkład profesorów pracujących w danym dziale między ośrodki, postaram się uzasadnić, dlaczego ludzie pracujący w tym dziale uważają go za niezwykle interesujący i obiecujący, oraz podam przykładowe prace świadczące o tym, że w tym dziale osiągamy wysoki poziom światowy. Przyjmuję rolę adwokata, a nie inkwizytora, i będę się starał przedstawić każdy dział w jak najlepszym świetle. Jeżeli mimo to ktoś uzna, że któryś z działów wypada blado, pozostaje mi jeszcze jedna linia obrony: może mój wybór argumentów i przykładów nie był optymalny.

Tabela 5. Rozkład liczby profesorów pomiędzy działy. Tabela obejmuje 435 profesorów.

Dział	Procent profesorów
Teoria	14,3
Cząstki i jądra	24,6
Atomy, proste cząsteczki, optyka kwantowa	11,3
Kryształy, polimery, ciecze, ciekłe kryształy, duże cząsteczki	12,6
Półprzewodniki i izolatory	8,3
Metale, magnetyki, nadprzewodniki	14,5
Inne	14,5

4.2. Fizyka teoretyczna

W tabeli 6 przedstawiony jest podział między ośrodki profesorów zajmujących się fizyką teoretyczną. Nawet przy tak zawężającej definicji fizyki teoretycznej, jaką tu przyjąłem ze względów praktycznych, pracuje w tej dziedzinie co siódmy profesor fizyki. Teoretycy najliczniejsi są w Warszawie, potem Wrocławiu, Krakowie, Łodzi itd. Pouczające jest porównanie tych danych z danymi o podziale między ośrodki pełnej liczby profesorów. Profesorowie warszawscy w obu przypadkach stanowią ok. 30%. Procent teoretyków wśród profesorów warszawskich jest więc bliski średniej krajowej. Profesorowie wrocławscy natomiast stanowią 12% pełnej puli i 21% puli teoretyków. Widać stąd, że we Wrocławiu teoria ma udział znacznie większy. W Krakowie ten udział jest wyraźnie mniejszy od średniej krajowej, w Łodzi nawet większy niż we Wrocławiu itd.

Tabela 6. Fizyka teoretyczna: podział procentowy profesorów między ośrodki. Tabela obejmuje 62 profesorów, czyli 14,3% ich pełnej liczby.

Ośrodek	Procent profesorów
Warszawa	29,0
Wrocław	21,0
Kraków	12,9
Łódź	9,7
Gdańsk	6,5
Poznań	4,8
Białystok	3,2
Śląsk	3,2
Inne	9,7

Dowodem na atrakcyjność teorii jest szeroko znany fakt, że na całym świecie znaczna część najzdolniejszych studentów chce się specjalizować w fizyce teoretycznej. Niektórzy doświadczalnicy dodają: „i tam się marnuje”, ale mam mówić o atrakcyjności dziedziny, a nie o sytuacji na rynku pracy, więc nie będę się ustosunkowywał do tej uwagi. Wiele uroku dodaje fizyce teoretycznej swoboda badań. W ciągu bardzo krótkiego czasu można zmienić pole badań, bez mozolnego kompletowania nowej aparatury, nie mówiąc już o potrzebnych uzgodnieniach. Jeżeli teoretyk ma dobry pomysł, może go opublikować i zostać indywidualnie oceniony, podczas gdy w wielu innych działach trzeba zacząć od przekonywania szefa, a jeśli się uda, mieć nadzieję, że szef nie zapomni, kto mu ten dobry pomysł podsunął. W jakiej innej dziedzinie byłoby możliwe, żeby szeregowy pracownik urzędu patentowego, uznany przez bardzo kompetentną komisję za nie nadającego się na asystenta, w ciągu roku przebił się do ścisłej czołówki światowej fizyki? Fizyka teoretyczna jest często przygodą intelektualną. To się zdarza w każdej dziedzinie badań, ale w fizyce teoretycznej jest szczególnie łatwo o efektowne przypadki. Na przykład, pod koniec pierwszej połowy lat siedemdziesiątych Jan Łopuszański napisał niezbyt ciekawą pracę, w której pokazał, że przy pewnych założeniach nie da się zbudować kwantowej teorii pola wolnej od sprzeczności. Mniej więcej w tym samym czasie Martin Sohnius, doktorant Rudolfa Haaga, uzyskał inny niezbyt ciekawy wynik – przy założeniach nieco innych od założeń Łopuszańskiego zbudował teorię wolną od wi-

docznych sprzeczności. Ci trzej panowie spotkali się i w krótkim czasie powstała znakomita praca „All possible generators of supersymmetries of the S-matrix” [5], podająca ogólną klasyfikację dopuszczalnych teorii supersymetrycznych – do dziś dnia najbardziej cytowana praca wrocławskiego autora z napisanych po roku 1945 [6].

Jako przykład osiągnięcia wybrałem artykuły S.L. Woronowicza: „Compact matrix pseudogroups” [7] i „Differential calculus on compact matrix pseudogroups (quantum groups)” [8]. Są to podstawowe prace z dziedziny znanej dziś jako teoria grup kwantowych. Były cytowane odpowiednio 458 i 354 razy. Liczby cytowań, które podaję w tym raporcie, powinny być traktowane jako oszacowania od dołu. Po raz ostatni sprawdziłem je przed referatem 7 października roku 2000, a takie liczby rosną z czasem. Poza tym wiadomo, że bazy danych pomijają z różnych przyczyn część cytowań.

4.3. Fizyka cząstek i fizyka jądrowa

W tabeli 7 pokazany jest podział między ośrodki profesorów zajmujących się fizyką cząstek i fizyką jąder atomowych. Mniej więcej co czwarty profesor fizyki pracuje w tej dziedzinie. Widać wielką koncentrację w Krakowie i Warszawie, jak również to, że z pozostałych 10% ponad połowa przypada na Lublin. Obserwujemy tu zjawisko, które będzie się powtarzać. Wybitni fizycy wykształceni przed wojną, w bardzo ciężkich warunkach powojennych ogromnym wysiłkiem stworzyli szkoły, które pomyślnie rozwijają się do dziś. W tym przypadku byli to profesorowie Marian Mięśowicz i Henryk Niewodniczański w Krakowie oraz Marian Danysz, Jerzy Pniewski i Andrzej Sołtan w Warszawie.

Tabela 7. Fizyka cząstek i jądrowa: podział procentowy profesorów między ośrodki. Tabela obejmuje 107 profesorów, czyli 24,6% ich pełnej liczby.

Ośrodek	Procent profesorów
Kraków	50,0
Warszawa	39,7
Lublin	5,6
Śląsk	2,3
Inne	2,3

Rozważana tu dziedzina szuka odpowiedzi na jedno z najbardziej podstawowych pytań fizyki: jakie są podstawowe składniki materii i jakie są oddziaływania między nimi. Poza tym dostarcza niezbędnych danych dla innych ciekawych dziedzin. Na przykład, współczesna astrofizyka i kosmologia są nie do pomyślenia bez danych z fizyki jądrowej, a ostatnio w coraz większym stopniu także z fizyki cząstek. Wreszcie, stosowanie niezwykle zaawansowanych metod doświadczalnych powoduje, że ta dziedzina jest wspaniałym polem do popisu dla wynalazców, konstruktorów i informatyków. Wystarczy wspomnieć nie tak dawne Nagrody Nobla: dla van der Meera z fizyki akceleratorów (1984) i dla Charpaka z fizyki detektorów (1992) oraz wynik nieuhonorowany na razie Nagrodą Nobla, ale słynniejszy od tych pozostałych razem wziętych: World Wide Web czyli WWW, podstawa Internetu, która zaczęła się jako metoda usprawnienia komunikacji wewnątrz bardzo dużych grup pracujących przy wielkich eksperymentach w CERN-ie.

Jako przykłady osiągnięć wybrałem trzy prace, które baza danych SPIRES podaje w kategorii prac cytowanych ponad 500 razy. Dwie z nich to są prace doświadczalne z udziałem grupy J. Nassalskiego: „A measurement of the spin asymmetry and determination of the structure function g_1 in deep inelastic muon-proton scattering” [9] i „An investigation of the spin structure of the proton in deep inelastic scattering of polarized muons on polarized protons” [10]. Zawierają wynik, który był sensacją, kiedy został ogłoszony, i wciąż jeszcze jest przedmiotem ciekawych badań. Mówi się, że nukleon składa się z trzech kwarków określanych jako walencyjne. W cytowanych pracach wykazano, że spin nukleonu nie jest sumą spinów trzech kwarków walencyjnych. Prace te miały odpowiednio 998 i 834 cytowania. Trzecia praca – „Moments of the rapidity distribution as a measure of short range fluctuations in high energy collisions” [11] – jest teoretyczna. A. Białas i R. Peschanski przystosowali do fizyki cząstek pojęcie intermitencji, używane z powodzeniem w hydrodynamice przepływów turbulentnych. Doprowadziło to do znacznego postępu w badaniach nad korelacjami wielocząstkowymi w procesach wielorodnej produkcji cząstek. Praca była cytowana 530 razy. Jako przykład wysoko cenionych badań przy niższych energiach można podać uhonoro-

wane niedawno Nagrodą Fundacji na rzecz Nauki Polskiej badania A. Sobieczewskiego nad budową bardzo ciężkich jąder.

I w tym dziale, i w innych, wiele dodatkowych informacji można znaleźć w opublikowanym zbiorze referatów z sesji naukowej „Fizyka polska u progu trzeciego tysiąclecia” [2]. Na przykład, fizyce cząstek i jądrowej mogłem poświęcić w tym raporcie ok. 3 minut, a w zbiorze [2] są na ten temat trzy pełne referaty i jeszcze trochę wzmianek w referatach z innych dziedzin.

4.4. Atomy, proste cząsteczki i optyka kwantowa

W tabeli 8 pokazany jest podział między ośrodki profesorów zajmujących się fizyką atomową, fizyką prostych cząsteczek i optyką kwantową. To, że największe ich zgrupowanie jest w Toruniu, stanowi pomnik działalności prof. Aleksandra Jabłońskiego. Z jego szkoły wyrosła też silna grupa gdańska. Jak widać, inne mocne grupy znajdują się w Poznaniu, Warszawie i Krakowie.

Tabela 8. Atomy, proste cząsteczki i optyka kwantowa: podział procentowy profesorów między ośrodki. Tabela obejmuje 49 profesorów, czyli 11,3% ich pełnej liczby.

Ośrodek	Procent profesorów
Toruń	26,5
Poznań	16,3
Warszawa	16,3
Gdańsk	13,3
Kraków	12,2
Wrocław	4,2
Słupsk	3,1
Inne	8,2

Charakterystyczny dla tej dziedziny jest trwający co najmniej od czasów budowy pierwszych laserów niezwykle szybki rozwój metod badawczych i problematyki. Coraz to pojawiają się nowe narzędzia badawcze i dzięki nim otwierają się nowe pola badań. Obecnie w centrum zainteresowania są zimne atomy (Nagroda Nobla 1997), które umożliwiają m.in. badania kondensacji Einsteina i kwantowej interferencji atomów, oraz impulsy femtosekundowe, które umożliwiają m.in. robienie „migawkowych zdjęć” reakcji chemicznych. Za

prace tą ostatnią techniką została przyznana zeszłoroczna Nagroda Nobla z chemii. Jako przykłady bardzo ciekawych pól badań można wymienić badania podstaw fizyki kwantowej, badania procesów chaotycznych i – bliżej praktyki – fononikę.

W tak szybko rozwijającej się dziedzinie już utrzymanie się w światowym nurcie badań jest trudne. Na razie idzie to dobrze. Mamy pułapkę na zimne jony w Krakowie i aparatury do badania impulsów femtosekundowych w Poznaniu i Warszawie. Jako przykład osiągnięcia wybrałem pracę K. Banaszka i K. Wódkiewicza: „Direct probing of quantum phase space by photon counting” [12]. W tej pracy, która ma 81 cytowań, został zaproponowany praktyczny sposób pomiaru funkcji Wignera. Wykazano już doświadczalnie [13], że ta metoda działa. Warto tu może zrobić uwagę metodyczną. Praca Banaszka i Wódkiewicza ma o rząd wielkości mniej cytowań niż wspomniane prace z fizyki cząstek i jądrowej, ale wielkim błędem sztuki bibliometrycznej byłoby wyciąganie stąd wniosku, że jest gorsza. Liczba cytowań pracy zależy od liczby ludzi publikujących w danej dziedzinie, od zwyczajów cytowania w niej obowiązujących, od tego, jak dawno praca została opublikowana itd. Ze względu na te wszystkie trudności w raporcie nigdzie nie używam liczby cytowań do porównywania prac z różnych dziedzin. Nawet w ramach jednej dziedziny nie ma podstaw do twierdzenia, że praca z największą liczbą cytowań jest najlepsza. Jest natomiast bardzo prawdopodobne, że taka praca jest jedną z lepszych i że może być użyta jako ilustracja osiągnięć w tej dziedzinie. Nie robiłem zresztą wielkich wysiłków, żeby w każdej z dziedzin wybrać pracę najbardziej cytowaną. Szukałem pracy względnie niedawnej, powiedzmy z ostatnich 15 lat, z dużą liczbą cytowań jak na swoją dziedzinę, co powinno oznaczać co najmniej kilkadziesiąt cytowań, i takiej, która by mi się podobała.

4.5. Kryształy, polimery, ciecze, ciekłe kryształy i duże cząsteczki

Jak widać z tabeli 9, najsilniejszym ośrodkiem jest tu Poznań. Duże grupy znajdują się także w Krakowie, Warszawie, Wrocławiu i ośrodku śląskim. Grupa poznańska wywodzi się ze szkoły prof. Arkadiusza Piekary.

Żyjemy w epoce miniaturyzacji. Cytowane są prawa wykładnicze, orzekające, że liczba takich a takich elementów na jednostkę objętości czy powierzchni podwaja się co tyle a tyle lat. Ten postęp musi się załamać, według najbardziej optymistycznych przewidywań wtedy, gdy dojdziemy do elementów o wielkości porównywalnej z wielkościami cząsteczek używanych materiałów. Powstaje ważne pytanie, czy da się coś ciekawego zbudować z elementów będących pojedynczymi cząsteczkami. Na razie wyniki są bardzo zachęcające. Znalaziono monomolekularne przewodniki, nadprzewodniki, a nawet bramki logiczne. Odkryto w skali molekularnej zupełnie nowe materiały, jak fulereny czy nanorurki węglowe. Zauważono nowe możliwości, jak program budowy komputera kwantowego. To są problemy w przedstawianym dziale na poziomie molekularnym, ale jest jeszcze cała problematyka układów mezoskopowych i bardzo ciekawe układy makroskopowe. Jako przykłady tych ostatnich mogą służyć ciekłe kryształy, i to zarówno ze względu na liczne zastosowania, jak i na wyjątkowo interesującą teorię (Nagroda Nobla w roku 1991). Innym przykładem są polimery przewodzące prąd, uhonorowane tegoroczną Nagrodą Nobla z chemii.

Tabela 9. Kryształy, polimery, ciecze, ciekłe kryształy i duże cząstki: podział procentowy profesorów między ośrodki. Tabela obejmuje 55 profesorów, czyli 12,6% ich pełnej liczby.

Ośrodek	Procent profesorów
Poznań	30,9
Kraków	18,2
Warszawa	12,7
Wrocław	10,9
Śląsk	10,9
Gdańsk	3,6
Lublin	3,6
Rzeszów	3,6
Inne	5,5

Jako przykład osiągnięcia wybrałem teoretyczną pracę grupy B. Lesynga „Quantum classical molecular dynamics simulations of proton transfer processes in molecular complexes and enzymes” [14]. W tej pracy, która ma 48 cytowań,

przedstawiono ciekawe podejście do reakcji enzymatycznych, w którym część procesu jest opisywana metodami dynamiki molekularnej, a część poprzez zależne od czasu równanie Schrödingera. Autorzy piszą, że wedle ich rozeznania jest to pierwsze zastosowanie zależnego od czasu równania Schrödingera do opisu takich reakcji. Proszę zauważyć, że ten wynik może także służyć jako przykład osiągnięcia w dziedzinie biofizyki. Szukałem pracy doświadczalnej z referowanej tu dziedziny spełniającej moje kryteria, ale ani sam takiej pracy nie znalazłem, ani nikt z moich rozmówców nie potrafił mi jej wskazać. Nie jest to dowód, że nie powstają u nas w tej dziedzinie wybitne prace doświadczalne, ale jeśli powstają, to widocznie są z jakiejś przyczyny mało znane.

4.6. Półprzewodniki i izolatory

Jak widać z tabeli 10, fizyka półprzewodników i izolatorów jest u nas zdominowana przez ośrodek warszawski, w którym skupia się 2/3 profesorów pracujących w tej dziedzinie. Grupa jest niezbyt liczna – 8% wszystkich profesorów fizyki – ale jak będę próbował Państwa przekonać, ma poważne osiągnięcia. Szkoła warszawska wywodzi się od prof. Leonarda Sosnowskiego. Interpretując dane z tabeli 10 należy pamiętać o błędzie statystycznym. Udział 5,6% w tej tabeli oznacza dwu profesorów. Jeśli jeden z nich przejdzie na emeryturę, a drugi zainteresuje się czymś innym, to ośrodek z takim udziałem może bardzo szybko zniknąć.

Tabela 10. Półprzewodniki i izolatory: podział procentowy profesorów między ośrodki. Tabela obejmuje 36 profesorów, czyli 8,3% ich pełnej liczby.

Ośrodek	Procent profesorów
Warszawa	66,7
Wrocław	8,3
Częstochowa	5,6
Kraków	5,6
Inne	13,9

Charakterystyczne dla tej dziedziny jest łączenie problemów bliskich praktyki – z paten-

tami i sekretami kucharskimi – z badaniami niezwykłych układów rozwijających wyobraźnię fizyków, jak ciecz Laughlina, układy niskowymiarowe czy stany domieszkowe o zadziwiającej strukturze. W obu kierunkach można robić wielkie odkrycia. Nagrodę Nobla za badania nad układami niskowymiarowymi przyznano w roku 1998; jednym z laureatów był Laughlin, a tegoroczna Nagroda Nobla była za wyniki bliskie praktyki.

Przykłady sukcesów w badaniach bliskich praktyki, które wybrałem, wiążą się z hodowlą kryształów. Firma Cement-Silicon S.A., oparta na know-how fizyków, produkuje tak dobrze kryształy krzemu, że ich wartość sprzedaży przekroczyła w 1997 r. 10 milionów USD [15]. Kryształy azotku galu wytwarzane w Centrum Badań Wysokociśnieniowych PAN są bezkonkurencyjne w skali światowej. W tej dziedzinie fizyki warunkiem koniecznym rozwiązania jakiegoś problemu jest często możliwość zdobycia dostatecznie dobrych próbek. CBW PAN ma więc bardzo dobry start w badaniach nad wysoce obiecującym materiałem. Jako przykład osiągnięcia opublikowanego wybrałem pracę współpracy CBW PAN z Uniwersytetem Warszawskim „Luminescence and reflectivity in the exciton region of homoepitaxial GaN layers grown on GaN substrates” [16]. W tej pracy, cytowanej już 75 razy, zmierzone zostały w azotku galu energie ekscytonów swobodnych, jak również ekscytonów związanych z obojętnymi akceptorami i donorami. Zauważmy, że ta praca mogłaby też być sklasyfikowana jako osiągnięcie w dziedzinie fizyki powierzchni.

4.7. Metale, magnetyki i nadprzewodniki

Jak widać z tabeli 11, badania nad metalami, magnetykami i nadprzewodnikami są prowadzone głównie w Krakowie, Poznaniu, Wrocławiu, Warszawie i na Śląsku. Na pozostałe ośrodki zostaje 10% profesorów. W Poznaniu i we Wrocławiu szkoły stworzyli odpowiednio profesorowie Szczepan Szczeniowski i Włodzimierz Trzebiatowski, natomiast najliczniejsza grupa krakowska zaczęła się od grupy młodych entuzjastów wykształconych już po wojnie.

Podobnie jak w poprzednim dziale, mamy tu zarówno tematy bliskie praktyki, jak i głębokie problemy fizyczne. Zastosowania praktyczne są bardzo rozmaite – od miniaturowych pamięci magnetycznych do wielokilometrowych układów

magnesów nadprzewodzących. Głębokie problemy wiążą się z fizyką układów silnie skorelowanych. Stworzenie teorii ferromagnetyzmu było bardzo trudne i dało szereg ciekawych produktów ubocznych, jak choćby słynny model Isinga. Teoria nadprzewodnictwa BCS zrewolucjonizowała problem wielu ciał. Nie wiemy jeszcze, dokąd nas doprowadzą badania nad nadprzewodnikami wysokotemperaturowymi.

Tabela 11. Metale, magnetyki i nadprzewodniki: podział procentowy profesorów między ośrodki. Tabela obejmuje 63 profesorów, czyli 14,5% ich pełnej liczby.

Ośrodek	Procent profesorów
Kraków	26,2
Poznań	22,2
Wrocław	20,6
Warszawa	11,9
Śląsk	7,9
Lublin	3,2
Białystok	2,4
Częstochowa	2,4
Inne	3,2

Jako przykład osiągnięcia wybrałem artykuł przeglądowy R. Micnasa i S. Robaszkiewicza „Superconductivity in narrow-band systems with local non-retarded attractive interactions” [17]. Ta praca ma 586 cytowań. Napisanie tak szeroko cytowanego artykułu przeglądowego rzadko się udaje. W tym przypadku ważne było zapewne, że artykuł zawiera bardzo dobre omówienie „bipolaronowego” mechanizmu w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych – mechanizmu zaproponowanego i w znacznej mierze zbadanego przez autorów artykułu. Jako bardziej typowy przykład osiągnięcia wybrałem jeszcze dwie prace J. Barnasia: „Novel magnetoresistance effect in layered magnetic structures: theory and experiment” [18] i „Coupling between two ferromagnetic films through a non-magnetic metallic layer” [19]. Te prace, cytowane odpowiednio 160 razy i 76 razy, zawierają ważne wyniki teoretyczne i doświadczalne dotyczące przewodnictwa elektrycznego próbek złożonych z cienkich warstw metali, na zmianę ferromagnetycznych i nieferroma-

gnetycznych, umieszczonych w polu magnetycznym.

4.8. Inne

Tabela 12 stanowi próbę analizy działu „inne”. Niektóre grupy – chemia, geofizyka – są tu dość licznie reprezentowane ze względu na niedoskonałość przyjętej definicji fizyków. Około 24% przedstawicieli tego działu nie udało mi się przyporządkować do żadnej większej grupy. Chcę zwrócić uwagę na dwie grupy, które na podstawie danych z tabeli mogą się wydawać (niesłusznie!) bardzo małe, ale które zajmują się szczególnie ciekawą fizyką. Chodzi o biofizykę i fizykę powierzchni. Odpowiadające im liczby profesorów, które można obliczyć z tabeli 12, są znacznie zaniżone, bo wielu fizyków pracujących w tych dziedzinach zaklasyfikowałem do innych działów – biofizyków głównie do fizyki molekularnej, a fizyków powierzchni głównie do fizyki półprzewodników i izolatorów oraz do fizyki metali, magnetyków i nadprzewodników.

Tabela 12. Inne: podział procentowy profesorów między poddziały. Tabela obejmuje 63 profesorów, czyli 14,5% ich pełnej liczby.

Ośrodek	Procent profesorów
Akustyka	14,3
Biofizyka	17,5
Chemia	9,5
Geofizyka	12,7
Optyka	4,8
Fizyka powierzchni	17,5
Inne inne	23,8

Wyniki biofizyki, do której włączyłem na użytek tego raportu fizykę medyczną, są z pogranicza z biologią i medycyną. Obie te nauki rozwijają się obecnie bardzo szybko i to w dużej mierze w kierunkach bliskich fizykom. Badają mechanizmy molekularne, stosują zaawansowane metody fizyki doświadczalnej, analizują ilościowo zjawiska przenoszenia (transportu), wpływ przebiegów chaotycznych itd. Nie wyodrębniłem biofizyki w osobny dział, co robią czasami *Postępy Fizyki*, głównie z dwu przyczyn. Ważne grupy biofizyków pracują poza jednostkami, które tu omawiam.

Poza tym nie łatwo jest ustalić, kto jest biofizykiem. Na sesji w Toruniu była wprawdzie podana piękna definicja [20]: „biofizykiem jest każdy, kto tak twierdzi, i na tę okoliczność przedstawi dwóch świadków”, ale stosowanie tej definicji w skali krajowej byłoby uciążliwe. Jako przykład osiągnięcia z dziedziny biofizyki może służyć cytowana już praca [14].

W miarę jak bada się coraz dokładniej coraz mniejsze układy, zyskuje na znaczeniu – i bez tego ważna – fizyka powierzchni. Przełomowym odkryciem w tej dziedzinie był mikroskop skaningowy, uhonorowany Nagrodą Nobla w roku 1986, ale bardzo ważne, chociaż mniej efektowne, było też opanowanie umiejętności wytwarzania i utrzymywania przez dostatecznie długi czas powierzchni czystych lub zanieczyszczanych w sposób kontrolowany. Warstwy epitaksjalne, złącza Josephsona, heterostruktury i wiele innych – to wszystko wiąże się z fizyką powierzchni. Z ważnych zastosowań w dużej skali można wymienić zabezpieczanie powierzchni i katalizę heterogeniczną. Jako przykład osiągnięcia w tej dziedzinie może służyć cytowana już praca [16].

5. Problemy

Na zakończenie podaję zestawienie problemów do dyskusji, na które zwróciłem uwagę w tym referacie: 1) Problem odwróconej piramidy, 2) Jednostki uczelniane i jednostki pozauczelniarne, 3) Ośrodki większe i ośrodki mniejsze, 4) Polityka względem czasopism, 5) Czy któreś kierunki badań powinny być szczególnie popierane, a jeśli tak, to które?

Pierwsze cztery problemy komentowałem już w poprzednich punktach. Tu omówię tylko ostatni. Uczeni są często indywidualistami i naturalną odpowiedzią na pytanie, czy jakieś kierunki badań zasługują na szczególne poparcie – co musi oznaczać, że inne będą mniej popierane, niż by mogły być – jest, że tego się nie da ustalić. I tak każdy będzie twierdził, że jego kierunek jest najważniejszy, i najwyżej może powtarzać to coraz głośniejsze. Należy sobie jednak zdawać sprawę, że brak decyzji jest także decyzją. Podam przykład. Od kiedy pracuję w KBN-ie, co parę miesięcy odwiedza mnie jakaś grupa szanownych profesorów i opowiada mi o swoim projekcie, według którego już za kilka milionów złotych można by osiągnąć

wyniki bardzo cenne dla polskiej fizyki. Mówię tu o poważnych propozycjach, za którymi stoją znani fizycy i gdzie jest bardzo prawdopodobne, że gdyby zainwestować wnioskowaną sumę, lub może nieco większą, to rzeczywiście doprowadziłoby to do powstania publikacji w dobrych czasopismach. Takie projekty mają z reguły poparcie ogólnopolskie, a niekiedy są też pozytywnie zaopiniowane przez uczonych zagranicznych. Nie ma podstaw do opiniowania ich negatywnie, ale jeśli wszystkie takie propozycje będziemy popierać, to zapewne zostanie zrealizowany jeden z następujących dwu wariantów. Albo powiedzą nam, że tych kilkudziesięciu milionów, o które prosimy, nie możemy dostać, albo zostanie wybrany do realizacji jakiś jeden projekt, z naszego punktu widzenia przypadkowo. Gdyby Komitet Fizyki PAN mógł zrobić ranking takich projektów, to zwiększyłoby to zarówno szansę otrzymania pieniędzy, jak i prawdopodobieństwo optymalnego ich wykorzystania, jeśli przyjdą.

Kończę optymistycznym stwierdzeniem, że jeśli Komitet zdoła cokolwiek uzgodnić, będzie to znaczny postęp w stosunku do dawnych czasów, jak o tym świadczy następująca opinia Pseudo-Maurycego (VI wiek) o Słowianach: „Gdy bowiem zajdzie między nimi różnica zdań, wówczas albo w ogóle nie mogą dojść do zgody, albo jeśli się nawet pogodzą, to postanowienia ich zaraz inni przekroczą, jako że każdy myśli co innego i żaden nie chce ustąpić drugiemu”.

Przygotowując ten raport korzystałem z wiedzy i rad wielu koleżanek i kolegów. Bardzo im wszystkim dziękuję. Listy nie zamieszczam, bo liczyłaby około stu osób i zapewne byłaby niekompletna.

Literatura

- [1] *Informator nauki polskiej*, red. nac. S.M.P. Giertycz (Ośrodek Przetwarzania Danych, Warszawa 1998). Poprzednie wydanie: *Informator Nauki Polskiej*, red. nac. W. Wasiaś (Ośrodek Przetwarzania Danych, Warszawa 1996).
- [2] *Fizyka polska u progu trzeciego tysiąclecia*, red. J. Szudy (Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1998).
- [3] A.K. Wróblewski, w zbiorze [2].
- [4] *Who is who in physics. Poland 1997*, red. J. Stankowski, J. Małecki, A. Wójtowicz (Scientific Publishers OWN, Poznań 1996).
- [5] R. Haag, J.T. Łopuszański, M. Sohnius, *Nucl. Phys. B* **88**, 257 (1975).

- [6] J. Lukierski, w zbiorze [2].
- [7] S.L. Woronowicz, *Comm. Math. Phys.* **111**, 613 (1987).
- [8] S.L. Woronowicz, *Comm. Math. Phys.* **122**, 125 (1989).
- [9] J. Ashman i in., *Phys. Lett.* **B206**, 364 (1988).
- [10] J. Ashman i in., *Nucl. Phys. B* **328**, 1 (1989).
- [11] A. Białas, R. Peschanski, *Nucl. Phys. B* **273**, 703 (1986).
- [12] K. Banaszek, K. Wódkiewicz, *Phys. Rev. Lett.* **76**, 4344 (1996).
- [13] K. Banaszek, C. Radzewicz, K. Wódkiewicz, J.S. Kraśniński, *Phys. Rev. A* **60**, 674 (1999).
- [14] P. Bała, P. Grochowski, B. Lesyng, J.A. McCammon, *J. Phys. Chem.* **100**, 4344 (1996).
- [15] T. Dietl, w zbiorze [2].
- [16] K. Pakuła i in., *Solid State Comm.* **97**, 2535 (1996).
- [17] R. Micnas, S. Robaszkiewicz, *Rev. Mod. Phys.* **62**, 113 (1990).
- [18] J. Barnaś i in., *Phys. Rev. B* **42**, 8110 (1990).
- [19] J. Barnaś, *J. Magn. Magn. Mater.* **111**, L215 (1992).
- [20] D. Frąckowiak, w zbiorze [2].

RÓŻNE

Pomiary a zjawiska fizyczne*

Jacek Majewski

Katedra Metrologii i Automatyki, Politechnika Lubelska

Measurements and physical phenomena

Abstract: The link between metrology and physics is immanent, inasmuch as laws and principles of physics are strictly involved in any measurement.

1. Wstęp

Chociaż nie jestem fizykiem z wykształcenia, mam jednak poczucie ogromnego znaczenia fizyki jako opoki całej współczesnej, naukowo-technicznej cywilizacji. Jako nauczyciel uczelni technicznej ubolewam nad nierozsądnym ograniczaniem nauczania fizyki, codziennie bowiem zauważam, że splotyca znajomość fizyki bardzo utrudnia rozumienie działania urządzeń technicznych i prawidłową ich eksploatację. Próbuję, w miarę swych skromnych możliwości, uświadomić moim studentom, jak ważne dla nich jest dostrzeganie faktu, że istotą techniki, jej podstawowym „tworzywem”, są zjawiska fizyczne, twórczo zastosowane do roz-

wiązania problemów technicznych. Jeśli wywiązują się dyskusje ze studentami, cennym wsparciem tej „filofizycznej” argumentacji są m.in. informacje, których dostarcza lektura *Postępów Fizyki*.

Jednak bezpośrednią przyczyną, która skłoniła mnie do wypowiedzi, było zamieszczenie w *Postęпах Fizyki* artykułu pt. „Quo vadis, metrologio?” [1]. Artykuł ten był mi znany w wersji angielskiej już wcześniej, lecz dopiero teraz stał się dla mnie impulsem do refleksji. Przy czym nie jest moim zamiarem polemika z autorami artykułu (wybitnymi znawcami zagadnień metrologii, o światowym, uznanym autorytecie), lecz po prostu pytanie „Dokąd zmierzasz, metrologio?”

*Skrócona wersja referatu wygłoszonego w Oddziale Lubelskim PTF w dniu 13 stycznia 2000 r.

ma charakter otwarty i zastanowienie się nad odpowiedzią na nie nasuwa wielorakie wątki myślowe.

2. Więź metrologii z fizyką

Przede wszystkim należy zaznaczyć, że metrologia liczy sobie kilka tysięcy lat, a zrodziły ją zapewne potrzeby handlu, rolnictwa, astronomii i architektury (świadcząby o tym m.in. starożytnie nazwy jednostek miar i wag oraz ich ówczesne definicje). I jest głęboką prawdą myśl, którą wielki James Clerk Maxwell wyraził w 1872 r., że „cały system cywilizowanego życia symbolizują: pryzmat kreskowy, zestaw odważników i zegar” [2].

Nowożytnie – zmatematyzowane – przyrodoznawstwo wymaga instrumentów naukowych (i pomiarowych), a pomiar naukowy jest jednym z głównych zabiegów poznawczych tego przyrodoznawstwa. Toteż prawie wszyscy wybitni fizycy czasów nowożytnych byli, niejako z konieczności, *en passant*, metrologami: wymyślali metody pomiarowe, projektowali i budowali przyrządy pomiarowe, opracowywali sposoby analizy wyników pomiarów (do tego zagadnienia duży wkład wnieśli również wielcy matematycy). Każda dyscyplina naukowa pragnęła ująć swój przedmiot, swe obiekty badań, w sposób ilościowy. Dlatego metrologia nowożytna jest przesycona fizyką, jej duchem; gdyż fizycy, oprócz wypełniania zadań *stricto* metrologicznych, dokonali dla metrologii o wiele więcej: na podstawie praw fizyki tworzyli koncepcje wielkości fizycznych i przekształcali coraz więcej spośród nich w wielkości mierzalne. Zatem w prawach i zasadach fizyki zawarte są – *implicite*, ale w sposób konieczny – zasady metrologii, koncepcje pomiarów wielkości, idee konstrukcji i główne właściwości przyrządów pomiarowych. Ta logiczna i organiczna więź sprawia, że metrologii nigdy nie wolno się oderwać od jej podstaw fizycznych. Bez rozumienia zjawisk fizycznych nie ma rozumienia pomiarów; co najwyżej możliwe są zabiegi czysto techniczne, manualne (tzw. galkologia), a nie metrologia.

3. Więź metrologii z techniką

W okresie pierwszej rewolucji przemysłowej, gdy rodziła się nowożytna inżynieria, wielu jej

twórców miało silne „korzenie” fizyczne; np. James Watt zaczynał jako *Instrument Maker to the University of Glasgow* i doświadczenia nabyte przy budowaniu przyrządów pomiarowych, a zwłaszcza zamiłowanie do precyzji, zaważyły na jego późniejszych dokonaniach inżynierskich. Już jako dojrzały konstruktor Watt ubolewał, że w budowanych pod jego kierunkiem maszynach parowych luz między tłokiem a gładzią cylindra osiągał „grubość małego palca” – takie były ówczesne możliwości technologiczne [3].

Na szczęście, rozwój technologii nie jest racją istnienia nauki, a już na pewno nie racją główną. Natomiast pomiarowe potrzeby techniki (infrastruktury technicznej) wywierają na służby metrologiczne silną presję w kierunku nieustannego polepszania dokładności wzorców, metod i aparatury pomiarowej, co m.in. pozwala przy produkcji masowej utrzymać wymiennność części, przy wąskich tolerancjach warunkujących jakość wyrobów. Dbałość o dokładność pomiarów to cel ważny i słuszny, ale czy stanowi jedyny cel metrologii? Współczesny eksperyment pomiarowy, często nasycony skomputeryzowaną aparaturą, układami pomiarowymi i skomplikowanymi procedurami pomiarowymi, wymaga – już na etapie jego planowania – łącznego stosowania zasad techniki eksperymentu i techniki mierzenia. Przemysł wymaga z kolei, by metrologia uwzględniała potrzeby automatyki, robotyki, informatyki: coraz więcej pomiarów, coraz szybciej, za coraz niższą cenę – jak najwięcej obiektów „przetworzyć” w liczby (słowo „cyfrowy” zrobiło zawrotną karierę). Rewolucja informatyczna dotyczy w znacznym stopniu także informacji pomiarowej. Samo pojęcie wielkości mierzonej uległo rozszerzeniu i coraz częściej uzasadnione jest zastępowanie go słowem „mezurand” [6].

4. Wzorce i układy jednostek

Jeśli chodzi o definicje i wzorce jednostek miar, to już Maxwell (znowu!) wskazał, że „jeżeli chcemy otrzymać jednostki długości, czasu i masy absolutnie niezmiennie, to nie możemy wiązać ich z wymiarami, ruchem i masą naszej planety, lecz należy zwrócić się do długości fal, częstotliwości i masy, do niezmiennych i nieprzemijających, zupełnie takich samych atomów” [4]. Od tamtej pory poglądy na cechy atomów znacznie się

zmieniły, ale idea, by definicje jednostek oprzeć na zjawiskach molekularnych święci triumfy, których zwieńczeniem będzie redefinicja wzorca jednostki masy [5].

Pokrewna duchem jest idea, by wzorce i jednostki miar oprzeć na uniwersalnych stałych fizycznych. Propozycję takiego układu wysunął m.in. Max Planck.

Tendencja, by wzorce jednostek dla makroświata oprzeć na zjawiskach i stałych fizycznych, występujących w mikroświecie (którego obiekty, jak wykazywał śp. Prof. Włodzimierz Kołos, mają właściwości bytów platońskich) nosi cechy paradoksu, zwłaszcza na tle dyskusji, jakie wśród fizyków wzbudzały (i wzbudzają) zagadnienia pomiaru relatywistycznego i pomiaru kwantowego: oto wzorce dla makroświata czerpie się z mikroświata – z obszaru o całkiem odrębnej naturze, i to właśnie z racji tej odrębności! Ten hipotetyczny paradoks niech mi wolno będzie rozwinąć w formie dygresji.

Od czasu, gdy zetknąłem się z poglądem, że być może w zjawiskach wewnątrzatomowych nie istnieje długość (przynajmniej w potocznym jej znaczeniu), czytam dane liczbowe dotyczące rozmiarów czasoprzestrzennych zjawisk i obiektów subatomowych z mieszanymi uczuciami. Oczywiście, negacja istnienia długości to pogląd dość radykalny, lecz uwidacznia dobitnie możliwość występowania pojęciowej nieciągłości na granicy ze światem cząstek elementarnych. Jeżeli w tych spekulacjach byłoby coś prawdopodobnego, gdyby jakieś cząstki okazały się „transformatorkami wielkości mierzalnych” na styku makroświata czasoprzestrzennego z (nieczasoprzestrzennym) mikroświatem – to koncepcje wielkości fizycznych, mierzalności itd. przeżyłyby wstrząs, który odmieniłby oblicze całej nauki, w tym metrologii.

Fizycy – z racji swych badań empirycznych i teoretycznych – uzyskali głęboki wgląd w istotę pomiaru, w jego uwarunkowania i uzależnienia. Wydaje się, że wyraźniej niż metrologicy dostrzegają, iż poprawny pomiar nie jest li tylko sprawą doskonałości środków technicznych.

5. Szczypta wątpliwości

Rewolucja naukowa, która dokonała się na przełomie XVI i XVII w., nosiła w dużej mierze charakter światopoglądowy – ideologiczny i filo-

zoficzny (rzetelne potwierdzenie jej założeń przez fakty nastąpiło znacznie później); jednym z jej hasła była autonomia nauki, np. względem doktryn religijnych. Rewolucja ta dużą wagę przykładła do wyników ilościowych i argumentów odwołujących się do liczb, gdyż liczby – jako pozór konkretny – mają dużą siłę przekonywania; jednakże same liczby niczego nie wyjaśniają. Racjonalizm skwapliwie skorzystał z metrologicznego dorobku praktycznego handlu i rękodzieła oraz matematycznego dorobku instytucji administracyjnych i finansowych, bez głębszego sprawdzania, czy takie mierzenie i liczenie jest najodpowiedniejsze dla celów nauki. To, co było do przyjęcia, gdy filozofom nie śniło się jeszcze o pomiarze kwantowym czy relatywistycznym, w XX w. poddano zasadniczej weryfikacji pojęciowej.

Dążenia do unifikacji jednostek miar, które nabrały rozmachu po Rewolucji Francuskiej, są widomym przejawem globalistycznych tendencji w nauce i technice. Światowy system pomiarowy i jednostki SI wydają się dziś bezdyskusyjne. Tymczasem być może dla potrzeb poszczególnych nauk bardziej racjonalne byłyby odrębne układy jednostek; unifikacja w pewnych sytuacjach okazuje się niewygodna.

Mimo dużych osiągnięć praktycznych służb miar w dążeniu do spójności pomiarowej, w zakresie teorii pomiaru wiele zagadnień wymaga jeszcze dopracowania. Na przykład, sama definicja pojęcia pomiaru napotyka na trudności logiczne, gdyż pomiar poprzedzony być musi testem empirycznym, określającym jego dziedzinę, taki test zaś sam jest rodzajem pomiaru. Podobnie, opracowanie zalecanego obecnie postępowania w celu wyznaczenia miary niedokładności wyniku pomiaru, zwanego teorią niepewności, trwało ok. 15 lat i bynajmniej nie jest akceptowane bez zastrzeżeń wśród kompetentnych znawców teorii pomiaru.

Pewnym kuriozum jest wyrugowanie pojęcia „wartość prawdziwa (wielkości mierzonej)” jako pojęcia wyidealizowanego: „wyraz »prawdziwa« uważany jest za zbyteczny” [6]. Czuje się w tym powiew ideologii postmodernizmu.

6. Zamiast konkluzji

Można się zastanawiać, na ile obowiązujące koncepcje wielkości fizycznych oraz zbiór uznanych praw i zasad fizycznych, determinujących

konstrukcję przyrządów pomiarowych i procedury pomiarowe, warunkują nasze rozumienie zjawisk. Zawsze jednak pozostanie pewien obszar niepoznawalny, a obiektywność danych pomiarowych jest ograniczona m.in. przez zakres wyobraźni koncepcyjnej konstruktorów aparatury.

Swoistym paradoksem jest, że zjawisko przemijania, któremu podlegają wszystkie obiekty – nawet te największe i najtwardsze poddają się mu miękko, płynnie i bez oporu – zdaje się zatrzymywać na progu mikroświata i nie ma nad nim władzy. Toteż świat współczesny, w tym świat naukowy, targany przez prądy i mody intelektualne – filozoficzne, ideologiczne, etyczne – usiłuje znaleźć jakąś „niszę”, by w niej zabezpieczyć swe wzorce przed erozją przemijania. W tym sensie redefiniowanie wzorców jednostek miar oparte na stałych atomowych jest wyrazem „metrologicznej transcendencji”.

Literatura

- [1] D. Kind, T. Quinn, *Postępy Fizyki* **50**, 140 (1999).
- [2] J.C. Maxwell, *Theory of Heat* (London 1875), wg: D. Cardwell, *The Fontana History of Technology* (Fontana Press, London 1993).
- [3] L. Mumford, *Technika a cywilizacja. Historia rozwoju maszyny i jej wpływ na cywilizację* (PWN, Warszawa 1966).
- [4] W.S. Kwiatkowski, *Miernictwo elektryczne. Analogowa technika pomiarowa* (Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994).
- [5] D. Kind, T.J. Quinn, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **44**, 85 (1995).
- [6] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO 1993, 1995; tłumaczenie polskie: *Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik* (GUM, Warszawa 1999). Por. także: H. Szydłowski, „Międzynarodowe normy oceny niepewności pomiarów”, *Postępy Fizyki* **51**, 92 (2000).

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Fizyka na Scenie

W dniach 6–10 listopada 2000 r. w CERN-ie w Genewie odbyła się konferencja pod nazwą „Physics on Stage” – „Fizyka na Scenie” (por. notatkę w *Kronice PF*, zesz. 4/2000). Dotyczyła ona dwóch nieco odrębnych zagadnień. Pierwsze to popularyzacja, drugie – dydaktyka fizyki. Organizatorami byli: CERN, ESO (European Southern Observatory) oraz ESA (European Space Agency). Uczestniczyło ponad 500 osób z 22 krajów.

Polska delegacja, kierowana przez prof. Tadeusza Skośkiewicza, obejmowała 28 osób, w tym 21 czynnych nauczycieli ze szkół podstawowych, gimnazjalnych i licealnych z różnych stron Polski, a także osobną grupę pod wodzą prof. Krzysztofa Ernsta, która przygotowała i zaprezentowała przedstawienie poświęcone fizyce ping-ponga.

Program konferencji zawierał trzy rodzaje zajęć. Pierwszym z nich był jarmark fizyczny, składający się ze stoisk-kramów narodowych, w których uczestnicy spotkania przedstawili swoje dokonania, pokazując ciekawe doświadczenia i przyrządy oraz plakaty obrazujące metody pracy z młodzieżą. Poza stoiskami narodowymi specjalną informację przygotowały trzy instytucje naukowe będące organizatorami konferencji, tzn. CERN, ESO i ESA, a także DESY z Hamburga. Jarmark był czynny przez cały czas trwania konferencji, z tym, że każdego dnia był czas przeznaczony specjalnie na oglądanie tego wszystkiego, co znajdowało się na stoiskach oraz, co było niestety ważne, na nawiązywanie kontaktów i bezpośrednią wymianę poglądów i informacji między uczestnikami spotkania.

Drugim rodzajem zajęć były spotkania plenarne, w czasie których można było obejrzeć przedstawienia i prezentacje wybrane przez organizatorów spośród propozycji zgłoszonych przez uczestników. Przedstawienia miały różny charakter. Francuzi i Szwajcarzy przygotowali profesjonalne spektakle teatralne o treściach opartych na zagadnieniach związanych z fizyką. Inne przedstawienia były to mniej lub bardziej „uteatralnione” wykłady z doświadczeniami. Niektóre były bardzo żywe, z dużym zaangażowaniem publiczności. Inne miały charakter bardziej „akademicki” i sprowadzały się do wykładu z pokazami. Część była przygotowana i przedstawiona przez fachowców – aktorów lub osoby zajmujące się zawodowo popularyzacją nauki, zwłaszcza fizyki. Jednak większość osób występujących na scenie stanowili naukowcy, nauczyciele, a także uczniowie.

Prezentacje miały dość podobny charakter. Różnica polegała jedynie na czasie trwania i rozmachu (prezentacje były nieco krótsze i niewątpliwie skromniejsze od przedstawień). Nic dziwnego – te ostatnie organizatorzy szczerze dofinansowali, prezentacje zaś odbywały się przy znacznie mniejszym budżecie.

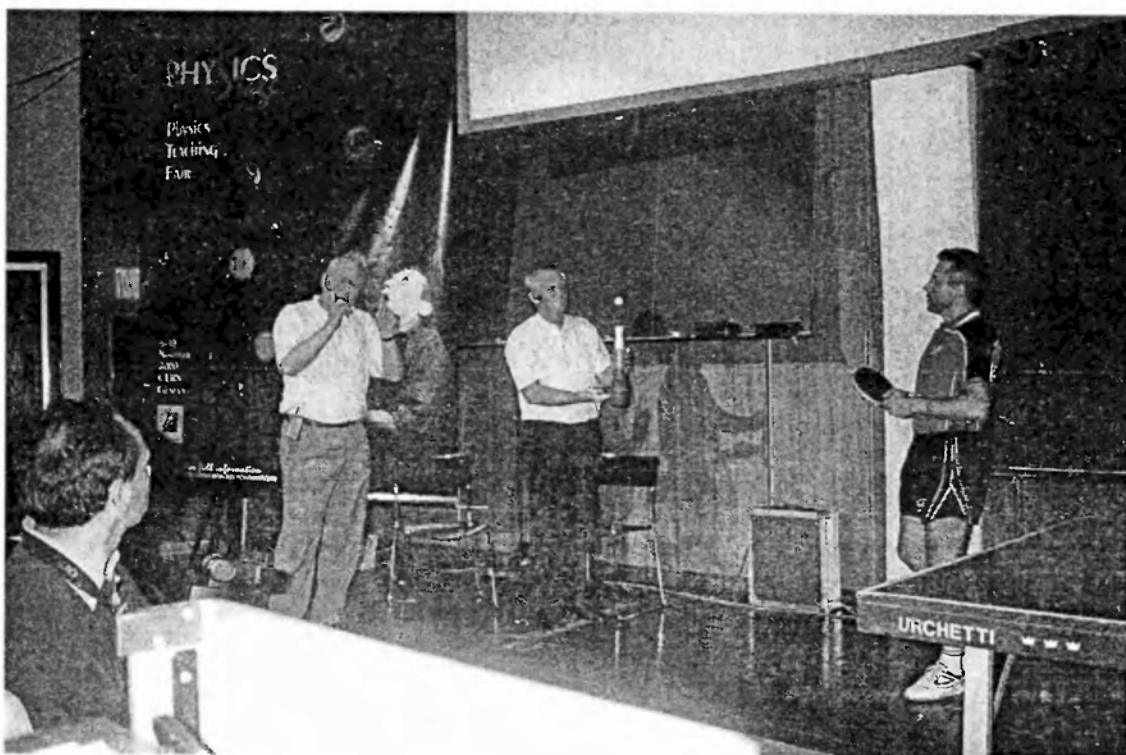
I wreszcie trzeci rodzaj zajęć to warsztaty, w czasie których omawiano różne sprawy związane z ogólnoeuropejskim kryzysem nauczania fizyki i próbowano znaleźć drogi wyjścia z niego. Warsztaty odbywały się w grupach (było ich aż 13); każda grupa uczestników dyskutowała odrębne zagadnienie związane z popularyzacją i dydaktyką fizyki. Ostatniego dnia na spotkaniu plenarnym odbyło się podsumowanie spotkań. Przedstawiono m.in. analizę przyczyn kryzysu nauczania fizyki i poszukiwania metod jego przezwyciężenia. Poza tym w podsumowaniu było niewiele oryginalnych myśli. Należy jednak podkreślić, że warsztaty, a zwłaszcza uchwały podjęte na zakończenie, miały bardzo istotny cel – chodziło o zwrócenie uwagi organizacji politycznych, szczególnie Brukseli, na przewidywane ponure skutki kryzysu w nauczaniu i rozwoju fizyki. Ta „polityczna” strona działalności naukowej, jak dobrze wiemy, jest niestety niezbędna, jako że to politycy dysponują pieniędzmi. I dlatego też organizatorzy przywiązywali tak dużą wagę do tych warsztatów, mimo że niewątpliwie zdawali sobie sprawę, iż w ciągu 3 dni niczego rewelacyjnego się nie odkryje.

Przygotowania do imprezy „Fizyka na Scenie” trwały wiele miesięcy. W 22 uczestniczących krajach odbywały się podobne imprezy, choć na mniejszą skalę, mające m.in. na celu wyłonienie przedstawień i prezentacji pokazanych później w Genewie.

W Polsce również przygotowywano udział w „Fizyka na Scenie” od początku 2000 r. Z ramienia Polskiego Towarzystwa Fizycznego, formalnego koordynatora, przygotowaniemi tymi kierował prof. Tadeusz Skośkiewicz z Instytutu Fizyki PAN i Szkoły Nauk Ścisłych. Publiczny przegląd kandydujących przedstawień odbył się w czasie Poznańskich Dni Nauki i Kultury w maju 2000 r. W wyniku tego przeglądu zgłoszono do CERN-u kilka propozycji, z których organizatorzy wybrali przedstawienie „Fizyka ping-ponga” prof. Krzysztofa Ernsta z Warszawy oraz prezentację „Siły bezwładności” dra Jerzego Jarosza i mgr Anety Szczygielskiej z Katowic.

Udział Polaków był bardzo udany. Przedstawienie Krzysztofa Ernsta wzbudziło entuzjazm – nigdy jeszcze w CERN-ie nie było zawodowych pingpongistów. Ich rolą było demonstrowanie ruchu piłeczki pingpongowej, podczas gdy Krzysztof Ernst i Tadeusz Skośkiewicz wyjaśniali prawa rządzące tym ruchem. Sportowy nastrój zapewnił telewizyjny sprawozdawca sportowy Piotr Sobczyński, a elementy humorystyczne były dziełem mima Andrzeja Pankowskiego. Całość wyreżyserowała Małgorzata Uberna z Telewizji Polskiej.

Prezentacja Jerzego Jarosza i Anety Szczygielskiej była bardzo oryginalna. Prosta w zamyśle konstrukcja składająca się z obracającej się tarczy i ruchomej kamery wideo pozwoliła na efektowne demonstracje sił bezwładności, w szczególności trudnej do zrozumienia siły Coriolisa.



W trakcie polskiego przedstawienia „Fizyka ping-ponga”.

Trzeba też odnotować bardzo ładne i oryginalne doświadczenia pokazowe oraz plakaty prezentowane przez polskich uczestników w ramach wystawy. W sumie należy stwierdzić, że w dziedzinie popularyzacji i dydaktyki fizyki najlepsi polscy nauczyciele są w światowej czołówce.

Imprezę „Fizyka na Scenie” można by uznać za jeszcze jedną konferencję, mającą na celu wymianę doświadczeń w zakresie dydaktyki i popularyzacji fizyki. Jednak było w niej coś więcej. Tym zasadniczym dodatkowym elementem było miejsce. CERN to przecież chluba światowej fizyki, to miejsce, gdzie dokonano szeregu niezwykłych odkryć. Świadomość odbywania się obrad w tym miejscu na pewno miała olbrzymi wpływ na panujący nastrój. Oprócz udziału w imprezie wszyscy uczestnicy mieli możliwość zwiedzenia niektórych laboratoriów CERN-u, zjechań pod ziemię do tunelu LEP-u i bycia świadkami ostatnich godzin pracy „starego, zasłużonego” akceleratora – w czasie trwania konferencji zapadła ostateczna decyzja o jego zamknięciu. Wszyscy uczestnicy zdawali sobie sprawę z tego, że biorą udział w czymś istotnym. Sądzymy, że w znacznej mierze to poczucie mieli też lokalni organizatorzy, czyli dyrekcja CERN-u.

Do świadomości zawodowych fizyków coraz bardziej docierają niepokojące fakty. Zainteresowanie fizyką wśród uczniów szkół średnich jest znikome. Coraz mniej osób wybiera studia uniwersyteckie w zakresie fizyki. Ma-

leje liczba młodych nauczycieli fizyki. Zainteresowanie osiągnięciami fizyki w społeczeństwie europejskim jest śladowe. Naukowcy z CERN-u zdają sobie sprawę, że perspektywy wielkich laboratoriów fizycznych, CERN-u w szczególności, ale również ESO i ESA, nie są specjalnie dobre. Brakuje nadziei na zatrudnienie młodych, zdolnych naukowców w najbliższych latach. Rozczarowane do fizyki społeczeństwa, a przez to i rządy oraz parlamenty poszczególnych krajów, nie są już tak chętne do finansowania badań. Konieczność rozwiązania tych problemów wymaga więc skierowania dużego wysiłku na popularyzację i dobrą dydaktykę fizyki. Organizacja „Fizyki na Scenie” właśnie w CERN-ie była rezultatem takich przemyśleń.

Więcej informacji o „Fizyce na Scenie” można znaleźć w Internecie pod adresem: FizykaNaScenie.ifpan.edu.pl.

Maria Kuśmierk
Liceum im. Czackiego
oraz Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Jan Mostowski
Instytut Fizyki PAN
oraz Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Fizyka wokół nas

Paul G. Hewitt: *Fizyka wokół nas*, z języka angielskiego przełożył Alfred Zagórski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000, s. 734 (tytuł dotowany przez Ministra Edukacji Narodowej).

Książka Paula G. Hewitta *Fizyka wokół nas* (angielski tytuł 8. wydania z 1998 r.: *Conceptual Physics*) wydana przez Wydawnictwo Naukowe PWN i dotowana przez Ministra Edukacji Narodowej przeznaczona jest, zdaniem Autora, „przede wszystkim dla uczniów, dla których wymagania matematyczne w opisie ilościowym zjawisk są dużą barierą”. Autor ogranicza nauczanie fizyki „do jej sfery pojęciowej, [...] traktując wzory matematyczne jedynie jako wskazówki do myślenia. [...] Celem tej książki jest stworzenie bazy pojęciowej fizyki [...]; pozwala [ona] lepiej postrzegać świat, który rządzi się zaskakująco małą liczbą reguł”. Zamiarem Autora było dostarczenie czytelnikowi zrozumiałego, dokładnego, interesującego i przyjemnego wstępu do fizyki. „Ta książka przedkłada rozumienie nad stronę naukową”. Tak właśnie należy mówić do dzieci, ponieważ dla większości z nich rozumowanie formalne, oparte na wzorach matematycznych, jest jeszcze intelektualnie niedostępne. Wydaje mi się, że adresatami *Fizyki wokół nas* są uczniowie gimnazjów, szkół średnich, nauczyciele fizyki oraz humaniści, którym brak podstaw z matematyki utrudnia korzystanie z podręczników, zawierających często dość dokładny i obszerny opis ilościowy zjawisk.

We wstępie „Do nauczyciela” Autor zamieszcza krótką informację dotyczącą układu treści i wskazówki metodyczne. Recenzowana książka zawiera systematyczny, podstawowy kurs fizyki, który – zgodnie z intencją Autora – ma przygotować czytelnika do zrozumienia, że fizyka jest nauką przyrodniczą, że jest nauką ścisłą, podstawą innych nauk przyrodniczych i technicznych. Autor zamieszcza w niej wiele przykładów związku fizyki z innymi naukami, ciekawe biografie uczonych oraz interesujące uwagi dotyczące rozwoju nauki i metod badań. Systematyczny wykład poprzedzony jest ciekawym rozdziałem „O nauce”, w którym Autor omawia sposoby pomiaru promienia Ziemi, rozmiarów Księżyca i Słońca oraz odległości tych ciał niebieskich, nawiązując do prac starożytnych filozofów: Eratostenesa, Arystarcha i Arystotelesa, a następnie do prac Galileusza, Keplera i Einsteina. W ciekawych podrozdziałach: „Matematyka językiem nauki”, „Metoda naukowa”, „Nauka, sztuka i religia”, „Nauka a technika”, „Fizyka – podstawa nauk przyrodniczych” i „Perspektywy nauki” Autor stwierdza, że „fizyka jest nauką najbardziej podstawową. Rozumienie nauki zaczyna się od zrozumienia fizyki”, co ma motywować czytelnika do studiowania podręcznika, zachęcać do wysiłku intelektualnego. Przedstawiając „Perspektywy nauki” Hewitt

uświadamia czytelnikowi, jak bardzo dynamicznie rozwija się współczesna nauka.

Systematyczny kurs fizyki Autor rozpoczyna od „Mechaniki”, w której zamieszcza opis ruchu prostoliniowego i krzywoliniowego, wprowadza zasady dynamiki, pojęcia pędu i energii (energia w biologii). Opis ruchu Autor rozpoczyna ciekawą dygresją – podrozdziałami: „Ruch w ujęciu Arystotelesa”, „Ruch Ziemi według Kopernika” i „Galileusz a krzywa wieża”. Bardzo ładne i ciekawe są zamieszczone wstawki biograficzne dotyczące Arystotelesa i Galileusza; szkoda, że brak jest takiej samej informacji dotyczącej życia Kopernika. Teoria grawitacji została poprzedzona omówieniem poglądów i prac: Kopernika, Keplera, Tycho Brahego i Newtona, którzy kontynuowali prace greckich filozofów. W końcowych rozdziałach „Mechaniki” Autor opisuje ruch satelitów, wprowadza pojęcie prędkości ucieczki i zamieszcza bardzo ciekawy opis zastosowania sztucznych satelitów do badań naturalnego środowiska (mapy Ziemi). Wyjaśnia, że rolę siły dośrodkowej może odgrywać siła grawitacji, siła elektryczna, siła tarcia oraz inne siły i podaje liczne przykłady jej występowania. Liczne dygresje filozoficzne informują czytelnika o kształtowaniu się i rozwoju teorii fizycznych, pojęć i praw (np. grawitacja według Newtona i Einsteina).

W kolejnych częściach podręcznika Autor omawia zagadnienia:

1. „Własności materii” – podstawowe własności ciał stałych i cieczy;

2. „Ciepło” – pojęcie temperatury, przewodzenie, konwekcję i promieniowanie ciepła, przemiany fazowe, energię wewnętrzną i entropię, pierwszą i drugą zasadę termodynamiki;

3. „Akustyka” – ruch drgający, fale poprzeczne i podłużne, odbicie, załamanie i interferencję fal, fale głosowe;

4. „Elektryczność” – oddziaływanie ładunków w spoczynku, prawo Coulomba, pole elektryczne, własności przewodników, izolatorów i nadprzewodników, prąd stały, prawo Ohma, pracę i moc prądu, proste obwody elektryczne, pole magnetyczne (z uwzględnieniem pola magnetycznego Ziemi) i jego oddziaływanie na ładunek, zjawisko indukcji elektromagnetycznej, przyrządy pomiarowe, silniki i prądnice prądu oraz transformatory;

5. „Światło” – fale elektromagnetyczne, własności oka, powstawanie barw, zjawiska odbicia, załamania i interferencji światła, własności soczewek, widma atomowe, dualizm korpuskularno-falowy, zjawisko fotoelektryczne i dyfrakcję elektronów;

6. „Fizyka atomowa i jądra atomowego” – budowę atomu (modele atomu), kwantowanie energii, budowę jądra atomowego, promieniotwórczość, izotopy promieniotwórcze, detektory promieniowania jądrowego, elementy

radiologii, syntezę i rozszczepienie jąder atomowych oraz zastosowania tych zjawisk;

7. „Teoria względności” – względność ruchu, pojęcie czasoprzestrzeni, równoczesność zdarzeń, względność długości i czasu, zakrzywienie promieni świetlnych w otoczeniu dużych mas, dopplerowskie i grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni.

Każdy z rozdziałów kończy się pytaniami, mającymi na celu sprawdzenie zrozumienia zamieszczonych w nim treści. Zamieszczone są też odpowiedzi na te pytania, które pomagają lepiej zrozumieć wprowadzane pojęcia, omawiane zjawiska i prawa nimi rządzące. Zamieszczenie odpowiedzi tuż pod pytaniem zwalnia z wysiłku intelektualnego, próby samodzielnego rozwiązania problemu. Na końcu każdej z 8 części podręcznika podane jest zestawienie wprowadzonych pojęć, co dobrze służy utrwalaniu materiału, zamieszczona jest bibliografia (niezbyt konsekwentnie), liczne pytania przeglądowe i ćwiczenia oraz zadania i projekty w postaci propozycji prostych doświadczeń do wykonania przez ucznia. Proste doświadczenia są bardzo przydatne w propedeutycznym nauczaniu fizyki, nie wyczerpują jednak zapotrzebowania na systematycznie i metodologicznie prowadzoną pracę badawczą. Fizyka jest nauką doświadczalną. Pytania i ćwiczenia mają za zadanie sprawdzenie zrozumienia definicji wielkości fizycznych i związków między nimi, praw i zasad wprowadzonych w danym rozdziale, wymuszają dokładne zapoznanie się z treścią danego rozdziału. Na stronie 33 zamieszczone są odpowiednie wskazówki do pracy dla czytelnika. Wykonanie większości ćwiczeń i udzielenie odpowiedzi na pytania wymaga zapoznania się z tekstem, często przytoczenia jego fragmentu, a nie zawsze zrozumienia, pracy odtwórczej zamiast twórczej. Część pytań wymaga jednak głębszej znajomości teorii, znajomości ścisłych, ilościowych zależności między wielkościami fizycznymi, a nie tylko jakościowego, opisowego wyjaśnienia zjawisk.

Nie zawsze jest to możliwe na podstawie materiału podanego w recenzowanej książce. Często występujący długi i zawiły opis, zamiast podania prostej zależności w postaci wzoru czy równania wcale nie ułatwia zrozumienia, szczególnie w mechanice (opis ruchu). Równania wyrażające związki między wielkościami fizycznymi są najczęściej zapisywane przez Autora w postaci słownej, a dopiero potem przy użyciu symboli wielkości fizycznych. Zamiast symboli fizycznych podane są ich nazwy, co ułatwia uczenie się i stosowanie terminologii naukowej, przyswajanie słownictwa, zrozumienie. Sądzę, że należy te wzory wyodrębnić z tekstu – staną się bardziej czytelne. Często eksperyment jest zastąpiony doświadczeniami myślowymi, ich analizą i wyciąganiem wniosków prowadzących do formułowania praw. Nie wydaje mi się to właściwe; fizyka traci swój urok, gdy badanie zjawisk zastępujemy opowiadaniem o nich.

W ćwiczeniach, zadaniach i projektach występują liczne nawiązania do zastosowań praw fizyki w życiu codziennym, sporcie, przykłady zastosowań wiadomości o własnościach materiałów w budownictwie (naprężenia). Autor omawia zastosowania fizyki m.in. do : a) wyjaśnie-

nia działania instrumentów muzycznych, b) nagrywania i odtwarzania muzyki z płyt (laser), c) przesyłania informacji (modulacja fal), d) badania wnętrza Ziemi (fale sejsmiczne), e) wykorzystania energii cieplnej oceanu (elektrycznie przyszłości OTEC – od ang. Ocean Thermal Energy Conversion), f) pomiaru prędkości gwiazd, samochodów (zjawisko Dopplera), g) budowy samolotów (siła nośna – prawo Bernoulliego), h) wyjaśnienia anomalii klimatycznych, i) wyjaśnienia zjawiska zórz polarnych i pasów Van Allena, oraz zastosowania fizyki w sporcie, a nawet do wyjaśnienia, dlaczego kot spada zawsze na cztery łapy.

Sądzę, że ze względu na dbałość o zrozumienie treści zamieszczonych w poszczególnych rozdziałach należy: 1) paragrafy: „Drgania wymuszone” i „Rezonans” umieścić przed rozdz. 18 poświęconym omówieniu fal; 2) „Równoważność masy i energii” (s. 620) omówić przed dyskusją zagadnienia „Rozszczepienie jądra atomowego” (s. 613).

W zamieszczonych na końcu książki dodatkach Autor podaje niezbędne uzupełnienia matematyczne (funkcja wykładnicza, wektory, sporządzanie wykresów) oraz informacje dotyczące jednostek SI, źródeł, z których zaczerpnięto fotografie, a także skorowidz i słowniczek.

Autor nie wprowadza wielu pojęć, którymi potem się posługuje, np. fazy fali, drogi, zwrotu wektora. Wprowadzenie fazy fali jest niezbędne do poprawnego opisu zjawiska interferencji fal, do określenia warunku na interferencyjne wzmocnienie i wygaszenie fali. Zwrot wektora często jest błędnie utożsamiany z jego kierunkiem, a wektor prędkości jest „równoległy” do krzywej, zamiast styczny. Terminologia naukowa przeplata się ze słownictwem zapożyczonym z języka codziennego, co utrudnia zrozumienie wprowadzanych pojęć, a często wprowadza w błąd. Jeżeli wprowadza się do opisu zjawisk słownictwo z języka potocznego, to trzeba tego konsekwentnie przestrzegać. Autor (tłumacz?) posługuje się określeniami: „fizyk oświecony”, „dźwięki muzyczne”, „spadek z tłumieniem”, „bezwładność obrotowa”, „gazy i plazmy”, „ruch satelitarny”; pisze: „Kopernik wywołał spore zamieszanie”, „przebyty dystans” (zamiast: droga), „prędkość w ogóle” (!), „prosto w górę” (zamiast: pionowo), „składowe toru”, „wartość i kierunek prędkości stanowią łącznie wektor prędkości”, „zasięg toru”, „ruch okrężny”, „wektor poziom”, „zwrot strzałki to kierunek wektora”, „pędy mogą się znosić, energie nie”, „przeciwny kierunek” (zamiast: zwrot). Określenia: „w prawo, w lewo” dotyczą zwrotu wektora, a Autor stosuje je błędnie do określenia kierunku wektora. Często stosowane jest określenie „siła (wektor) równoległa do toru”, którym jest np. okrąg. Wielkości skalarnie (np. ciśnienie) „są skierowane w górę, w dół”. Siła parcia myłona jest z ciśnieniem. Stosowane są jednostki spoza układu SI bez podania ich związku z jednostkami SI. W całej części 3 powszechnie używane są określenia: „gaz” zamiast „para”, „ochładzanie”, „stygnięcie” zamiast „ozębianie”, „zagołtuje” zamiast „wrze”, „zamarzanie” zamiast „krzepnięcie”, „woda w temperaturze 100°C jest gazem”.

W recenzowanej książce brak jest konsekwencji w definiowaniu pojęć i określaniu wielkości fizycznych, np.: „ciepło jest energią w ruchu” (s. 306), „dostarczanie ciepła, dostarczanie energii w postaci ciepła” (s. 307), „dopływu energii cieplnej” (s. 296), „materia ma energię kinetyczną, energię potencjalną, ale nie ciepło [...] błędem jest traktowanie ciepła jako czegoś co znajduje się w materii” (s. 258), „... układu, ciepło pozostaje w nim” (w układzie, s. 307). Sądzę, że czytelnik będzie miał poważne trudności z odpowiedzią na pytanie, czym właściwie jest ciepło.

Takich przykładów w książce można znaleźć więcej. Sądzę, że większość definicji pojęć, wyjaśnień dotyczących zjawisk, sformułowań praw zawartych w słowniczku, wymaga dopracowania i przeredagowania (dokładne informacje zamieszczam w recenzji szczegółowej, przekazanej Wydawnictwu). Czasem na tej samej stronie występują dwa określenia, jedno poprawne, a drugie błędne. Należy wyraźnie odróżniać (w rozdz. 24) siłę elektromotoryczną od indukowanego napięcia. Autor na s. 445 wprowadza siłę elektromotoryczną samoindukcji, a wcześniej brak jest określenia siły elektromotorycznej indukcji.

Z przykrością stwierdzam, że mimo wielu walorów poznawczych, kształtujących i dydaktycznych nie polecałabym tej książki uczniowi i początkującemu nauczycielowi bez gruntownej korekty, poprawienia błędów rzeczowych, stylistycznych i językowych, ujednoczenia terminologii i dostosowania jej do terminologii stosowanej w polskich podręcznikach (np. zamiast „naprężenia” i „sprężenia” stosuje się jeden termin „naprężenia wewnętrzne” do określenia deformacji struktury wewnętrznej w wyniku ściskania i rozciągania ciał stałych). Wiele definicji wprowadzonych przez Autora wymaga uściślenia. Bardzo ciekawy przykład, „Pasy Van Allena”, prowokuje pytanie: dlaczego w tych obszarach następuje uwięzienie naładowanych cząstek promieniowania kosmicznego? Niestety, wprowadzona wcześniej teoria nie wystarcza do udzielenia odpowiedzi na to pytanie.

Wiele ciekawych problemów Autor sygnalizuje, ale niestety nie wyjaśnia czytelnikowi; brak jest również w recenzowanej książce bazy pojęciowej wystarczającej do ich wyjaśnienia. Sądzę, że w wielu pytaniach zastąpienie słowa „czy” słowem „dlaczego” wymusi głębszą analizę zjawiska, a nie tylko odpowiedź „tak” lub „nie”, np. „Dlaczego średnia masa nukleonu w jądrze jest mniejsza od masy nukleonu swobodnego?” zamiast „Czy masa...?” Rozwiązanie wielu sformułowanych przez Autora problemów wymaga umiejętności na poziomie uczeń wie, ale już niekoniecznie rozumie (a przecież głównie o to chodziło) i potrafi stosować. Problemy stawiane w wielu ćwiczeniach i zadaniach są identyczne, co niepotrzebnie rozbudowuje ich liczbę.

Słowniczek zawiera czasem wyjaśnienie danego pojęcia, a jednocześnie brak jest wprowadzenia tego pojęcia w treści odpowiedniego rozdziału, mimo że wydaje mi się to niezbędne do zrozumienia zawartych w nim treści (przykład: faza fali) lub na odwrót. Przesunięcie ku

czwerni, dopplerowskie i grawitacyjne, omawiane jest w książce, w słowniczku zaś występuje tylko przesunięcie dopplerowskie.

Mimo licznych usterek i czasem błędów jest to jedna z nielicznych książek, w której czytelnik znajdzie wiele przykładów powiązań fizyki z innymi dziedzinami nauki i techniki, zastosowań fizyki w życiu codziennym. Recenzowana książka dostarcza wielu informacji o rozwoju fizyki i jej metod badawczych, biografiami uczonych, zawiera zaktualizowane informacje o odkryciach fizycznych (dane z 1996 r. dotyczące odkrycia pierwiastka 112, elektrownie OTEC), ciekawe zdjęcia i starannie wykonane rysunki, ilustracje. Niewątpliwą zaletą książki jest dobry papier, czytelny druk i twarda oprawa. Nauczyciel znajdzie w niej bogaty wybór pytań, ćwiczeń i prostych zadań rachunkowych, opisów doświadczeń przydatnych w elementarnym nauczaniu fizyki oraz ciekawe opisy zjawisk, które można wykorzystać ucząc fizyki na wyższym poziomie (grawitacyjne zakrzywienie promieni świetlnych, geometrie nieeuklidesowe i inne przykłady).

Pod względem zawartości merytorycznej książka jest, moim zdaniem, dobra. Autor w konsekwentny sposób rozwija przedstawiany materiał, układ rozdziałów i paragrafów (poza nielicznymi wyjątkami) jest logiczny pod względem zamieszczonych w nich treści. Z dydaktycznego punktu widzenia książka zawiera wiele ogólników, niezbyt precyzyjnych sformułowań, czasem zbyt długie, zawiłe wyjaśnienia. Wydaje mi się, że lepiej byłoby zamieścić bibliografię na końcu książki, z ewentualnym zaznaczeniem stron, gdzie dana pozycja jest cytowana, a nie w przypisach. Sądzę, że warto dołożyć starań w celu usunięcia błędów i usterek, aby czytelnik mógł się zgodzić z opinią Autora zamieszczoną na s. 682: „Studiowanie Fizyki wokół nas dostarczyło Ci dużo satysfakcji”.

Ponieważ nie znam oryginału, nie mogę się wypowiadać o jakości tłumaczenia. Sądzę jednak, że duża liczba błędów stylistycznych czy błędnego stosowania terminów naukowych nie zawsze jest winą Autora książki. Wśród polskich podręczników najbardziej zbliżony pod względem konstrukcji, uzupełnień dotyczących zastosowań fizyki, dygresji filozoficznych i metodologicznych, informacji dotyczących biografii uczonych, zamieszczonych rysunków oraz ilustracji, ale zdecydowanie lepszy pod względem merytorycznym i językowym, jest cykl podręczników do fizyki Jana Blinowskiego *Samochodem przez fizykę*. Sądzę, że po wyeliminowaniu błędów merytorycznych i stylistycznych będzie można recenzowaną książkę polecić uczniom i nauczycielom, którzy będą mogli z niej czerpać liczne przykłady zastosowań fizyki, bogaty wybór pytań problemowych i prostych zadań rachunkowych oraz ciekawe dygresje biograficzne, metodologiczne i filozoficzne.

Aleksandra Miłoś

L Liceum Ogólnokształcące
Warszawa

NAGRODY NOBLA 2000

Technologia informacji (Nagroda Nobla z fizyki)

Nagrodę Nobla z fizyki w 2000 r. przyznano Żoresowi I. Alferowowi i Herbertowi Kroemerowi, którzy uhonorowani zostali za koncepcję i praktyczną realizację heterostruktur półprzewodnikowych, stosowanych w szybkiej elektronice i optoelektronice, oraz Jackowi S. Kilby'emu za jego udział w wynalezieniu układu scalonego. Tym samym u progu nowego wieku Królewska Szwedzka Akademia Nauk nagrodziła prace kładące podwaliny nowoczesnej technologii informacyjnych.

Żores Iwanowicz Alferow urodził się w 1930 r. w Witebsku na Białorusi. W roku 1952 ukończył studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Leningradzkiej, a w 1953 r. rozpoczął pracę w Instytucie Fizyko-Technicznym im. Joffego, którym kieruje od 1987 r. Działalność naukowa Alferowa przez wszystkie te lata związana była z technologią związków półprzewodnikowych III-V i laserami półprzewodnikowymi.

Herbert Kroemer, urodzony w 1928 r., jest z pochodzenia Niemcem. Doktoryzował się z fizyki teoretycznej w 1952 r. na Uniwersytecie w Getyndze. Jego praca dotyczyła efektów związanych z gorącymi elektronami w będkach podówczas nowością tranzystorach bipolarnych

i stała się punktem wyjścia do jego późniejszych badań z dziedziny fizyki przyrządów półprzewodnikowych. Po okresie pracy w szeregu laboratoriów w Niemczech i USA, Kroemer osiada na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Barbara (UCSB), gdzie w 1976 r. inicjuje program badawczy w dziedzinie technologii związków półprzewodnikowych i przyrządów heterozłączowych. Ten z pozoru leżący poza głównym nurtem badań (koncentrujących się na technologiach krzemowych) kierunek miał w przyszłości zadecydować o obliczu współczesnej elektroniki. Sam Kroemer w swojej pracy na UCSB zwraca się ku eksperymentowi i staje się jednym z pionierów epitaksji z wiązek molekularnych (MBE).

Jack St. Clair Kilby, urodzony w 1923 r. trzeci z ubiegłorocznych laureatów Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki, jest Amerykaninem. Studiował elektronikę na Uniwersytecie Stanu Illinois i Uniwersytecie Stanu Wisconsin, gdzie w 1950 r. uzyskał dyplom magisterski. W latach 1947–58 pracował jako projektant układów elektronicznych w firmie Centralab w Milwaukee w stanie Wisconsin. W roku 1958 rozpoczął nowy i – jak pokazała przyszłość – najbardziej owocny etap swojej kariery – pracę w Texas Instruments. Już pierwsze jej miesiące (a trzeba wiedzieć, że był to okres wakacyjny) doprowadziły go do przełomowego odkrycia, jakim była koncepcja układu scalonego.



Od lewej: Żores Alferow, Herbert Kroemer i Jack Kilby.

Podobnie jak bez dokonanego w grudniu 1947 r. wynalazku taniego i niezawodnego tranzystora nie byłby możliwy dalszy masowy rozwój elektroniki, tak i bez odkryć ubiegłorocznych laureatów, poczynionych na przełomie lat sześćdziesiątych, nie można byłoby sobie wyobrazić otaczającego nas świata w jego dzisiejszym kształcie. Dlatego więc William Shockley, Walter Brattain i John Bardeen już po 9 latach od odkrycia tranzystora otrzymali w 1956 r. Nagrodę Nobla, podczas gdy Alferow, Kroemer i Kilby czekać musieli prawie 40 lat na uznanie

wagi swych odkryć? Prawdopodobną przyczyną takiego stanu rzeczy jest to, że wynalazek tranzystora miał bezpośrednie znaczenie naukowe i techniczne, podczas gdy prawdziwa waga odkryć zesłorocznych laureatów nie mogła być doceniona, dopóki nie ujawniły się w pełni ich społeczne konsekwencje, związane ze zmianami sposobu komunikowania się i powszechnym, praktycznie nieograniczonym dostępem do informacji. Wizja świata „globalnej wioski”, antycypowana w latach 60. przez kanadyjskiego socjologa kultury Marshalla McLuhana i spełniająca się

na naszych oczach, zmieniła radykalnie obraz rozwiniętych społeczeństw. U podstaw tych zmian leży rozwój zaawansowanych technologii komputerowych, telekomunikacji i Internetu, wywodzący się z fundamentalnych odkryć w dziedzinie fizyki. Jak rzadko kiedy, ubiegłoroczne Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki honorują odkrycia, które nie tylko pogłębiają naszą wiedzę, ale również zmieniają otaczający nas świat w sposób na pewno widoczny dla każdego, nawet jeśli nie do końca zrozumiemy.

Rzeczony i upowszechnienie się technologii komputerowych ma swój początek ok. 1960 r., kiedy to dwaj młodzi inżynierowie, Jack S. Kilby i Robert Noyce, niezależnie zademonstrowali praktyczną możliwość scalenia na jednej płytce kilku elementów półprzewodnikowych. Powstała w ten sposób nowa jakość w postaci funkcjonalnego układu elektronicznego znana jest od tej pory pod nazwą układu scalonego (integrated circuit, IC). Kilby pierwszy złożył wniosek o opatentowanie swojego wynalazku. Noyce znał prace Kilby'ego w chwili, gdy występował o patent. Toczący się pomiędzy nimi przez wiele lat spór o prawo pierwszeństwa do wynalazku układu scalonego zakończył się salomonowym wyrokiem Sądu Najwyższego Stanów Zjednoczonych, przyznającym patenty obu wynalazcom. Układ scalony jest bardziej wynalazkiem technicznym niż *stricte* odkryciem fizycznym, ale w historii Nagród Nobla było wiele podobnych precedensów, np. układy do transmisji radiowej i oscyloskop – Guglielmo Marconi i Karl F. Braun 1909, mikroskop z kontrastem fazowym – Frits Zernike 1953, mikroskop elektronowy – Ernst Ruska 1986. Chociaż Kilby bezsprzecznie jako pierwszy zbudował układ scalony, to właśnie Noyce jest twórcą układu krzemowego wykonanego w technologii planarnej z dwutlenkiem krzemu (SiO_2) jako izolatorem i metalizacją aluminium (zob. *Postępy Fizyki* 50, 34 (1999)). Współczesne układy scalone, mikroprocesory z milionami tranzystorów na płytce i wielopoziomą metalizacją, są właśnie wykonywane w takiej technologii. Wykonany z kawałka germanu układ scalony Kilby'ego stanowił raczej przełom pojęciowy – zmianę paradygmatu w elektronice – niż rzeczywiste osiągnięcie techniczne, niosące w sobie potencjał produkcyjny.

Robert Noyce zmarł w 1990 r. i nie dane mu było doczekać czasów, gdy jego wynalazki zostaną wyróżnione Nagrodą Nobla. Zasłużył sobie natomiast na miano czołowej postaci współczesnego przemysłu mikroelektronicznego. Związany początkowo z firmą Shockley Transistor, wspólnie z Gordonem Moorem utworzył w 1957 r. firmę Fairchild Semiconductors. W roku 1968 obaj założyli wspólnie Intel, firmę, która w 1970 r. opracowała i wprowadziła na rynek mikroprocesor. Noyce, wieloletni prezes Intela, uważany jest za jednego z pionierów Krzemowej Doliny, położonej nieopodal San Francisco Mekki amerykańskiego przemysłu elektronicznego. Źródłem sukcesu Intela było to, że przeznaczają ok. 10% zysków na badania i rozwój, co nawet w przypadku przemysłu elektronicznego jest wielkością wyjątkową.

Kilby po skonstruowaniu układu scalonego kontynuował karierę wynalazcy. Przez wiele lat, aż do odejścia

na emeryturę, był dyrektorem ds. Inżynierii i Technologii w Texas Instruments. Jako współtwórca kieszonkowego kalkulatora elektronicznego, przyczynił się w latach 70. do ogromnego sukcesu rynkowego swojej macierzystej firmy. Światowe obroty nowoczesnego przemysłu elektronicznego, którego rozwój zapoczątkowało wynalezienie układu scalonego, szacowane są na ponad 230 mld dolarów w 2000 r. Jest to suma przewyższająca budżet wielu krajów. Tom Enginbous, obecny dyrektor techniczny Texas Instruments, komentując Nagrodę, powiedział, że Kilby, dokonując wynalazku układu scalonego, wynalazł przyszłość. Trudno się z tym poglądem nie zgodzić. Układy scalone, popularnie nazywane chipami, spowodowały, że mikroelektronika legła u podstaw wszystkich nowoczesnych technologii, od komputerów do wszelkiego rodzaju urządzeń komunikacyjnych z telefonem komórkowym na czele. Mikroelektronika zawładnęła również niepodzielnie sprzętem powszechnego użytku, wkraczając pod różnymi postaciami do naszych domów.

Czym dla mikroelektroniki są układy scalone, tym dla telekomunikacji i sieci komputerowych są półprzewodnikowe przyrządy heterozłączowe, a zwłaszcza lasery półprzewodnikowe. Chociaż ciągle większość przyrządów półprzewodnikowych wytwarza się z krzemu, to nikt już dziś nie kwestionuje roli, jaką w technologii odgrywają związki półprzewodnikowe, w szczególności te, które wytwarzane są z arsenku galu (GaAs) i aluminioarsenu galu (AlGaAs). Układ półprzewodnikowy składający się z cienkich warstw materiałów o różnej szerokości przerwy energetycznej nazywa się heterostrukturą. Dzięki postępowi w technologii epitaksji poszczególnych warstw tworzących heterostrukturę mogą mieć grubość pojedynczych warstw atomowych. W tak cienkich strukturach obserwuje się nowe zjawiska, od prostych przypadków kwantowania rozmiarowego w studniach potencjału do tak subtelnych zjawisk fizycznych, jak całkowity czy ułamkowy efekt Halla (Nagrody Nobla z fizyki: Klaus von Klitzing 1985 i Robert B. Laughlin, Horst L. Stormer i Daniel Tsui 1998).

Wykorzystanie nowych zjawisk fizycznych obserwowanych w dwuwymiarowym gazie elektronowym w heterostrukturach doprowadziło m.in. do skonstruowania superszybkich tranzystorów o częstotliwościach pracy dochodzących do 600 GHz, czyli stukrotnie większych niż w przypadku pracy najlepszych krzemowych tranzystorów polowych typu MOSFET. Autorem pomysłu zastosowania heterostruktur do konstrukcji tranzystorów jest Kroemer. W roku 1957, pracując w Radio Corporation of America (RCA), opublikował on pracę teoretyczną, w której wykazał, że tranzystor heterozłączowy może mieć wiele zalet w porównaniu z konwencjonalnym, szczególnie jako wzmacniacz prądowy i element pracujący na wielkich częstotliwościach (*RCA Review* 18, 332 (1957)). Herbert Kroemer jest, niezależnie od Żoresa Alferowa (Zh.I. Alferov, R.F. Kazarinov, Certyfikat Autorski nr 181737, Zgł. Patentowe nr 950840 z 30 marca 1963 r.), pomysłodawcą zastosowania heterozłącza do konstrukcji laserów półprzewodnikowych (*Proc. IEEE* 51, 1782 (1963)).

I w jednym, i w drugim przypadku prace wyprzedzały ówczesny stan techniki. Technologia umożliwiająca wytwarzanie laserów heterozłączowych działających na fali ciągłej w temperaturze pokojowej pojawiła się dopiero pod koniec lat sześćdziesiątych, dzięki pracom samego Alferowa (*Fiz. Tekh. Poluprovodn.* **3**, 1328 (1969)) i grupy z Bell Laboratories w USA, kierowanej przez Hayashiego (*Appl. Phys. Lett.* **17**, 109 (1970)). Dopiero jednak zastąpienie technologii epitaksji z fazy ciekłej (LPE) w latach osiemdziesiątych przez rozwiniętą technologię epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) umożliwiło istotny postęp w dziedzinie laserów półprzewodnikowych. Opracowane w Bell Laboratories w USA przez W.T. Tsanga lasery z ultracienkim, kwantowym obszarem czynnym stały się od tego czasu obowiązującym standardem (*Electron. Lett.* **18**, 1095 (1982)).

Niezależnie od ogromnego postępu, jaki w ostatnich 20 latach dokonał się w dziedzinie heterozłączowych tranzystorów polowych i laserów półprzewodnikowych, idee Kroemera i Alferowa z początku lat 60. nadal leżą u podstaw ich konstrukcji. Przełom technologiczny, jaki w przypadku laserów dokonał się ok. 1970 r., umożliwił ich późniejsze powszechne stosowanie w telekomunikacji i sprzęcie powszechnego użytku (odtwarzacze CD). Prócz tego pojawiło się wiele zastosowań laserów półprzewodnikowych w automatyce, ochronie środowiska i medycynie. Według danych *Laser Focus*, czasopisma poświęconego laserom i ich zastosowaniom w nauce i technice, lasery półprzewodnikowe od czasu swojego pojawienia się w 1962 r. doświadczają ciągłego i niczym nie zakłóconego rozwoju, który spowodował, że w 1998 r. wartość ich sprzedaży przekroczyła łączną wartość sprzedaży wszystkich innych typów laserów. A trzeba pamiętać, że cena jednostkowa większości laserów złączowych nie przekracza kilku dolarów.

Obecna elektronika zbliża się do kresu swoich możliwości, a gęstości upakowania tranzystorów w układach scalonych ze względu na ograniczenia fizyczne nie będą już mogły w najbliższych latach rosnąć zgodnie z prawem Moore'a (podwajać się co 18 miesięcy). Być może drogą wyjścia z obecnego impasu będzie elektronika oparta na pojedynczych elektronach. Potrafimy już wytwarzać druty i kropki kwantowe; skonstruowano tranzystory, w których przełączanie następuje w wyniku przepływu jednego elektronu. Myśli się o przyrządach wykorzystujących kwantową naturę przewodnictwa w cienkich drutach i kontaktach punktowych. W coraz mniejszych układach oprócz efektów kwantowych coraz większą rolę odgrywa falowa natura elektronu. Na horyzoncie pojawia się elektronika spinowa (spintronika), w której nośnikiem informacji zamiast samego elektronu byłby jego spin. Nie da się również wykluczyć, że w nadchodzących latach w elektronice powszechnego użytku coraz większą rolę odgrywać będą półprzewodniki organiczne i przewodzące polimery. Podobnie wygląda sytuacja w optoelektronice. Z jednej strony, w ostatnich latach pojawiła się koncepcja kryształów fotonicznych (trójwymiarowych, okresowych układów dielektrycznych), pozwalających w dowolny sposób

kształtować właściwości optyczne materiałów. Z drugiej strony, podobne tendencje jak w elektronice – dążenie do miniaturyzacji – doprowadziły do powstania mikrolaserów o rozmiarach wnęki rezonansowej porównywalnych z długością fali emitowanego promieniowania. W przyrządach takich można wpływać na przebieg procesów rekombinacji spontanicznej aż do jej całkowitego wyeliminowania, co prowadzi do laserów o zerowym progu działania, emitujących spójne, monochromatyczne i kierunkowe promieniowanie już przy natężeniu prądu zasilania równym kilku μA .

To, jak dalej potoczą się losy elektroniki, zależy będzie od wielu czynników. Jedno jest natomiast pewne – podobnie jak w przypadku Jacka Kilby'ego, który postawiony przed problemem optymalnego upakowania dużej liczby pojedynczych tranzystorów, kondensatorów i rezystorów w urządzeniach elektronicznych (projekt „Micro-Module” finansowany przez armię amerykańską) zareagował niekonwencjonalnie i wymyślił nową ideę scalania, tak i teraz przezwyciężenie piętujących się trudności przyniesie raczej nowa idea niż myślenie w ramach obecnego stanu wiedzy. Wreszcie na koniec warto przypomnieć, że w badaniach, które zostały wyróżnione ubiegłoroczną Nagrodą, oprócz jej laureatów ma swój istotny udział wiele innych osób. Jak jednak każde dobro reglamentowane, Nagroda Nobla z fizyki nie może trafić do wszystkich, którzy by na nią zasługiwali.

Maciej Bugajski

Instytut Technologii Elektronowej
oraz Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Polimery przewodzące prąd elektryczny (Nagroda Nobla z chemii)

Nagroda Nobla w dziedzinie chemii została przyznana w roku 2000 trzem uczonym: Alanowi J. Heegerowi z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Barbara (USA), Alanowi MacDiarmidowi z Uniwersytetu Pensylwańskiego (USA) oraz Hidekiemu Shirakawie z Uniwersytetu w Tsukubie (Japonia) za odkrycie polimerów przewodzących prąd elektryczny i za badania nad nimi.

Polimery przewodzące są materiałami wielkocząsteczkowymi, których makrocząsteczki zawierają układy wiązań sprzężonych. Molekularne orbitale π rozmieszczone są pod i nad łańcuchem głównym, zbudowanym z atomów węgla. W stanie czystym polimery sprzężone są półprzewodnikami, jednak domieszkowanie molekularne utleniaczami lub reduktorami powoduje „dodanie” lub „odjęcie” elektronu od cząsteczki i umożliwia szybkie przemieszczanie się elektronów lub „dziur” wzdłuż łańcucha. Domieszkowanie powoduje wzrost przewodności nawet o kilkanaście rzędów wielkości. Materiały te stają się dobrymi przewodnikami prądu i często zalicza się je do „metali” organicznych. Trzeba jednak od razu wskazać, że chociaż wartości przewodności są czasem zbliżone do wartości charakterystycznych dla dobrze przewodzących

metali, przewodnictwo ma charakter półprzewodnikowy i przewodność rośnie ze wzrostem temperatury.

Oczywiście odkrycie to jest fascynujące, bowiem najczęściej kojarzymy sobie polimery z dielektrykami (z punktu widzenia właściwości elektrycznych) i materiałami, z których produkuje się różnego rodzaju kształtki, włókna i folie. Otóż można obecnie otrzymywać dość duże polimerowe folie przewodzące, zachowujące właściwości typowe dla tworzyw syntetycznych (giętkość, przezroczystość itp.).

Pod koniec 2000 r. wyróżniono Nagrodą Nobla fizyka (Heeger) i dwóch chemików (MacDiarmid i Shirakawa), co wskazuje, jak ważnych odkryć dokonuje się w ramach ściślej współpracy chemików i fizyków. Potwierdza to tylko znany fakt, że najciekawsze zjawiska leżą na granicy dyscyplin naukowych i tam też zachodzą wielkie odkrycia.

Alan J. Heeger urodzony w 1936 r. w Sioux City (Iowa) uzyskał w 1961 r. doktorat z fizyki na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley. Od roku 1962 pracował na Uniwersytecie Pensylwańskim, poświęcając uwagę przewodnictwu elektrycznemu silnych, płaskich, organicznych kompleksów z przeniesieniem ładunku (tj. związków kompleksowych, w których w wyniku przekazania ładunku elektrycznego przez jedną cząsteczkę innej występuje słabe wiązanie koordynacyjne). W latach 1967–82 był profesorem fizyki na tym Uniwersytecie. Ten okres jest szczególnie ważny dla odkrycia polimerów przewodzących (konkretnie – poliacetyleny). W roku 1982 został dyrektorem Instytutu Polimerów i Organicznego Ciała Stałego na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Barbara. Tu kontynuuje szerokie badania nad polimerami przewodzącymi

i ich zastosowaniem. Z prof. P. Smithem organizuje Korporację UNIAX, mającą na celu skomercjalizowanie wyników badań polimerów przewodzących. Korporacja ta zostaje na początku 2000 r. sprzedana koncernowi Du Pont, co wskazuje, że można pogodzić temperament sławnego uczonego z zamiarami bogatego przemysłowca. Nieczęsty to przypadek w naukach ścisłych.

Alan Graham MacDiarmid urodził się w 1927 r. w Masterton w Nowej Zelandii. Jest obywatelem amerykańskim. Studiował chemię w Nowej Zelandii i uzyskał doktoraty na Uniwersytecie Wisconsin (USA) w 1953 r. oraz w Cambridge w 1955 r. Od roku 1956 pracował na Uniwersytecie Pensylwańskim, zajmując się problematyką naukową na pograniczu chemii i fizyki. W roku 1969 został profesorem zwyczajnym tego Uniwersytetu. W roku 1988 uzyskał tytuł Blanchard Professor of Chemistry. Obecnie zajmuje się nadal polimerami przewodzącymi i półprzewodzącymi, skupiając uwagę na polianilinie, jej oligomerach i na zastosowaniach badanych materiałów jako czujników, urządzeń elektroluminescencyjnych i powłok ochronnych.

Hideki Shirakawa, urodzony w 1936 r. w Tokio, uzyskał doktorat z chemii na znanej Politechnice Tokijskiej. Tam otrzymał w 1974 r. po raz pierwszy poliacetylen w postaci folii. Zobaczymy później, że miało to podstawowe znaczenie dla wykrycia przewodzącego poliacetyleny. Następnie pracował w Instytucie Badań nad Materiałami na Uniwersytecie w Tsukubie (po powrocie z kilkuletniego pobytu w USA). Obecnie jest na emeryturze, ale nadal zajmuje się polimerami przewodzącymi w aspekcie nowych syntez i ich zastosowania.



Od lewej: Alan Heeger z żoną, Alan MacDiarmid i Hideki Shirakawa.

Zrzędzenie losu lub zbieg dwóch przypadków doprowadził do odkrycia pierwszego (prototypowego) organicznego polimeru przewodzącego – poliacetyleny ($(CH)_n$). W roku 1974 Shirakawa, pracujący wówczas na Politechnice Tokijskiej, badał proces izomeryzacji *cis-trans* poliacetyleny (ciemnego proszku). Omyłkowo w jednej z syntez zastosował 1000 razy więcej katalizatora Zieglera–Natta i otrzymał cienką srebrzystą warstwę, całkowicie zbudowaną z *trans*-(CH)₂. Zmiana temperatury doprowa-

dziła do *cis*-poliacetyleny. Rok później podczas konferencji w Tokio Shirakawa spotkał MacDiarmida i opowiedział mu o swoich wynikach. MacDiarmid zaprosił go na Uniwersytet Pensylwański, gdzie podjęli współpracę z Alanem Heegerem nad poliacetylenem. Był to szczególnie korzystny okres dla badań nad foliami o połysku metalicznym, bowiem MacDiarmid zajmował się srebrzystym polisiarczkiem azotu ($(SN)_n$), który jest polimerem nieorganicznym wykazującym dużą przewodność, a w bardzo ni-

skiej temperaturze nawet nadprzewodnictwo. Natomiast Heeger, jak wspomniano powyżej, zajmował się przewodnictwem krystalicznych kompleksów z przeniesieniem ładunku, w których nakładanie się orbitali π sąsiednich cząsteczek prowadzi do delokalizacji elektronów. Powstałe kolumny i kryształy, np. kompleksy tetratiafulwalenu z tetrachinodwumetanem (TTF-TCNQ), wykazują właściwości pseudojednowymiarowych metali. Problematyka ta była przedmiotem wielkiego zainteresowania zespołów naukowych na uczelniach i w przemyśle.

Zespół trzech laureatów wraz z licznymi studentami podjął badania nad domieszkowaniem *trans*-poliacetyleny jodem. Stwierdzono nieoczekiwany, bardzo silny wzrost przewodności *trans*-poliacetyleny wraz ze wzrostem ciśnienia par jodu. Odkryto więc modelowy polimer przewodzący, po raz pierwszy opisany w słynnej publikacji „Synthesis of Electrically Conducting Organic Polymers: Halogen Derivatives of Polyacetylene (CH)_x”, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 579 (1977). Jej autorami są: Hideki Shirakawa, Edwin J. Louis, Alan G. MacDiarmid, Chwan K. Chiang i Alan J. Heeger. Ta zwięzła publikacja zawiera już wiele szczegółowych danych o strukturze krystalicznej i morfologii fibrylarniej oraz o stechiometrii domieszkowania jodem. Odkrycie to wzbudziło od razu ogromne zainteresowanie i wiele zespołów na całym świecie podjęło pracę, aby zbadać szczegółowo mechanizm domieszkowania i właściwości domieszkowanego (CH)_x.

Do dziś patrzymy z zachwytem na to odkrycie, ale warto uświadomić sobie, że podobnie jak w wielu innych dziedzinach wyrosło ono z odpowiednio przygotowanego gruntu. Wspomniano już poprzednio o badaniach nad organicznymi, krystalicznymi kompleksami z przeniesieniem ładunku. Warto jednak podkreślić, że już poprzednio, w latach 50., znane były krystaliczne półprzewodniki organiczne, które badali H. Akanatsu i H. Inokuchi. Prawie równoległe, zwłaszcza w latach 60. i 70., intensywnie badano polimery półprzewodzące i fotoprzewodzące, z których najlepszym okazał się poli(N-winylokarbazol) domieszkowany akceptorem trinitrofluorenem (TNF). Znalazł on zastosowanie w urządzeniach kserograficznych. Istniał więc w świecie ogromny potencjał wiedzy na temat właściwości elektrycznych i fotoelektrycznych układów organicznych o małym i dużym ciężarze cząsteczkowym (także w Polsce, patrz np. M. Kryszewski, *Semiconducting polymers*, PWN, Warszawa 1980).

Heeger, MacDiarmid i Shirakawa zdawali sobie sprawę z wielkiej wagi własnego odkrycia i zarówno w USA i Japonii, jak również w wielu ośrodkach na całym świecie podjęto prace nad polimerami przewodzącymi prąd, tym bardziej, że poliacetylen ulega rozkładowi w zetknięciu z powietrzem, choć pozostaje nadal atrakcyjnym materiałem do badań nad układami o małej wymiarowości.

W miarę upływu lat rosła liczba nowych polimerów sprzężonych w łańcuchu głównym, odpowiednio domieszkowanych molekularnie. Nie będziemy tu wymieniali kolejno syntetyzowanych i badanych w latach 80. polimerów przewodzących i różnych prób ich zastosowań praktycznych. Wrócimy do nich dalej. Warto wspomnieć jed-

nak o mechanizmie przewodnictwa polimerów przewodzących i półprzewodzących. Wytwarzanie nośników ładunku przede wszystkim jest związane z domieszkowaniem, natomiast przepływ (transport) ładunku zależy od silnego oddziaływania nośnika z siecią, zwłaszcza z najbliższymi atomami łańcucha, na którym nośnik jest zlokalizowany. Te oddziaływania nośnika z łańcuchem często prowadzą do zmiany układu wiązań w łańcuchu. Do opisu mechanizmu takiego oddziaływania posługujemy się często pojęciami kwazicząstek, które są znane w fizyce ciała stałego, jak np. obojętne lub naładowane solitony (kationorodniki), polarony (anionorodniki) i bipolarony (dwukationy).

Przenoszenie kwazicząstki można również rozpatrywać jako szereg następujących po sobie procesów utleniania i redukcji elementów łańcucha lub sąsiednich makrocząsteczek. Przepływ nośnika ładunku przez częściowo krystaliczną próbkę, charakteryzującą się często specyficzną morfologią, jest bardziej złożony. Można wyróżnić w nim przenoszenie wzdłuż domen łańcucha odpowiednio domieszkowanego (części amorficzne), przeskoczenie między domenami przewodzącymi w jednym łańcuchu i między domenami przewodzącymi dwóch lub wielu łańcuchów, wreszcie przeskoki między elementami struktury morfologicznej o różnym stopniu uporządkowania.

Tak więc, o ile przenoszenie wzdłuż pojedynczego łańcucha (lub małej liczby łańcuchów) jest problemem pseudojednowymiarowym, to przepływ ładunku w makroskopowych próbkach jest interpretowany podobnie jak w układach heterogenicznych. Zawierają one części dobrze przewodzące i kwaziizolujące, a więc opisywane są mechanizmami przeskokowymi różnego typu, znanymi z półprzewodników amorficznych lub mieszanin.

Z powyższych bardzo pobieżnych uwag wynika, że badania nad polimerami przewodzącymi rozwijały się w dwóch kierunkach: syntezy nowych materiałów oraz poszukiwań ich właściwości elektrycznych, magnetycznych i optycznych w ścisłym związku z ustaleniem ich struktury krystalicznej oraz morfologicznej.

W latach 80. znane były już liczne przewodzące polimery przetwarzalne, tj. rozpuszczalne lub topliwe, w przeciwieństwie do nietopliwych folii z poliacetyleny. Nie będziemy podawali tutaj w historycznej kolejności otrzymywania i zbadania takich polimerów, jak polipirole – podstawione politiofeny, rozpuszczalne w typowych rozpuszczalnikach organicznych. Najwięcej uwagi poświęca się obecnie polianilinie. Występuje ona w kilku postaciach, z których jedna, emeraldyna, w wyniku protonowania wykazuje dobre przewodnictwo. Jest ona na ogół nierozpuszczalna, lecz dzięki zastosowaniu odpowiednich przeciwjonów może być przetwarzalna tradycyjnymi metodami. Dzięki temu polianilina jest jednym z najczęściej obecnie stosowanych polimerów przewodzących do lakierów i kompozytów (często jako domieszka o bardzo małym stopniu perkolacji).

Dotąd mówiliśmy przede wszystkim o przewodnictwie elektrycznym polimerów przewodzących. Okazało się, że makrocząsteczki polimerów przewodzących i półprzewodzących wykazują ciekawe nieliniowe właściwości

optyczne – są czasem fotochromowe i elektrochromowe. W końcu lat 80. znano także wiele zastosowań przemysłowych polimerów przewodzących, np. baterie (bardzo lekkie), jakkolwiek w większości nie zdobyły one większego rynku, podobnie jak organiczne powłoki elektrochromowe czy fotochromowe.

Chociaż te wszystkie odkrycia i wynalazki wzbudzały powszechne uznanie i zainteresowanie, to jednak w końcu lat 80. nie zostały one uhonorowane Nagrodą Nobla.

Ogromną zmianę stosunku do polimerów przewodzących i półprzewodzących wniósł fakt, że w końcu lat 80. Richard Friend z Cambridge wraz ze współpracownikami odkryli, że niektóre z nich mogą emitować światło, np. poli(fenylowinyleny). Zachowują się one jak półprzewodniki, bowiem występuje w nich przerwa energetyczna między orbitalami π (wiązącymi) oraz orbitalami π^* o większej energii (antywiązącymi). Ta właściwość jest odpowiedzialna za rekombinację wstrzykniętych nośników (dziur i elektronów) i emisję światła. Są one więc aktywnymi elementami diod luminescencyjnych. To odkrycie spowodowało ogromne zainteresowanie naukowe i przemysłowe ze względu na możliwość otrzymywania w prosty sposób, przy niskich napięciach, źródeł światła o dużych rozmiarach. Ten praktyczny sukces miał duże znaczenie, bowiem od dawna poszukiwano tanich diod elektroluminescencyjnych. Na naszych oczach zmienia się kompletnie obraz elektroniki diod luminescencyjnych. Wiadomo obecnie, w jaki sposób można modyfikować budowę polimerów, aby emitowały światło o odpowiedniej długości fali, od czerwonej do niebieskiej (np. przez wybór odpowiednich grup bocznych). Opracowano też układy, w których napięcie pracy jest tak niskie, że do zasilania wystarczają standardowe baterie. W ostatnich 10 latach dokonano olbrzymi postęp w tej dziedzinie; opracowano i zbadano wiele ciekawych i stosunkowo prostych metod wykonywania wielowarstwowych diod luminescencyjnych, przede wszystkim z roztworów i odpowiednio przystosowanych podłoży z elektrodami metalicznymi wstrzykującymi zarówno elektrony, jak i dziury.

Można się zastanawiać, czy wybór tych trzech niezwykle wnikliwych i znakomitych uczonych wyczerpuje liczbę potencjalnych laureatów, ale tak jest zawsze, gdy jest ograniczony wybór i nie wszyscy, którzy mają istotny wkład w daną dziedzinę mogą być wyróżnieni.

Warto może podkreślić, że także w dziedzinie fizyki Nagrodą Nobla zostały uhonorowane badania rewolucjonizujące elektronikę. W przypadku chemii tak się złożyło, że tegorocznymi laureatami Nagrody Nobla przyczyniali się do rozwoju dziedziny od samego jej początku, tj. od wykrycia przewodzącego poliacetyleny aż do badań nad polianiliną i ciągle modyfikowanymi diodami luminescencyjnymi, które teraz są obiektem ich pracy.

Na zakończenie warto powiedzieć, że polimery przewodzące od chwili ich odkrycia nie miały stanowić konkurencji dla elektroniki ciała stałego, choć znane są organiczne tranzystory i kondensatory. Jednakże powłoki antyelektrostatyczne, wyświetlacze elektrochromowe, czujniki elektrochemiczne, baterie słoneczne, separatory ga-

zowe i powłoki antykorozyjne są urządzeniami, które wyrastają z tego samego pnia, a mianowicie z polimerów przewodzących. Jak na tym tle jawi się daleko posunięta miniaturyzacja? Oczywiście narzuca się idea elektroniki molekularnej; jest wiele projektów jej zastosowania, przede wszystkim bramki oraz prostowniki molekularne. Materiałami dla elektroniki molekularnej mogą być polimery lub oligomery przewodzące, ale strukturę tych cząsteczek (zależną od ich budowy chemicznej) nie tak łatwo kształtować, aby otrzymywać elementy elektroniczne w pełni wykorzystujące właściwości takich cząsteczek. Rozwój techniki otrzymywania cienkich warstw z roztworu i organicznej epitaksji molekularnej w ostatnich latach pozwala przypuszczać, że elektronika molekularna nie będzie pozostawać z tyłu w wyścigu o zwiększenie gęstości upakowania układów z wykorzystaniem nowych zjawisk. Nowe idee, nie mieszczące się w ramach obecnego stanu wiedzy, będą prawdopodobnie tak samo twórcze jak wynalezienie sposobu przemiany nieprzewodzącego polimeru w materiał przewodzący, uhonorowane w roku 2000 Nagrodą Nobla w dziedzinie chemii.

Marian Kryszewski

Centrum Badań Molekularnych
i Makromolekularnych PAN
Łódź

Przekazywanie sygnałów w układzie nerwowym (Nagroda Nobla z fizjologii i medycyny)

Być może Czytelnicy pamiętają film *Przebudzenie*, oparty na prawdziwej historii. Opisał ją brytyjski neurolog, dr Olivier Sacks (znany u nas dzięki swojej poczytnej książce *O mężczyźnie, który pomylił swoją żonę z kapeluszem*). W *Przebudzeniu* lekarz i naukowiec w jednej osobie (gra go Robin Williams), odkrywając związek między stanem śpiączki i chorobą Parkinsona, zaczyna wybudzać pacjentów z letargu za pomocą nowego przeciw-parkinsonowego leku L-dopa. Pierwszym takim pacjentem jest Leonard (Robert de Niro – nominacja do Oscara), u którego skutki uboczne terapii szybko dają o sobie znać...

Ostatnio przyznaną Nagrodą Nobla z fizjologii i medycyny uhonorowani zostali trzej badacze układu nerwowego: Arvid Carlsson (ur. w 1923 r. w Uppsali), Paul Greengard (ur. w 1925 r. w Nowym Jorku) i Eric Richard Kandel (ur. w 1929 r. w Wiedniu). Badania pierwszego z nich nad dopaminą doprowadziły m.in. do wytworzenia leku L-dopa, wyrównującego niedobory dopaminy w mózgu. Jest to najskuteczniejsza obecnie terapia farmakologiczna choroby Parkinsona. Pionierskie prace Carlssona przygotowały grunt do badań dla dwóch pozostałych noblistów. Greengard odkrył sekwencje procesów, w wyniku których dopamina przenosi informację pomiędzy komórkami w mózgu. Kandel, również zajmując się przekazywaniem informacji w mózgu, wyjaśnił niektóre mechanizmy uczenia się i pamięci.



Od lewej: Arvid Carlsson, Paul Greengard i Eric Kandel z żoną.

Nobel 2000 w dziedzinie fizjologii i medycyny został więc przyznany za odkrycia podstawowe dla zrozumienia funkcjonowania mózgu, a cytując oficjalny werdykt Akademii – za „przekazywanie sygnałów w układzie nerwowym”. Jest to 24. Nagroda Nobla za badania układu nerwowego. Trzej laureaci podzielili się sumą 915 tys. dolarów amerykańskich.

Historia Nagrody Nobla dla Arvida Carlssona (Uniwersytet w Göteborgu, Szwecja) zaczęła się pół wieku temu. W serii eksperymentów wykonanych w latach 50. Carlsson wykazał, że neuroprzekaźnik – dopamina – występuje głównie w obszarach mózgu odpowiedzialnych za kontrolę ruchów. Zauważył on również, że reserpina – naturalny alkaloid używany w owych czasach jako lek na schizofrenię – obniża zasoby dopaminy w neuronach. W wyniku podania reserpiny króliki traciły zdolność wykonywania ruchów, lecz odzyskiwały ją w wyniku podania L-dopy, którą mózg przerabia na dopaminę. Carlsson dostrzegł podobieństwo między „zamrożonymi” królikami a pacjentami cierpiącymi na chorobę Parkinsona. W parę lat po tym odkryciu L-dopa była już powszechnie stosowanym lekiem. Carlsson wykazał następnie, że leki przeciw schizofrenii blokują receptory dopaminy w neuronach, uniemożliwiając transmisję sygnałów neuronalnych. W ten sposób udowodnił, jak ważną rolę w mózgu odgrywa właściwy poziom dopaminy: jej nadmiar powoduje psychozy, a niedobór – zaburzenia motoryczne. Odkrycia Carlssona pozwoliły zrozumieć również mechanizmy działania leków związanych z wyrównaniem niedoborów lub nadwyżek innych neuroprzekaźników i odegrały istotną rolę w rozwoju nowych leków, np. antydepresyjnego Prozacu.

Paul Greengard (Uniwersytet Rockefellera w Nowym Jorku), zainspirowany badaniami Carlssona nad rolą dopaminy w schizofrenii, zajął się w latach 60. zagadnieniem, w jaki sposób neuroprzekaźniki, w tym dopamina, przekazują sygnały pomiędzy neuronami. W owych czasach uważano, że w transmisji sygnałów neuronalnych odgrywają rolę wyłącznie procesy elektryczne: neuroprzekaźnik po przyłączeniu się do neuronu docelowego powoduje otwarcie kanałów jonowych znajdujących się w bło-

nie komórki. W zależności od rodzaju jonów przepływ prądu jonowego przez błonę komórki pobudza lub hamuje jej aktywność. Greengard wykazał, że scenariusz taki jest raczej wyjątkiem niż regułą, gdyż w większości neuronów proces przekazania impulsu z neuronu do neuronu jest bardziej złożony i opiera się również na procesach biochemicznych. Neuroprzekaźnik po przyłączeniu się do neuronu docelowego wywołuje sekwencję procesów modyfikujących białka, które z kolei regulują wiele funkcji komórki. Modyfikacja białek następuje w wyniku przyłączenia reszty fosforanowej (fosforylacja) lub jej usunięcia (defosforylacja). Ważną grupą białek ulegających fosforylacji są białka tworzące kanały jonowe. Każda komórka ma różne typy kanałów i gdy któryś z nich ulega fosforylacji, funkcjonowanie komórki ulega zmianie – może stać się ona bardziej lub mniej pobudliwa. Odkrycia Greengarda na temat fosforylacji białek przybliżyły zrozumienie mechanizmów działania wielu leków, które działają docelowo na proces fosforylacji w różnych komórkach nerwowych.

Odkrycia procesów fosforylacji w przekazywaniu impulsów nerwowych odegrały również znaczną rolę w badaniach Erica Kandela (Uniwersytet Columbia w Nowym Jorku) nad procesami uczenia się i pamięci. Kandel zaczął karierę naukową jako psychiatra, badając mechanizmy uczenia się u ssaków. Po paru latach badań doszedł do wniosku, że aby dotrzeć do podstaw mechanizmów pamięci, należy wybrać dużo mniej skomplikowany obiekt eksperymentów, i zajął się badaniem ślimaka morskiego *Aplysia*, którego układ nerwowy składa się tylko z ok. 20 tys. stosunkowo dużych neuronów. *Aplysia* nie ma zbyt dużo do pamiętania, posiada natomiast odruch chowania skrzelu do jamy płaszczowej. Kandel odkrył, że pewne rodzaje stymulacji powodują wzmocnienie się odruchu na parę dni lub nawet tygodni. Jest to więc pewien rodzaj pamięci, a u jego podstaw leży zwiększona zdolność przekazywania sygnałów pomiędzy komórkami czuciowymi a komórkami sterującymi ruchami mięśni. Zwiększenie tej zdolności jest związane z mechanizmem fosforylacji białek, odkrytym przez Greengarda. W latach 90. Kandel powrócił do badań ssaków i wykazał, że wykryte u *Aplysia* mechanizmy uczenia się występują również

u myszy. Badania te pozwoliły zrozumieć mechanizmy pamięci krótko- i długotrwałej u człowieka, a chociaż droga do ich pełnego wyjaśnienia jest długa, odkrycia Kandela są przełomowe.

Zapytani przez tygodnik *Science*, czy odmieni się teraz ich los, Carlsson, Greengard i Kandel zgodnie orzekli, iż mają nadzieję, że przyznanie Nagrody Nobla będzie miało minimalny wpływ na ich życie. Paul Greengard przeznaczył swoją część Nagrody na ufundowanie corocznej nagrody dla kobiet o wybitnych osiągnięciach w dzie-

dzinie biomedycyny. W ten sposób pragnie upamiętnić swoją matkę, która zmarła podczas porodu. Kandel przyznaje, że co do materialnej strony Nagrody Nobla nie ma jeszcze konkretnych planów, natomiast jego żona, Denise, ma ich wiele.

Piotr Suffczyński

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

KRONIKA

PTF

Oddział Wrocławski

Dnia 29 listopada 2000 r. odbyło się Walne Zebranie Oddziału Wrocławskiego PTF. Ustępujący Zarząd, któremu przewodniczył Witold Ryba-Romanowski, przedstawił sprawozdanie z dwuletniej działalności.

Oddział liczy 146 członków, wśród nich 22 emerytów i rencistów. W czasie tej kadencji przyjęto trzech nowych członków. Działalność PTF w Oddziale Wrocławskim przeżywa pewien kryzys. Trzy główne ośrodki skupiające fizyków pracujących naukowo, tj. Uniwersytet Wrocławski, Politechnika Wrocławska oraz Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych (INTiBS) PAN organizują własne liczne seminaria w liczbie od kilku do kilkunastu tygodniowo. Tradycyjne spotkania ogólnooddziałowe poza terminami owych seminariów zawodowych nie udają się. Z tego względu Zarząd Oddziału w połowie kadencji uznał, że PTF nie powinien organizować dodatkowych spotkań naukowych, lecz raczej dokonywać wyboru seminariów szczególnie interesujących dla środowiska i po uzgodnieniu z organizatorem czynić je spotkaniami Oddziału PTF. Odbyło się osiem takich posiedzeń naukowych. Wśród referentów spoza Wrocławia byli: prof. Łukasz Turski (CFT PAN, Warszawa) z wykładem „O symetrii i podobieństwie w przyrodzie”, prof. Karol Krop (AGH, Kraków) z wykładem „Promieniowanie synchrotronowe – zastosowanie w nauce i technice”, dr Marcin Wójcik (UJ, Kraków) z wykładem „Problem neutrin słonecznych w 2000 roku” oraz prof. Marek Demiański (UW) z wykładem „Historia stałej kosmologicznej”.

W miarę możliwości Oddział wspomaga upowszechnianie fizyki wśród młodzieży. W Instytutach Fizyki zarówno na Uniwersytecie, jak i na Politechnice odbywają się cykle wykładów połączonych z pokazami dla uczniów i ich nauczycieli z regionu południowo-zachodniej Polski. PTF pokrywa część kosztów obsługi technicznej pokazów

towarzyszących wykładom. To właśnie owe demonstracje są atrakcją przyciągającą uczniów. Jako wykładowcy występują nauczyciele akademicy instytutów fizyki obu wrocławskich uczelni oraz fizycy z INTiBS. W okresie sprawozdawczym odbyło się 27 takich spotkań na Uniwersytecie i 21 na Politechnice. Liczba słuchaczy wahała się od kilkudziesięciu do 250 osób. A raz, kiedy na Politechnice wykład zorganizowano o godz. 13 zamiast o 17, zjawilo się 600 osób i trzeba było go przedstawić w dwóch salach jednocześnie.

Do marca 2000 r. ukazywał się comiesięczny *Biuletyn Informacyjny Fizyków Wrocławskich* redagowany z dużym poświęceniem przez Krystynę Żukowską z PWR. To piśmko poza krótkimi notatkami o wydarzeniach dotyczących środowiska zamieszczało wykaz referatów naukowych, jakie odbyły się w ciągu mijającego miesiąca. Już nie udawało się – jak w poprzednich latach – zdobywanie danych z należytym wyprzedzeniem, aby powiadamiać czytelników o wystąpieniach w czasie przyszłym.

Działający we Wrocławiu Okręgowy Komitet Olimpiady Fizycznej przeprowadzał zawody pierwszych dwóch stopni dla młodzieży województwa dolnośląskiego. Spośród uczniów, którzy przystali do naszego Komitetu rozwiązania zadań pierwszego stopnia, wyłoniono grupę (po 50 osób rocznie), która brała udział w zawodach drugiego stopnia we Wrocławiu. Do Warszawy na zawody centralne wysłano 6 osób w 1999 r. i 6 osób w 2000 r. Nasz Okręg miał w ostatnich 2 latach trzech laureatów Olimpiady centralnej. Pochodzą oni z III LO oraz XIV LO we Wrocławiu.

Walne Zebranie udzieliło absolutorium ustępującemu Zarządowi. Następnie wybrano nowy Zarząd w składzie: przewodniczący – Jerzy Czerwonko, wiceprzewodniczący – Zbigniew Kletowski, sekretarz – Arkadiusz Wójs, skarbnik – Jacek Własak, członkowie – Ewa Dębowska, Bernard Jancewicz, Adam Kiejna.

Bernard Jancewicz

Nominacje profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej otrzymali w dniu 15 stycznia 2001 r.: Stefan Jan Giller (UŁ), Stanisław Józef Lewandowski (IF PAN), Maciej Przanowski (PŁ), Alicja Ratuszna (UŚI), Feliks Stanisław Stobiecki (IFM PAN) i Władysław Żakowicz (IF PAN); w dniu 23 stycznia 2001 r. tytuł otrzymali: Jan Franciszek Cisowski (PŚI), Ryszard Kępa (WSP Rzeszów), Stanisław Kuźmiński (PWR), Sylwester Janusz Rzoska (UŚI), Witold Trzeciakowski (CBW PAN) i Jacek Żebrowski (PW).

Rzeczpospolita, nr 12 i 19 (2001)

Nagroda FNP 2000

Laureatem Nagrody Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w dziedzinie nauk ścisłych w 2000 r. został prof. dr hab. Bogumił Jeziorski, profesor zwyczajny na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego, za „stworzenie nowego formalizmu dokładnych kwantowych obliczeń oddziaływań międzyatomowych i międzymolekularnych”.

Wyróżnienie Bogumiła Jeziorskiego, dla nas, którzy go znają, nie było zaskoczeniem. Jego rozprawa doktorska, wykonana wiele lat temu na Uniwersytecie Warszawskim, zapowiadała nieprzeciętny talent. Obecnie Laureat cieszy się w środowisku naukowym chemików w kraju i za granicą autorytetem od wielu lat, czego najlepszym dowodem jest jego wybór w 1999 r. na członka Międzynarodowej Akademii Kwantowych Nauk Molekularnych (International Academy of Quantum Molecular Science) założonej przez profesorów L. de Broglie'a, R. Daudela, P.O. Lowdina, R. Parra, J. Pople'a i B. Pullmana w 1967 r. Akademia liczy 35 członków i grupuje największe autorytety w dziedzinie chemii teoretycznej. Profesor Jeziorski jest drugim Polakiem w tym gronie (obok niedawno zmarłego prof. Włodzimierza Kołosa).

Profesor Jeziorski opublikował ponad 100 prac naukowych, w tym parę artykułów przeglądowych, m.in. w *Chemical Reviews* i w monografiach poświęconych oddziaływaniom międzymolekularnym. Od początku swojej pracy związany jest z Wydziałem Chemii UW. Rozpoczął pracę publikując wraz z promotorem, prof. Kołosem, wyniki swojej pracy magisterskiej na temat poprawek radiacyjnych dla jonu H_2^+ (1969 r.). Praca ta została dostrzeżona w literaturze bardzo szybko, a na jej wyniki powołał się G. Herzberg w swoim wykładzie noblowskim (1971 r.).

Pierwszym kierunkiem badań, bardzo ważnym w dorobku Bogumiła Jeziorskiego, jest teoria oddziaływań międzymolekularnych, rozwijana wspólnie i z inspiracji prof. Kołosa już w czasie wykonywania pod jego kierunkiem rozprawy doktorskiej (stopień doktorski w 1975 r.). Opracowany został wówczas formalizm metody, zwany obecnie rachunkiem zaburzeń o adaptowanej symetrii (SAPT), który stanowi dziś ważne narzędzie stosowane do badania oddziaływań międzymolekularnych oraz obliczania potencjałów dwu- i wielociałowych. Począwszy

od pierwszej pracy Jeziorskiego i van Hemerta o wiązaniu wodorowym pomiędzy dwiema cząsteczkami wody (1976 r.), która była podstawą metody SAPT, formalizm ten jest szeroko obecnie stosowany i ciągle rozwijany przez Jeziorskiego, Szalewicza, Chałasińskiego i Moszyńskiego oraz innych młodszych współpracowników. Metodą tą wyznaczono najdokładniejszy w literaturze potencjał oddziaływania atomów helu, który został następnie wykorzystany do objaśnienia niezwykłych właściwości odkrytej w 1993 r. cząsteczki helu.

Drugim kierunkiem badań Laureata jest teoria korelacji elektronowej, którą to tematykę rozpoczął w trakcie stażu podoktorskiego w Salt Lake City. Opublikowane wspólnie z H.J. Monkhorstem wyniki (1981 r.) zawierały pierwsze, poprawne sformułowanie wieloreferencyjnej metody sprzężonych klasterów dla układów otwartopowłokowych. Jest to obecnie już klasyczna praca, która wprowadziła nowy język i nowy sposób opisu takich układów.

Z tematyką korelacji elektronowej związany jest problem wyboru baz funkcyjnych dla badanych układów. Jeziorski z Szalewiczem i z współpracownikami jako pierwsi zastosowali bazy gaussowskie bezpośrednio skorelowane (tzw. geminale) w obliczeniach dla molekuł. Uogólnili także rachunek Mollera–Plesseta i metodę sprzężonych klasterów dla baz bezpośrednio zależnych od odległości międzyelektronowej. Pozwoliło to na wykonanie obliczeń w tym formalizmie dla cząsteczki znacznie większej od wodoru, jaką jest cząsteczka wody.

Ciekawą przygodą intelektualną prof. Jeziorskiego były badania nad rozpadem β trytu i nad procesem syntezy termojądrowej katalizowanej mionami, prowadzone wspólnie ze swoim nauczycielem, prof. Kołosem. Badania nad rozpadem β były związane z głośnymi doświadczeniami, przeprowadzanymi w USA, których celem był pomiar masy neutrina, zaś synteza jąder katalizowana mionami to poszukiwania nowej metody otrzymywania energii jądrowej. W pracach na oba te tematy wykorzystywana była metoda stosowana przez Kołosa w jego pionierskich badaniach cząsteczki wodoru oraz nowe rozwiązania w dziedzinie nieadiabatyicznego opisu molekuł.

Za swoje osiągnięcia naukowe Laureat otrzymał medal International Academy of Quantum Molecular Science w 1987 r., Medal J. Zawidzkiego przyznany przez Polskie Towarzystwo Chemiczne w 1994 r. oraz Nagrodę im. Marii Skłodowskiej-Curie, przyznaną przez Polską Akademię Nauk w 1996 r.

Od początków swojej działalności związany z Wydziałem Chemii UW, prof. Jeziorski prowadzi żywą działalność dydaktyczną i wychowawczą, skupiając wokół siebie wielu bardzo zdolnych, młodych ludzi. Przyjazny i życzliwy dla wszystkich, jest zarazem gwarantem rzetelności i najwyższych lotów chemii kwantowej.

Joanna Sadlej

Akredytacja kierunku fizyka

W dniu 18 października 1997 r. zawarte zostało Porozumienie Uniwersytetów Polskich na rzecz Jakości

W obecnym procesie akredytacyjnym kierunku „Fizyka”, ze względu na warunek posadzenia uprawnień do nadawania stopnia doktora habilitowanego, nie braty udziału jednostki z matych uczelni. Mam nadzieję, że w przyszłości to się zmieni. We wchodzących w życie trójstopniowych studiach wyższych mamy: studia licencjackie, uzupełniające magisterskie i magisterskie jednolite oraz studia doktoranckie. Każdy z tych etapów może być realizowany w innej uczelni. Byłoby wskazane, aby jednostki, które prowadzą tylko studia licencjackie czy magisterskie mogły również ubiegać się o akredytację tych studiów w ramach danego kierunku. Będzie to cenne zarówno dla absolwenta takiej uczelni, jak i dla uczelni przyjmującej na wyższy etap. Szansa zdobycia certyfikatu będzie też dla samych jednostek silnym bodźcem do doskonalenia się, podnoszenia jakości kształcenia i zapewnienia lepszej pozycji na rynku pracy swoim absolwentom.

Katarzyna Chataśńska-Macukow

W stulecie urodzin Profesora Henryka Niewodniczanskiego

W roku 2000 minęło sto lat od daty urodzin Profesora Henryka Niewodniczanskiego, twórcy nowoczesnego krakowskiego ośrodka fizyki. Polska Akademia Umiejętności, Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego i Oddział Krakowski Towarzystwa Fizycznego uczciły tę rocznicę wystawą i sesjami naukowymi. Wystawa zorganizowana w Archiwum PAU i PAN w Krakowie zgromadziła dokumenty, fotografie, a także przyrządy ilustrujące życie i działalność Profesora, a pochodzące ze zbiorów własnych Archiwum i udostępnione przez rodzinę, uczniów oraz przyjaciół Profesora, a także przez Instytut, których Profesor był twórcą, tj. Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego i Instytut Fizyki Akademii Umiejętności w Krakowie odbyła się sesja naukowa przedstawiąca działalność Profesora Niewodniczanskiego w aspekcie historycznym.

Henryk Niewodniczanski urodził się dnia 10 grudnia 1900 r. w Wilnie. W Uniwersytecie Stefana Batoro odbył studia fizyki, uzyskał stopień doktora i habilitację. Na sesji prof. Andrzej Hrynkiwicz przedstawił te lata wileńskie Profesora, a prof. Romuald Brazis, fizyk rektor Polskiego Uniwersytetu w Wilnie, omówił pozycję Profesora Niewodniczanskiego w historii fizyki i literatury. Jeszcze w czasie pobytu w Wilnie dokonał Profesor swego najważniejszego odkrycia linii wzbromionych związanych z magnetycznymi przejściami dipolowymi w widmie atomów ciężkich. Było to bez wątpienia najważniejsze osiągnięcie polskiej fizyki doświadczalnej w dobie II Rzeczypospolitej. Wynikiem tym poświęcił swój referat prof. Wojciech Gawlik.

Lata 1934–35 spędził Profesor Niewodniczanski w Mond i Cavendish Laboratory w Cambridge, pracując pod kierunkiem Ernesta Rutheraforda lorda Nelson, ojca fizyki jądrowej. Pobyt u Rutheraforda, którego Niewod-

kształcenia. Sygnatariuszami jego są rektorzy 15 uczelni polskich. Celem Porozumienia jest: tworzenie procedur oceny programów uzgodnionych z systemami oceny stosowanymi w Unii Europejskiej; systematyczne podnoszenie jakości kształcenia; promowanie dobrych jakościowo kierunków kształcenia i uczelni je oferujących.

Zgodnie z powyższym Porozumieniem, Konferencja Rektorów Uniwersytetów Polskich (KRUP) powołana w dniu 31 stycznia 1998 r. Uniwersytecką Komisję Akredytacyjną (UKA), w skład której wchodzi 15 prorektorów uczelni – sygnatariuszy Porozumienia. UKA ma za zadanie uzgadnianie i ujednolicanie standardów jakości kształcenia na uniwersytetach w ramach poszczególnych kierunków oraz przeprowadzanie akredytacji kierunków studiów. Działalność UKA, obejmująca na razie uniwersytety, może w przyszłości objąć inne szkoły wyższe, po zgłoszeniu przez nie kierunków do akredytacji. Procedurę akredytacyjną dla określonego kierunku studiów wszczyna się po zgłoszeniu wniosków akredytacyjnych przez co najmniej pięć uniwersytetów. Jednostka organizacyjna uczelni ubiegająca się o akredytację określonego kierunku studiów musi spełniać następujące warunki: posiadać wewnętrzne zasady stykulowania i oceny jakości kształcenia (minimum wymagań polega na opracowaniu ankiety, w których studenci oceniają jakość prowadzonych zajęć dydaktycznych); posiadać opracowany system punktów kredytowych zgodny z systemem europejskim ECTS; kierunek i poziom kształcenia musi spełniać przyjęte przez UKA wymagania kadrowe.

Zgodnie z założeniami UKA standardy akredytacji kierunku studiów dotyczą 4 dziedzin. Są to: treści i programy nauczania, kadra nauczająca, system i organizacja kształcenia, warunki kształcenia.

Proces akredytacyjny ma dwa zasadnicze etapy: przygotowanie wniosku o udzielenie akredytacji, który jest samooceną jednostki, oraz wizyta Zespołu Oceniającego, której celem jest zapoznanie się na miejscu z warunkami nauczania i jakości kształcenia.

Kierunek „Fizyka” był jednym z pierwszych, które podały się do procedury akredytacyjnej. Zgłoszono się 9 jednostek: Wydział Fizyki UW, Wydział Fizyki UAM, Instytut Fizyki UMK, Instytut Fizyki USI, Instytut Fizyki UJ, Wydział Matematyki i Fizyki UG, Wydział Fizyki i Astrofizyki UW, Instytut Fizyki UMCS, Wydział Fizyki i Chemii UŁ. Wszystkie przeszły tę próbę pomyślnie i otrzymały certyfikat na 5 lat.

Czy warto poddać się procedurze akredytacyjnej? Na pewno tak. Wy maga ona krytycznego spojrzenia na strukturę i rozwiązania istniejące we własnej jednostce. Zmusza do odpowiedzialności na pytanie, jak lepiej wykorzystywać jej potencjał, aby zapewnić lepsze warunki studentom i pracownikom. Zyciowe, ale i krytyczne spojrzenie członków Zespołu Oceniającego, z których każdy wywodzi się z innej uczelni, jest okazją do wymiany doświadczeń. W trakcie dyskusji pojawiają się nowe rozwiązania, nowe koncepcje. Łatwiej przelamać nie zawsze najbliższe wieloletnie przyzwyczajenia.

niczkański uważał za jednego ze swych najważniejszych mistrzów, zaważył na jego dalszym życiu i działalności naukowej. Zajmował się tam pomiarami oporu elektrycznego metali w bardzo niskich temperaturach i pracami ze spowolnionymi do niskich energii neutronami, odkrytymi niedawno przedtem w tym Laboratorium przez Chadwicka. Na sesji zagadnieniom tym i związkom Profesora z Rutherfordem poświęcił swój referat prof. Adam Strzałkowski.

Po wojnie, w roku 1946 przybył prof. Niewodniczański do Krakowa, obejmując II Katedrę Fizyki Doświadczalnej na Uniwersytecie Jagiellońskim. Szybko zgromadził wokół siebie grono młodych uczniów i współpracowników, rozpoczął wyposażanie laboratoriów w aparaturę naukową, zorganizował dwa instytuty fizyki: uniwersytecki i Instytut Fizyki Jądrowej. Zainicjował w stworzonych przez siebie placówkach badawczych trzy współczesne kierunki badań, w których był specjalistą: optykę atomową, fizykę jądrową i fizykę ciała stałego. Niewodniczański jako twórca krakowskiej fizyki jądrowej przedstawił na sesji w swym referacie prof. Kazimierz Grotowski. Profesor Jerzy Janik mówił o działalności Niewodniczańskiego w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej, a prof. Andrzej Budzanowski przedstawił krakowski Instytut Fizyki Jądrowej, którego prof. Niewodniczański był twórcą. Dzieci Profesora, Justyna Blinowska, Jerzy i Tomasz Niewodniczańscy podzielili się z uczestnikami sesji swymi wspomnieniami rodzinnymi.

Poprzedniego dnia, 16 listopada 2000 r., odbyło się w Instytucie Fizyki UJ uroczyste Konwersatorium Naukowe PTF poświęcone omówieniu współczesnego stanu badań w dziedzinach fizyki, które Profesor Niewodniczański zainicjował w Krakowie. Profesor Jerzy Janik omówił na tym Konwersatorium badania neutronowe, prof. Tomasz Dohnalik prace z atomowej spektroskopii optycznej, dotyczące linii wzbronionych, a prof. Lucjan Jarczyk przedstawił badania z fizyki jądrowej.

Referaty przedstawione na tych sesjach zostaną opublikowane w ramach serii wydawniczej „W Służbie Nauki” wydawanej przez Polską Akademię Umiejętności.

Adam Strzałkowski

Instytut Nanoukładów

Na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Barbara został utworzony Instytut Nanoukładów, którego dyrektorem została Martha Krebs, profesor Uniwersytetu Kalifornijskiego w Los Angeles, poprzednio dyrektor Wydziału Nauki w amerykańskim Ministerstwie Energetyki.

– Czeka nas długotrwały wysiłek – powiedziała Martha Krebs – aby doprowadzić do zrozumienia, jak działa przyroda w nanoskali. Stwarzamy od podstaw ośrodki,

w którym biologowie, chemicy, fizycy i inżynierowie będą mogli pracować razem, porozumiewać się i wzajemnie uczyć postrzegania i rozumienia zjawisk.

Nowy Instytut będzie otrzymywał przez pierwsze 4 lata po 25 mln dolarów z budżetu stanu Kalifornia i co najmniej drugie tyle z innych źródeł (głównie firm przemysłowych). Jego zadaniem będzie tworzenie miniaturowych układów, które kiedyś znajdą zastosowanie w elektronice, komputerach, badaniach środowiska i medycynie molekularnej.

Science 290, nr 5499 (2000)

B. W.

Konkurs na zastosowania elektromagnetyzmu

Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu (PTZE) ogłosiło konkurs na pracę magisterską lub doktorską z dziedziny zastosowań magnetyzmu, wyróżniającą się oryginalnością i pomysłowością w zastosowaniu elektromagnetyzmu (zjawiska, modeli fizycznych i matematycznych, metod badawczych) w technice, medycynie i biologii.

Prace konkursowe należy przekazać do 31 października 2001 r. do Zarządu PTZE (Andrzej Krawczyk, Pożaryskiego 28, 04-703 Warszawa) łącznie z krótką (do 1 str. maszynopisu) charakterystyką pracy przygotowaną przez promotora lub opiekuna naukowego.

PTZE przyzna jedną nagrodę w wysokości 5000 zł oraz dwa wyróżnienia w postaci bezpłatnego uczestnictwa w seminarium środowiskowym PTZE w 2002 r. Jury Konkursu składa się z członków Zarządu PTZE: prezes – Andrzej Krawczyk (PCz), wiceprezesi – Czesław Rymarz (WAT) i Andrzej Turski (IPPT), sekretarz – Romuald Kotowski (Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych), skarbnik – Liliana Byczkowska-Lipińska (PŁ), członkowie – Jerzy Paweł Nowacki (P-JWSTK), Krzysztof Kluszczyński (PŚI) i Ryszard Sikora (PSz).

Dokładniejszych informacji o konkursie można zasięgnąć telefonicznie: (22) 8123050 lub pocztą elektroniczną: krawczyk@iel.waw.pl.

Andrzej Krawczyk

Biologia z fizyką w NASA

W amerykańskim Państwowym Urzędzie ds. Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA) został utworzony Oddział Badań Biologicznych i Fizycznych. Opracowanie interdyscyplinarnego programu badań fizycznych, biologicznych, chemicznych i inżynierskich powierzono Baruchowi Blumbergowi (Nagroda Nobla 1976 z medycyny/fizjologii), który jest również dyrektorem Instytutu Astrobiologii NASA.

Phys. Today 54, nr 1 (2001)

B. W.

000001353
UNIWERSYTET MARII CURIE-SKŁODOWSKIEJ
Biblioteka Instytutu Fizyki
pl. Marii Curie-Skłodowskiej 1
20-031 Lublin tel. 81 73 62 94

KALENDARZ IMPREZ

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

2001

5 – 9 czerwca 2001, Toruń

XXXIII Sympozjum Fizyki Matematycznej

Inst. Fizyki UMK; dr Miłosz Michalski, IF UMK, Grudziądzka 5, 87-100 Toruń, tel.: (56) 6113236, fax: (56) 6225397, adr.el.: smp@phys.uni.torun.pl.

10 – 15 czerwca 2001, Krynica-Czarny Potok

IX Krajowe Sympozjum Nadprzewodnictwo Wysoкотemperaturowe

Wydz. Fizyki i Techniki Jądrowej AGH oraz Inst. Fizyki UJ; prof. Andrzej Kołodziejczyk, Wydz. FiT Jądr. AGH, Reymonta 19, 30-059 Kraków, tel.: (12) 6172589, adr.el.: akol@uci.agh.edu.pl lub prof. Andrzej Szytuła, IF UJ, Reymonta 4, 30-059 Kraków, tel.: (12) 6324888 w. 5546, adr.el.: szytuła@if.uj.edu.pl.

27 – 30 czerwca 2001, Wrocław

XVI Sympozjum Maksa Borna: Operatory Schrödingera, potencjały losowe i zaburzenia osobliwe

Inst. Fizyki Teoretycznej UW; prof. Witold Karwowski, IFT UW, pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław, adr.el.: wkar@if.uj.edu.pl.

A: 18.5.01, P, U: 60, O: 500 zł, ang.

28 czerwca – 3 lipca 2001, Zakopane

Int. Conf. „From Quantum Optics to Photonics”

Inst. Fizyki UJ, Wydz. Fizyki UW, Sekcja Optyki PTF, patronat Europejskie Tow. Optyczne; sekretariat konferencji: IF UJ, Reymonta 4, 30-059 Kraków, fax: (12) 6338494, adr.el.: eosam@if.uj.edu.pl, Internet: www.igf.fuw.edu.pl/eosam2001. A: 30.4.01, P, U: 200, O: 450 USD (łącznie z zakwaterowaniem i wyżywieniem), ang.

2 – 7 września 2001, Zakopane

IUTAM Symposium on Tubes, Sheets and Singularities in Fluid Dynamics

Wydz. Fizyki UW; dr Konrad Bajer, Inst. Geofizyki UW, tel.: (22) 8226013, fax: (22) 8222387, adr.el.: IUTAM@igf.fuw.edu.pl.

5 – 7 września 2001, Gliwice

IV Krajowa Konferencja „Podstawy Fizyczne Badań Nieniszczących”

Oddz. Gliwicki Polskiego Tow. Fizycznego i Inst. Fizyki Politechniki Śląskiej; dr Jerzy Bodzenta, IF PŚI, Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, tel.: (32) 2372932, adr.el.: bodzenta@zeus.polsl.gliwice.pl.

Z: 30.5.01, A: 15.6.01, P.

10 – 13 września 2001, Ustroń

II Int. Seminar on Semiconductor Surface Passivation – SSP 2001

Zakład Mikroelektroniki Inst. Fizyki PŚI; dr hab. Jacek Szuber, ZM IF PŚI, Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, tel.: (32) 2372057, fax: (32) 2372216, adr.el.: szuber@zeus.polsl.gliwice.pl, Internet: zeus.polsl.gliwice.pl/zm/ssp'2001.

A: 31.5.2001, P, U: 75, O: 300 USD, ang.

11 – 14 września 2001, Polanica Zdrój

XLVIII Otwarte Seminarium z Akustyki, OSA 2001

Oddz. Wrocławski Polskiego Tow. Akustycznego, Inst. Telekomunikacji i Akustyki Pol. Wrocławskiej i Komitet Akustyki PAN; dr inż. Krzysztof Opieliński, ITiA PW, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, tel.: (71) 3203028, adr.el.: osa2001@zakus.ita.pwr.wroc.pl, Internet: zakus.ita.pwr.wroc.pl/pta/osa2001.

Z: 31.1.01, A: 12.5.01, P.

17 – 20 września 2001, Toruń

XXXVI Zjazd Fizyków Polskich

Oddział Toruński PTF; prof. A. Bielski, IF UMK, Grudziądzka 5/7, 87-100 Toruń, adr.el.: ptf@phys.uni.torun.pl, Internet: www.phys.uni.torun.pl/~ptf.

19 – 21 września 2001, Warszawa

Int. Symposium: Plasma 2001 – Research and Applications of Plasma

Inst. Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy; 00-908 Warszawa 49, skr.poczt. 49, tel.: (22) 6381460, fax: (22) 6668372, adr.el.: plasma2001@ifpilm.waw.pl.

P, U: 150, O: 250 USD, ang.

20 – 22 września 2001, Kraków

X Int. Symposium on Electromagnetic Field in Electrical Engineering

Instytut Elektrotechniki; prof. Andrzej Krawczyk, IE, Pożaryskiego 28, 04-703 Warszawa, tel.: (22) 8123050, fax: (22) 6157535, adr.el.: krawczyk@iel.waw.pl.

23 – 29 września 2001, Jaszowiec

IV Int. School and Symposium on Physics in Materials Science. Nanomaterials and nanostructures – fabrication, properties, physical models

Inst. Energii Atomowej i Wyd. Inżynierii Materiałowej PW; prof. Andrzej Czachor, IEA, 05-400 Świerk-Otwock, tel.: (22) 7180060, adr.el.: e08@cyf.gov.pl oraz dr Katarzyna Konopka, WIM PW, Wołoska 141, 02-507 Warszawa, tel.: (22) 60608441, adr.el.: kako@inmat.pw.edu.pl.

U: 100, O: ok. 270 USD, ang.

NOWE KSIĄŻKI

- Bertrand Russell, *ABC teorii względności*, z jęz. angielskiego tłum. Zdzisław Markiewicz; Fundacja ALTHEIA, Warszawa 2000, s. 176, cena 22 zł.
- Bernard Jancewicz, *Wielkości skierowane w elektrodynamice*, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 2000, s. 213, cena 40 zł.
- Jan Trąbka, *Odwieczny chaos a tworzenie się świata*, Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2000, s. 156, cena 22 zł.
- Przemysław Wojtaszczyk, *Teoria falek*, PWN, Warszawa 2000, s. 249, cena 30 zł.
- Mariusz Ziółko, *Modelowanie zjawisk falowych*, AGH – Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2000, s. 120, cena 14 zł.
- Kazimierz Chudziński, Tomasz Kardaś, *Noblista ze Strzelna*, Wyd. Towarzystwa Miłośników Miasta Strzelna, Strzelno 2000.
- Władysław Przygocki, Andrzej Włochowicz, *Fizyka polimerów*, PWN, Warszawa 2001, s. 368.
- Andrew Liddle, *Wprowadzenie do kosmologii współczesnej*, z jęz. angielskiego tłum. Ewa L. Łokas i Bogumił Bieniok; Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 133, cena 28 zł.
- Ed Regis, *Nanotechnologia – Narodziny nowej nauki, czyli świat cząsteczka po cząsteczce*, z jęz. angielskiego tłum. Mirosław Prywata; Prószyński i S-ka, Warszawa 2001, s. 344, cena 35 zł.
- Lech Górniewicz i Roman S. Ingarden, *Analiza matematyczna dla fizyków*, t. I, wyd. III, Wyd. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2000, s. 256, cena 31 zł.
- Hans Breuer, *Atlas fizyki*, z jęz. niemieckiego tłum. Jerzy Gronkowski; Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 402, cena 59 zł.

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2001 r. wynosi 30,00 zł za pół roku, 60,00 zł za rok. Prenumeratę można zamówić za pośrednictwem:

I. RUCH-u

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

2. Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę: cena prenumeraty krajowej + rzeczywiste koszty wysyłki. Wpłaty przyjmuje „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy na konto: PEKAO SA IV O/Warszawa nr 12401053-40060347-2700-401112-001 lub w kasie Oddziału (Warszawa, ul. Jana Kazimierza 31/33). Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego numeru.

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. ZARZĄDU GŁÓWNEGO PTF

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

III. ODDZIAŁÓW PTF

Prenumeratę można zamówić również w oddziale PTF. Członkowie PTF, którzy opłacają prenumeratę w oddziałach PTF na cały rok, otrzymują 40% zniżki. Taka sama zniżka (40%) przysługuje studentom. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

INFORMACJE DLA AUTORÓW

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

1. Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków. Bardziej szczegółowe wskazówki co do ich charakteru przedstawione są w *Postęпах Fizyki* **24**, 701 (1973); **33**, 299 (1982). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.

2. Maszynopisy pracy należy nadsyłać pod adresem: Redakcja *Postępów Fizyki*, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres (również komputerowy) do dalszej korespondencji.

3. Maszynopis winien być napisany **na arkuszach formatu A4 jednostronnie, z podwójną interlinią** (nie więcej niż 30 wierszy na stronie) i marginesem 3,5 cm z lewej strony.

4. Rysunki należy wykonać starannie na oddzielnych arkuszach. Napisy, ograniczone do minimum, winny być czytelne i tylko w języku polskim. Na odwrocie rysunku należy podać jego numer, nazwisko autora i pierwsze wyrazy tytułu pracy. Podpisy do rysunków, tabele (z ich tytułami) i spis literatury winny być napisane na oddzielnych stronach.

5. Układ strony tytułowej (tytuł polski, angielski, streszczenie angielskie, ...), tekstu, odnośników literaturowych itd. powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły np. w tym numerze).

6. Aby skrócić cykl wydawniczy, prosimy autorów przygotowujących swe artykuły na komputerach o nadsyłanie, wraz z maszynopisami, **plików**, zawierających **teksty artykułów** oraz **rysunki**, pocztą elektroniczną (nasz adres: postepy@fuw.edu.pl) lub na dyskietkach.

7. Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej.

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

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

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Jana Kazimierza 31/33, skrytka pocztowa 12, 00-958 Warszawa, Poland.

SPIS TREŚCI

K. Rzążewski – O prędkości światła	57
A. Kent – Nocne rozmyślenia fizyka kwantowego	68
RÓŻNE	
K. Zalewski – Fizyka w Polsce w roku 2000 ...	78
J. Majewski – Pomiary a zjawiska fizyczne	91
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	95
RECENZJE	97
NAGRODY NOBLA 2000	100
KRONIKA	107

CONTENTS

K. Rzążewski – On the velocity of light	57
A. Kent – Night thoughts of a quantum physicist	68
MISCELLANEA	
K. Zalewski – Physics in Poland AD 2000	78
J. Majewski – Measurements and physical phenomena	91
MEETINGS AND CONFERENCES	95
REVIEWS	97
NOBEL PRIZES 2000	100
CHRONICLE	107

WKRÓTCE

- *O koncepcji nauczania fizyki środowiska (Egbert Boeker) i studiach licencjackich „Fizyka środowiska” na UW (Konrad Bajer)*
- *George M. Zaslavsky: Dynamika chaotyczna a geneza praw statystycznych*
- *Granty KBN z fizyki – XVIII i XIX konkurs*
- *Jerzy Witczak o filozofii przyrody w roku 1000*
- *Wspomnienia: Charlesa P. Enza o Wolfgangu Paulim i Adama Kiejny o Kazimierzu F. Wojciechowskim*