

tom 57

zeszyt 2 rok 2006

nr indeksu 369721

cena 12 zł (0% VAT)

POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



Ekonofizyka w natarciu

Plazmony powierzchniowe

Wykłady Feynmana



Wielki Festyn Fizyczny we Wrocławiu

Kulminacyjnym punktem obchodów Światowego Roku Fizyki we Wrocławiu był Wielki Festyn Fizyczny, który odbył się 18 czerwca 2005 r. na wrocławskim Rynku. Ta całodzienna impreza plenerowa, otwarta dla wszystkich, zorganizowana została przez Oddział Wrocławski PTF oraz Instytut Fizyki Uniwersytetu Wrocławskiego i Politechniki Wrocławskiej przy wsparciu finansowym rektorów obydwu uczelni i miała na celu popularyzację fizyki wśród mieszkańców Wrocławia przez pokazy efektownych i zabawnych doświadczeń fizycznych wraz z ich przystępnymi objaśnieniami. Patronat nad Festynem sprawowała lokalna redakcja *Gazety Wyborczej*, która w dniach 13–17 czerwca zamieszczała codziennie informacje o mającym się odbyć Festynie i opisywała ciekawe doświadczenia, które będzie można na nim obejrzeć, zachęcając w ten sposób wrocławian do wzięcia w nim udziału.

Przy kilkunastu stoiskach ustawionych w Rynku, pod ogrodowymi daszkami, dzieci, młodzież i dorośli mieli okazję nie tylko obserwować, ale też wykonywać doświadczenia fizyczne pod kierunkiem pracowników naukowych, doktorantów i studentów fizyki Uniwersytetu i Politechniki. Na Festynie zaprezentowali również swój wielki kunszt eksperymentatorski specjaliści od demonstracji fizycznych z innych uniwersytetów: UMCS w Lublinie, UMK w Toruniu oraz UŚI w Katowicach, biorący wcześniej udział w V Spotkaniu Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki, zorganizowanym przez Instytut Fizyki PWr i Instytut Fizyki Doświadczalnej UWr w dniach 15–17 czerwca 2005 r.

Zainteresowanie imprezą wśród mieszkańców Wrocławia i turystów oglądających piękny wrocławski Rynek

przeszło najśmielsze oczekiwania organizatorów. W godzinach szczytu trudno było się dopchać do stoisk z doświadczeniami, by m.in. dowiedzieć się, czy pociąg może latać w powietrzu i dlaczego Einsteinowi włosy stanęły dęba, czy można zanurzyć rękę we wrzółku i się nie poparzyć, albo jak powstają bańki mydlane, spróbować rozbić młotkiem różę, włączyć cytrynową baterijkę, oddać strzał z próżniowego działka, zobaczyć lewitujące nadprzewodniki, sprawdzić, co czuje tancerz w piruecie, czy też stać się celem dla działka magnetycznego. I nikt się nie rozczarował, nie odszedł zawiedziony – zapowiadane atrakcyjne doświadczenia udawały się znakomicie (pomimo przeszkadzających nieco porywów wiatru). Szczególnie wiele emocji wzbudzały widowiskowe próby rozdzielania, przy udziale kilkudziesięciu widzów, półkul magdeburskich (fot.). Impreza, która została zorganizowana bardzo skromnymi środkami, była ogromnym sukcesem, dzięki bardzo dużej aktywności pracowników i studentów Uniwersytetu i Politechniki. Szczególne słowa uznania i podziękowania należą się Piotrowi Kurzynowskiemu za wielkie zaangażowanie i trud włożony w przygotowanie tej imprezy. Festyn stanowił doskonałą promocję zarówno samej fizyki jak i wrocławskich instytutów fizycznych. Wszyscy pytali, kiedy znów będzie można „tak ciekawie poeksperymentować”. Organizatorzy zapraszali na prezentacje fizyczne w czasie wrześniowego Dolnośląskiego Festiwalu Nauki, ale zaczęli też myśleć o zorganizowaniu podobnej fizycznej imprezy plenerowej za rok.

W imieniu Zarządu Oddziału Wrocławskiego PTF pragniemy serdecznie podziękować wszystkim demonstratorom, pracownikom naukowym i studentom za wspieranie pokazy, które zadecydowały o sukcesie Festynu i przyczyniły się do popularyzacji fizyki we Wrocławiu.

Ewa Dębowska, Adam Kiejna



Uczestnicy Wielkiego Festynu Fizycznego we Wrocławiu w czerwcu 2005 r. starają się rozdzielić półkule magdeburskie (chyba znów bez rezultatu – red.)

RADA REDAKCYJNA

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

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

KOMITET REDAKCYJNY

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

Adres Redakcji:

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

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Maciej Piętka (Białystok), Aleksandra Wronkowska (Bydgoszcz), Marian Głowacki (Częstochowa), Ryszard Drozdowski (Gdańsk), Roman Bukowski (Gliwice), Jerzy Warczewski (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunis (Kielce), Małgorzata Nowina Konopka (Kraków), Elżbieta Jartych (Lublin), Michał Szanecki (Łódź), Ewa Pawelec (Opole), Maria Potomska (Poznań), Małgorzata Pociąg (Rzeszów), Małgorzata Kuzio (Słupsk), Janusz Typek (Szczecin), Winicjusz Drozdowski (Toruń), Aleksandra Miłosz (Warszawa), Bernard Janczewicz (Wrocław), Joanna Borgensztajn (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Reinhard Kulesa (prezes), Krystyna Ławniczak-Jabłońska (sekretarz generalny), Roman Puźniak (skarbnik), Jacek M. Baranowski, Przemysław Dereń, Mirosław Trociuk i Jerzy Warczewski (członkowie wykonawczy), Bolesław Augustyniak, Maria Dobkowska, Stanisław Dubiel, Henryk Figiel, Jacek Przemysław Goc, Zofia Gołąb-Meyer, Bernard Janczewicz i Ewa Kurek (członkowie)

Adres Zarządu:

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

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Eugeniusz Żukowski (Białystok), Stefan Kruszewski (Bydgoszcz), Michał Piasecki (Częstochowa), Marek Grinberg (Gdańsk), Andrzej Klimasek (Gliwice), Wiktor Zipper (Katowice), Janusz Braziewicz (Kielce), Zbigniew Majka (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Bogusław Broda (Łódź), Ryszard Pietrzak (Opole), Roman Świetlik (Poznań), Małgorzata Kłisowska (Rzeszów), Grzegorz Karwasz (Słupsk), Adam Bechler (Szczecin), Ryszard S. Trawiński (Toruń), Jerzy Garbarczyk (Warszawa), Zbigniew Kletowski (Wrocław), Paweł B. Sczaniecki (Zielona Góra)

REDAKTORZY NACZELNI INNYCH CZASOPISM

WYDAWANYCH POD EGIDĄ PTF

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

Czasopismo ukazuje się od 1949 r.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Zeszyt dofinansowany przez Komitet Badań Naukowych

Wydano pod patronatem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Skład komputerowy w redakcji

Opracowanie okładki: Studio Graficzne etNova Piotr Zendak i Wspólnicy sp.j., tel.: (22) 8735520, e-mail: etnova@etnova.pl

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

ISSN 0032-5430

SPIS TREŚCI

PTF	II s. okładki, 57, 78, 84
M. Szydłowski – Rozwój nauki a wzrost gospodarczy – fizyczny punkt widzenia	50
D. Frąckowiak, P. Siejak – Biofizyczne zastosowania efektu plazmonów powierzchniowych	58
M. Sands – Uchwycić mądrość Feynmana	66
M. Pindor – Analityczność i fizyka	73
WSPOMNIENIA: Maciej Pindor (1941–2003)	79
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	83
RECENZJE	85
NOWI PROFESOROWIE	88
LISTY DO REDAKCJI	89
KRONIKA	91

Drodzy Czytelnicy!

Teraz, gdy sprawy finansów, ekonomii wywołują tak gorące dyskusje, możemy polecić artykuł Marka Szydłowskiego o ekonofizyce – z pewnością wart jest przemyślenia. Nowe osiągnięcia biofizyki, stwarzające potężne narzędzie badań w tej dziedzinie, przedstawiają Danuta Frąckowiakowa i jej młody współpracownik Przemysław Siejak.

Starsi Czytelnicy może pamiętają, jak wielkie wrażenie zrobiło w latach sześćdziesiątych pojawienie się feynmanowskich wykładów z fizyki. Jedni zachwycali się jasnym, niekonwencjonalnym przedstawieniem zagadnień fizyki, inni orzekli, że nie jest to odpowiedni podręcznik akademicki. Jak ta książka powstawała, dowiedzie się ze wspomnień Matthew Sandsa, jednego ze współautorów.

Uczestnicy XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich mieli okazję usłyszeć prawykonanie utworu Wojciecha Kilara *Sinfonia de motu*. List Jerzego Warczewskiego wyjaśnia, jak doszło do skomponowania *Symfonii*.

W zeszycie do czytania jest wiele, więc zachęcamy do lektury.



Barbara Wojtowicz

Na okładce:

Zdjęcie monet, wykonane przez Wadima Makarowa z St. Petersburga (www.vad1.com) i wykorzystane za uprzejmą zgodą Autora, nawiązuje do artykułu Marka Szydłowskiego o zastosowaniu metod fizyki w ekonomii (s. 50).

Rozwój nauki a wzrost gospodarczy – fizyczny punkt widzenia

Marek Szydłowski

*Centrum Układów Złożonych im. Marka Kaca, Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński
oraz Obserwatorium Astronomiczne UJ*

Advances in science vs. economic growth – a physical viewpoint

Abstract: A macroeconomic model with human capital is discussed. It is demonstrated that at late stages of economic development science, especially physics, is the main factor determining the rate of economic growth. It is also argued that physics can play an important role in understanding economic processes.

Wstęp

Dopiero gdy zetkniemy się z modelowaniem rzeczywistości społecznej czy gospodarczej, zaczynamy naprawdę doceniać rolę języka nauk ścisłych w modelowaniu otaczających nas zjawisk. Jego podstawowy walor w modelowaniu wszelkich procesów, także makroekonomicznych, polega na tym, że jeśli zgodzimy się z założeniami modelu, to nieuchronnie musimy się zgodzić z wynikającymi stąd konsekwencjami. Co więcej, nasz język zaczyna być de facto używany do opisu procesów i faktów ekonomicznych.

W fizyce chlebem powszednim jest formułowanie związków między wielkościami fizycznymi w języku równań różniczkowych, gdy tymczasem w ekonomii to całkiem niedawne odkrycie. Jednym z pionierów takiego myślenia w ekonomii był Polak, Michał Kalecki [1–4].

O ile stosowanie matematyki w badaniach makroekonomicznych jest od dawna rzeczą naturalną, o tyle przenikanie metod fizyki do ekonomii staje się dopiero udziałem naszych czasów. Potrzeba wyjaśniania procesów ekonomicznych w języku nauk przyrodniczych nie jest próbą zredukowania ekonomii do fizyki, lecz jedynie spojrzenia na te procesy przez starszego, bardziej doświadczonego brata – fizyka, mającego duże doświadczenie w modelowaniu procesów otaczającego nas świata oraz operowaniu dużymi strumieniami danych. Działo się już tak kiedyś, gdy fizycy wkraczali do biologii. Jak wiemy, nie zatraciła ona przez to swojej *vis vitalis*, a biofizyka ogólnie ją wzbogaca. Myślę, że z podobną sytuacją mamy do czynienia w ekonomii; metody używane przez fizyków mogą jedynie, jak w przypadku biofizyki, przynieść pożytek: głębszy wgląd w istotę procesów społecznych i ekonomicznych. Oznacza to oczywiście, że fizycy muszą się nauczyć od dobrych ekonomistów, jak Robert Barro z Wydziału Ekonomii Uniwersytetu Harvarda [5–7]), tego, co ci już

wiedzą. Z uczeniem się rzeczy nawet bardzo trudnych, lecz ważnych nigdy zresztą nie mieliśmy problemów.

Matematycy, tacy jak Lew Pontriagin [8], a wcześniej Frank Ramsey [9], wykazali wielką skuteczność języka matematyki w ekonomii. Opinia, że niektórych kroków milowych w makroekonomii dokonali matematycy (np. John Nash) jest powszechna wśród ekonomistów także dzisiaj. Początek współczesnej teorii wzrostu gospodarczego dała koncepcja Ramseya optymalizacji wyboru konsumenta w czasie. Ramsey opisał ją matematycznie przy użyciu tzw. funkcji użyteczności, która należy dzisiaj do kanonu ekonomii, chociaż spotkała się z dużą krytyką przez współczesnych Ramseyowi ekonomistów. Kolejny kamień milowy w teorii wzrostu gospodarczego stanowi wydana w 1962 r. praca Pontriagina [8]. Dzisiaj jego metoda dynamicznej maksymalizacji (optymalizacji), dająca równania ruchu, a stąd szybkość wzrostu gospodarczego, jest powszechnie stosowana w modelach wzrostu gospodarczego określających ścieżki optymalnego wzrostu.

Ten wstęp historyczny ilustruje, że podczas gdy matematycy dowiedli już swej skuteczności w badaniach ekonomicznych i ogólnie społecznych, fizycy wystawieni są dopiero teraz na próbę pokazania swojej przydatności. Moim zdaniem jest to dla nas wyzwanie, które dodałbym do wymienionych przez prof. Józefa Spałka w jego eseju „Czy fizyka ma szansę w XXI wieku?” [10]. Już dzisiaj mówi się w krajach anglosaskich o „econophysics” [11], a w Rosji o „fizycznej ekonomii” [12]. Nazwę „physical economics” wprowadził amerykański ekonomista Lyndon LaRouche [13], znany jako doradca Reagana i twórca nowego kierunku ekonomicznego, tzw. reaganomiki, w której istotnie wzmacnia się rolę państwa. Pod określeniem „physical” LaRouche rozumiał ekonomię *modo fisico*, zbudowaną na obraz i podobieństwo nauk ścisłych. Dziedzina taka jeszcze dotąd nie powstała, chociaż istnieją

liczne próby zastosowania metod fizycznych, np. mechaniki nieliniowej, do opisu modeli cyklu koniunkturalnego [14]. Dodajmy jeszcze, że teoria wzrostu gospodarczego już od czasów ekonomii klasycznej starała się upodobnić raczej do fizyki (mechaniki klasycznej) niż matematyki, która pełniła tylko funkcję użytecznego narzędzia. Determinizm w ekonomii ma swój pierwowzór w mechanice newtonowskiej [15].

W ekonomii teoretycznej istnieje wiele kierunków, z których najbardziej rozwinięty jest nurt ekonomii klasycznej (czy neoklasycznej). Jest on podejściem najbardziej ortodoksyjnym, mającym swe ugruntowane metody matematyczne, swoją metodologię i dobrze określony przedmiot badań. Trudno będzie nam w tym paradygmacie znaleźć odniesienia do fizyki, także i dlatego, że w centrum zainteresowań ekonomii klasycznej znajdowało się badanie modeli statycznych [15]. Nauki przyrodnicze mają natomiast bogate doświadczenie w badaniach dynamiki różnorodnych procesów; badania te w naturalny sposób można adaptować do ekonomii. Istnieje dobry klimat dla stosowania tych metod w socjologii, gdzie np. znalazła swoje miejsce dziedzina socjodynamiki [16].

W stosunku do myślenia o procesach społecznych czy ekonomicznych w kategoriach fizycznych możemy się spotkać z pewną nieufnością ze strony ortodoksyjnych ekonomistów. Argumentują oni w ten sposób: skoro do tej pory potrafiliśmy się obejść bez tych metod, to zgodnie z brzytwą Ockhama są one dla nas bezużyteczne. Problem jednak w tym, że współczesna ekonomia neoklasyczna z jednej strony nie jest w stanie sama rozwiązać wielu problemów, z drugiej strony zaś zamykałaby się w ten sposób na nowe dziedziny, które mogą jej zaoferować nowe narzędzia rozwiązywania problemów, a przede wszystkim wzbogacić język opisu złożonej rzeczywistości społeczno-ekonomicznej.

W historii nauki potrafimy bez trudu znaleźć przykłady niezwyklej skuteczności myślenia przez analogię. Dla Subrahmanyana Chandrasekhara ważnym doświadczeniem naukowym była zaskakująca konstatacja, że te same podstawowe koncepcje mogą wyjaśniać zarówno zjawisko ruchów Browna, jak i ruch gwiazd w galaktykach ([17], s. 27). Spostrzeżenie Chandrasekhara jest przejawem bardziej ogólnego zadziwienia nad skutecznością przyrodonawstwa w poznawaniu otaczającego świata za pomocą prostych modeli matematyczno-fizycznych. Ta własność świata [18] czy, jak chciał Kant, własność umysłu zainspirowała Eugene'a Wignera do napisania artykułu pod wymownym tytułem „The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences” [19].

Skąd się bierze zainteresowanie fizyków pozornie odległą dziedziną? Myślę, że dobrze jest przytoczyć tutaj słowa Rutherforda ([17], s. 36): „gdy słyszymy o nagłych odkryciach przypominających grom z jasnego nieba, zawsze możemy być pewni, że są one wynikiem współdziałania uczonych. Ta współpraca między naukowcami stwarza możliwość postępu w nauce”. Po

pierwsze, fizycy nie znoszą ograniczeń wolności uprawiania nauki i jeśli gdzieś znajdują interesujące problemy, to jest to dla nich już dostateczna motywacja do zajęcia się nimi, np. do uprawiania ekonofizyki. Ważne jest, że motywacje biorą się z autentycznego zainteresowania tymi problemami i próbami ich rozwiązania oraz tak charakterystyczną dla fizyków silną potrzebą uczestnictwa w rozwoju nauki.

Makroekonomiczne modele z wiedzą

Podstawowym problemem makroekonomii jest wyjaśnienie czasowego i przestrzennego zróżnicowania bogactwa państw. Dlaczego dochód narodowy w Stanach Zjednoczonych jest 10-krotnie większy niż 100 lat temu, albo dlaczego jest on 10-krotnie większy niż w Indiach [20]?

Okazuje się, że nie da się tego zróżnicowania wyjaśnić bez założenia, że obok kapitału fizycznego (maszyny, urządzenia) istnieje tzw. kapitał ludzki – magazynujący wiedzę, która jest rozumiana bardzo szeroko, ale jej trzon stanowi tzw. wiedza fundamentalna. Istotny element owej szeroko rozumianej wiedzy stanowi fizyka, która jest nauką najbardziej fundamentalną, badającą rzeczywistość w kategoriach ilościowych i mającą wpływ na rozwój cywilizacyjny społeczeństw.

Punktem wyjścia każdej analizy wzrostu gospodarczego jest tzw. model Solowa–Swana [20]. Występują w nim cztery zmienne opisujące wzrost: K – kapitał, Y – produkt, L – praca (zasoby siły roboczej) oraz A – wiedza. Wiedza jest rozumiana bardzo ogólnie, od wysoce abstrakcyjnej do stosowanej. Praktyka intuicyjnego rozumienia pojęć i nadawania im następnie sensu operacyjnego poprzez pomiar (np. ustalanie tzw. wskaźników rozwoju wiedzy) jest często spotykana w naukach społecznych i ekonomicznych.

Wiedza w modelu Solowa–Swana ma pewne cechy charakterystyczne. Żadne jej rodzaje nie rywalizują między sobą, np. korzystanie z twierdzenia Pitagorasa przez kogoś nie utrudnia używania go przez kogoś innego. Inną cechą wiedzy jest jej swobodna dostępność. Niegdyś, w średniowieczu, wiedza była dostępna jedynie w klasztorach, a dziś można ją uzyskać w wielu miejscach, np. na uniwersytetach. Prowadzone w nich badania naukowe nie są motywowane dążeniem do uzyskania przychodów, istnieje zatem powszechne przyzwolenie podatników na subsydiowanie takiego wytwarzania wiedzy, która z ekonomicznego punktu widzenia jest użytecznym w produkcji dobrem rozdawanym po zerowych kosztach.

Podstawowa w modelu Solowa–Swana jest funkcja produkcji F , która – w każdej chwili czasu t dysponując zasobami K , L , A – łączy je w celu wytwarzania produktu Y :

$$Y = F(K(t), L(t), A(t)). \quad (1)$$

Zakłada się, że funkcja F nie zależy explicite od czasu oraz że wielkości A (wiedza) oraz L (praca) wchodzi do

niej w sposób multiplikatywny, jako wielkość AL (tzw. praca efektywna). Postęp naukowy, który się w ten sposób uzewnętrznia, to postęp zasilający pracę.

Kolejne założenie modelowe o funkcji produkcji to przyjęcie, że jest to funkcja jednorodna pierwszego stopnia:

$$\forall c \ F(cK, cAL) = cf(K, AL). \quad (2)$$

Założenie (2) ma ściśle uzasadniony sens ekonomiczny (ekonomiści mówią o stałych przychodach skali). Gospodarka jest tak duża (tak dalece wyczerpała już korzyści ze specjalizacji), że podwojenie kapitału i siły roboczej powoduje podwojenie produkcji.

Następnie definiuje się wielkości kapitału i produkcji na jednostkę pracy efektywnej, oznaczone małymi literami:

$$k \equiv \frac{K}{AL}, \quad y \equiv \frac{Y}{AL} = f(k), \quad (3)$$

gdzie tzw. intensywna funkcja produkcji $f(k)$ staje się funkcją jednej zmiennej. Dynamiką wzrostu produkcji rządzi równanie

$$\frac{dK}{dt} = sY(t) - \delta K(t), \quad (4)$$

gdzie s -ta część produktu jest przeznaczona na inwestycje I , a reszta – na konsumpcję C . Równanie (4) przekazuje następującą treść¹ – przyrost kapitału jest równy inwestycjom, a kapitał ulega deprecjacji według stałej stopy δ .

Równanie (4) przepiszemy, używając zmiennych zdefiniowanych w (3) oraz postulując, że wiedza A oraz praca L rosną według stałej stopy:

$$\frac{\dot{A}}{A} = g, \quad \frac{\dot{L}}{L} = n, \quad (5)$$

gdzie kropka oznacza różniczkowanie względem czasu. Przyjęte założenie wzrostu wiedzy wedle prawa wykładniczego ma głębsze uzasadnienie w badaniach scjentometrycznych [21]. Jest ogromnie interesujące, że wiele wskaźników postępu nauki, jak liczba publikacji, liczba czasopism naukowych, pamięć procesorów, a nawet czułość instrumentów astronomicznych układu się zgodnie z prawem de Solla Price'a [22,23]. Także założenie wzrostu populacji (siły roboczej) według stałej stopy ma swoje uzasadnienie w badaniach demograficznych.

Zbierając wszystkie założenia, możemy przepisać równanie (4) w postaci

$$\dot{y} = sf(k(t)) - (n + g + \delta)k(t). \quad (6)$$

¹ Należy się tutaj krótki komentarz. Ekonomia w tym modelu zbudowana jest z gospodarstw domowych, na które można patrzeć dwojako. Po pierwsze, jak na konsumentów uzyskujących dochód Y z czynników produkcji (ziemia, kapitał, praca), który dzielą oni na konsumpcję i oszczędności S : $Y = C + S$. Oszczędności wynikają z alokacji aktywów i same są aktywami. Po drugie, wśród prowadzących gospodarstwa domowe jest pewna liczba takich, którzy mają pomysł, jak produkować i, pożyczając oszczędności, tworzą z nich kapitał – np. kupują maszyny – by wytwarzać dobra konsumpcyjne i kapitałowe (inwestycje). Dobra konsumpcyjne sprzedają, robiąc pewne oszczędności przeznaczone na zakup kapitału, czyli dochód $Y = I + C$, gdzie I jest wielkością produkcji dóbr inwestycyjnych, a C – dóbr konsumpcyjnych.

Model Solowa–Swana jest zatem reprezentowany przez jednowymiarowy układ dynamiczny. O ile formułowanie praw fizyki ustalających zależności między wielkościami fizycznymi poprzez równania różniczkowe jest rzeczą naturalną, o tyle taka praktyka w ekonomii (a zwłaszcza w makroekonomii) występuje dopiero od niedawna. Interesująca jest przy tym powszechność stosowania układów dynamicznych do opisu procesów makroekonomicznych.

Zwróćmy uwagę na to, że model Solowa–Swana jest bardzo uproszczony – pominięto w nim wiele elementów, jak pieniądź, różnice między rodzajami kapitału, podatki, inflację itp. Należy jednak pamiętać, że w ekonomii, podobnie jak w fizyce, staramy się poznać złożoną rzeczywistość poprzez proste układy, których status jest podobny np. do statusu zagadnienia dwóch ciał – ściśle biorąc, układ taki nie występuje w przyrodzie, ale model doskonale opisuje ruch ciał w układzie planetarnym.

Istnieje jeszcze jedna cecha, która sprawia, że makroekonomia jest bliższa fizyce niż matematyce. Zwróćmy uwagę na to, że w modelu Solowa–Swana zarówno wiedza jak i siła robocza są traktowane jako zewnętrzne uwarunkowania modelu. Ekonomiści nazywają takie czynniki i taki model egzogenicznymi. Model, w którym wszystkie elementy są jego integralną częścią nazywa się natomiast modelem endogenicznym. W makroekonomii dąży się do zbudowania właściwego modelu poprzez endogenizację tego, co pozostaje uwarunkowaniem zewnętrznym. Na przykład, za sprawą Davida Cassa [24] i Tjallinga Koopmansa [25] odrestaurowano koncepcję Ramseya [9], który zbudował teorię optymalizacji oszczędności gospodarstw domowych, i dokonano endogenizacji stopy procentowej, która bierze się z tej optymalizacji. W makroekonomii każda udana próba endogenizacji jakiegoś elementu, który traktujemy jako uwarunkowanie zewnętrzne, jest traktowana jako duże osiągnięcie. Poziom wiedzy naukowo-technicznej pozostaje zaś zmienną egzogeniczną trudną do modelowania.

Reasumując, w makroekonomii obserwujemy swoją logikę odkryć naukowych polegającą na zastępowaniu tego, co jest zewnętrznym uwarunkowaniem, przez czynnik wewnętrzny, stanowiący jego immanentną część. Intuicja podpowiada, że skoro zajmujemy się skalą makro procesów ekonomicznych, a więc największą z możliwych, to nie możemy brać elementów „spoza tego świata”. Nasuwa się w tym miejscu analogia do kosmologii – dyscypliny fizycznej opisującej świat w największej dopuszczalnej skali. Ponieważ Wszechświat jest nam dany w jednym egzemplarzu

i uważamy, że jest wszystkim, co istnieje, jego ewolucja jest wyznaczona przez niego samego, a nie czynniki zewnętrzne.

Można podać jeszcze wiele innych przykładów, które pokazują, że rozwój makroekonomii jest inspirowany (choć nie bezpośrednio) przez fizyczny punkt widzenia. O intensywności funkcji produkcji $f(k)$ w równaniu (6) zakłada się, że spełnia następujące warunki (prim oznacza różniczkowanie względem k): 1) $f(0) = 0$, $f'(k) > 0$, $f''(k) < 0$ (produkt końcowy kapitału jest dodatni i maleje z upływem czasu), 2) tzw. warunki Inady: $\lim_{k \rightarrow 0} f'(k) = \infty$, $\lim_{k \rightarrow \infty} f'(k) = 0$. Funkcję produkcji jako prototyp funkcji spełniających powyższe warunki postuluje się zwykle w tzw. postaci Cobba–Douglasa:

$$f(k) = k^\alpha, \quad 0 < \alpha < 1. \quad (7)$$

Układ (6) z funkcją produkcji (7) staje się jednowymiarowym układem dynamicznym, który można badać metodami jakościowej teorii równań różniczkowych (ramka). Dodajmy, że techniki te są od dawna używane w badaniach makroekonomicznych do analizy ich dynamiki. I tutaj także ekonomia przejęła język fizyki do opisu dynamiki procesów ekonomicznych.

Spróbujmy teraz zbadać, jak model Solowa–Swana odpowiada na podstawowe pytanie o zróżnicowanie czasowe PKB, będącego sumą wszystkich dóbr końcowych wytworzonych na terenie danego kraju w pewnym okresie (albo także sumą dochodów uzyskanych z wykorzystania wszystkich czynników produkcji – czynników naturalnych, maszyn i ludzkiej pracy). Wracamy do pytania, dlaczego PKB w USA jest 10-krotnie większy niż 100 lat temu. Źródeł tego zróżnicowania możemy upatrywać w stopach procentowych bądź w poziomie kapitału.

Korzystając z modelu Solowa–Swana i obliczonych współczynników elastyczności, dochodzimy do następujących wniosków.

1) Wpływ znacznych zmian stopy oszczędności na poziom produktu jest stosunkowo niewielki. Jeśli $\alpha_k = 1/3$, to $\alpha_s = 1/2$ (patrz wzór (14) w ramce), a zatem 10-procentowy wzrost stopy oszczędności daje zaledwie 5% wzrostu produktu.

2) Ponieważ PKB jest 10 razy większy niż 100 lat temu, więc kapitału musiałyby być $10^{1/\alpha_k} \approx 1000$ razy więcej. Poziom kapitału nie tłumaczy zatem takiego zróżnicowania produktu.

Przedstawiony model ma cechy „toy model” (modelu-zabawki), lecz nie może to być argumentem przeciwko niemu. W fizyce występuje przecież wiele prostych modeli, które opisują złożoną rzeczywistość. Model ten podlega estymacji i znajdowane są następujące empiryczne odpowiedniki wprowadzonych parametrów: y – realny PKB per capita w wieku produkcyjnym w 1985 r., s – średni udział realnych inwestycji w PKB Stanów Zjednoczonych w latach 1960–85, n – średnia stopa wzrostu ludności w wieku produkcyjnym w tym okresie, $n = 0,05 - \delta$.

Zastosowanie jakościowej teorii równań różniczkowych w modelu Solowa–Swana

Podstawowym celem jakościowej teorii równań różniczkowych jest zbadanie własności wszystkich dopuszczalnych rozwiązań dla wszystkich warunków początkowych w przestrzeni fazowej, która jest wygodną wizualizacją rozwiązań układu, np. $\dot{x} = f(x)$, f – funkcja gładka, $x \in \mathbb{R}^n$. W tej przestrzeni rozwiązania $x = x(x_0, t)$, $x_0 = x(t=0)$ są reprezentowane przez krzywe algebraiczne oraz punkty stanowiące tzw. rozwiązania osobliwe układu, dla których zerują się prawe strony układu. Z fizycznego (a także ekonomicznego) punktu widzenia reprezentują one stany stacjonarne albo stany równowagi układu (ekonomiści mówią o ścieżkach równowagi układu). Punkty krytyczne układu i dążące do nich bądź uciekające od nich trajektorie tworzą portret fazowy, zawierający kompletną informację globalną o zachowaniu układu.

Rozważmy układ (6) na ścieżce zrównoważonego wzrostu ($\dot{k} = 0$):

$$sf(k^*(s, n, g, \delta)) = (n + g + \delta)k^*(s, n, g, \delta), \quad (8)$$

gdzie k^* jest rozwiązaniem powyższego równania, tj. punktem krytycznym układu (6).

Ważne informacje o reakcji wielkości produktu na zmiany parametrów modelu uzyskujemy, licząc współczynniki elastyczności $\alpha_x = d(\ln y)/d(\ln x) = (x/y)dy/dx$ dla wielkości y względem parametru x . Korzystając z (8), obliczmy współczynnik elastyczności produktu y względem oszczędności s :

$$\alpha_s = \frac{d(\ln y)}{d(\ln s)}. \quad (9)$$

Ponieważ y jest funkcją k , wzór (9) przepisujemy w postaci

$$\alpha_s = \frac{s}{y^*} \frac{\partial f(k^*)}{\partial k^*} \frac{\partial k^*(s, n, g, \delta)}{\partial s}. \quad (10)$$

Po obustronnym zróżniczkowaniu równania (8) względem s uzyskujemy wielkość $\partial k^*/\partial s = f(k^*)/[(n + g + \delta) - sf'(k^*)]$ (prim oznacza tu różniczkowanie po k^*), która po wstawieniu do (10) daje

$$\alpha_s = \frac{sf'(k^*)}{n + g + \delta - sf'(k^*)}. \quad (11)$$

Łącząc (8) i (11), ostatecznie uzyskujemy

$$\alpha_s = \frac{k^* f'(k^*)/f(k^*)}{1 - k^* f'(k^*)/f(k^*)}. \quad (12)$$

Jeśli teraz zauważymy, że wielkość

$$\alpha_k = \frac{d(\ln y)}{d(\ln k)} = \frac{k f'(k)}{y} \quad (13)$$

ma sens współczynnika elastyczności produktu względem kapitału, to równość (12) możemy zapisać w postaci

$$\alpha_s = \frac{\alpha_k(k^*)}{1 - \alpha_k(k^*)}. \quad (14)$$

Jeśli rynki są konkurencyjne, to właściciel kapitału uzyskuje za jego wypożyczenie cenę $k f'(k)$, zatem udział kapitału w produkcie wynosi $k f'(k)/f(k)$. Dla większości krajów $\alpha_k \approx 1/3$.

W kierunku nowej teorii wzrostu

Z poprzednich rozważań wynika, że uwzględnienie kapitału fizycznego nie wystarcza do wyjaśnienia zróżnicowania PKB w skali międzynarodowej. Od czasów Paula Romera [26] oraz Roberta Lucasa [14] datuje się nowe spojrzenie na modelowanie wiedzy jako kapitału ludzkiego, w którym jest on traktowany jako czynnik produkcji. Kapitał ludzki staje się nośnikiem wiedzy, a funkcja produkcji wykazuje stałe przyrosty skali i generuje nieskończony wzrost gospodarczy. Nowe w tej koncepcji, którą będziemy nazywać nową teorią wzrostu, jest potraktowanie kapitału poszerzone o kapitał ludzki, na który składają się umiejętności i wiedza poszczególnych pracowników. Wydajność pracy to wiedza, która jest modelowana w sposób formalny jako innowacja i działalność badawczo-rozwojowa, jakkolwiek znane są też inne mechanizmy nabywania wiedzy, np. przez praktykę [27].

Niech K oraz H oznaczają odpowiednio kapitał fizyczny i ludzki. Funkcję produkcji postulujemy w postaci

$$Y(t) = [K(t)]^\alpha [H(t)]^\beta [A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta}, \quad (15)$$

gdzie α oraz β są stałymi, przy czym $\alpha + \beta < 1$. Zakładamy, że do produkcji odpowiednio kapitału fizycznego i ludzkiego użyte są części s_K oraz s_H produktu Y , tj.

$$\dot{K} = s_K Y(t), \quad \dot{H} = s_H Y(t). \quad (16)$$

Dla prostoty założmy, że kapitał fizyczny nie ulega deprecjacji. Ponadto tak jak poprzednio zakładamy, że stopy wzrostu wiedzy A i populacji L są stałe i równe odpowiednio g oraz n . Równania (16) przepiszemy w zmiennych k , h , y odnoszących się do wielkości K ,

H , Y liczonych na jednostkę pracy efektywnej (AL). Uzyskujemy układ dynamiczny w postaci

$$\begin{aligned} \dot{k}(t) &= s_K [k(t)]^\alpha [h(t)]^\beta - (n+g)k(t), \\ \dot{h}(t) &= s_H [k(t)]^\alpha [h(t)]^\beta - (n+g)h(t), \end{aligned} \quad (17)$$

gdzie $y = [k(t)]^\alpha [h(t)]^\beta$.

Portret fazowy przekształconego układu (17) w nowych zmiennych

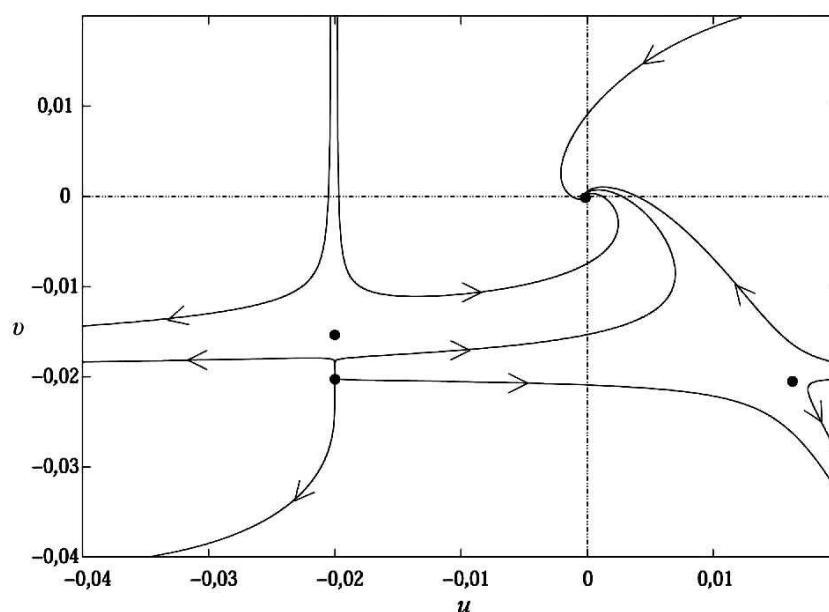
$$u = \frac{\dot{k}}{k}, \quad v = \frac{\dot{h}}{h} \quad (18)$$

przedstawiony jest na rysunku. Zwróćmy uwagę na punkt krytyczny zlokalizowany w początku układu współrzędnych. Jest on węzłem stabilnym – dla dowolnych warunków początkowych z otoczenia tego punktu zawsze w nim lądujemy. Oznacza to, że startując z dowolnych wartości początkowych $u_0 = [d(\ln k)/dt]_0$ oraz $v_0 = [d(\ln h)/dt]_0$ – odpowiednio względnych temp zmian kapitału fizycznego i ludzkiego – po odpowiednio długim czasie znajdziemy się w punkcie krytycznym, w którym

$$\left[\frac{d[\ln(K/AL)]}{dt} \right]_0 = 0 \quad \text{oraz} \quad \left[\frac{d[\ln(H/AL)]}{dt} \right]_0 = 0. \quad (19)$$

Jeśli teraz uwzględnimy, że $\dot{A}/A = g$, $\dot{L}/L = n$, to otrzymamy, że

$$\left[\frac{\dot{K}}{K} \right]_0 = n+g \quad \text{oraz} \quad \left[\frac{\dot{H}}{H} \right]_0 = n+g. \quad (20)$$



Portret fazowy układu (17) we współrzędnych (u, v) danych wzorami (18)

Logarytmując następnie zależność $y = k^\alpha h^\beta$ i obustronnie ją różniczkując, uzyskujemy, że w punkcie krytycznym

$$\frac{\dot{y}}{y} = 0, \quad \text{czyli} \quad \frac{\dot{Y}}{Y} = n + g, \quad (21)$$

co oznacza, że stopa wzrostu produktu jest stała. Jeśli interesujemy się stopą wzrostu produktu przypadającą na „jednostkę siły roboczej”, to otrzymujemy interesujący wniosek:

$$\frac{d(Y/L)/dt}{Y/L} = \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{L}}{L} = g. \quad (22)$$

Równość (22) ma prostą interpretację ekonomiczną. W stanie stacjonarnym, który jest atraktorem, stopa wzrostu produktu per capita zależy od stopy wzrostu wiedzy i niczego więcej. Inaczej mówiąc, nasz układ po dostatecznie długim czasie „zapomni” o swojej przeszłości (warunkach początkowych) i dynamika procesu wzrostu gospodarczego będzie zależeć tylko od stopy wzrostu wiedzy. Jeśli więc chcemy mieć 5-procentowy wzrost gospodarczy i układ na ścieżce zrównoważonego wzrostu, to musimy spowodować (np. przez politykę naukową) 5-procentowy wzrost wiedzy. Dopóki jednak nie przetestujemy naszego układu w praktyce, dopóty pozostanie on tylko „modelem do zabawy”. Musimy również zbadać jego zdolność do odpowiedzi na postawione we Wstępie pytanie.

Jeszcze raz podkreślmy: gospodarka ma tę własność, że na długą metę nie liczą się początkowe stopy wzrostu kapitału, lecz stopa wzrostu wiedzy g . Gospodarka zachowuje się podobnie do „bezwłosej” czarnej dziury – pamięta tylko stopę wzrostu wiedzy.

Inną obserwacją narzucająca się już na podstawie ogólnego spojrzenia na model jest, że przyjmuje on szerszą definicję kapitału, w której odnajdujemy miejsce dla uniwersytetów i instytutów badawczych. To tam produkowany jest de facto kapitał ludzki wyposażony w wiedzę, która jest używana w produkcji. Fizycy mają ogromny wkład w produkcję takiego kapitału ludzkiego, który generuje wzrost gospodarczy. Moim zdaniem będzie to stwarzało szansę dla fizyki nie tylko w XXI wieku, ale dopóty, dopóki fizyka będzie istnieć.

Autor pamięta jeszcze nazwę „sfera nieprodukcyjna” na oznaczenie takich ludzi jak my. Nic bardziej błędnego. Materiał empiryczny pokazuje, że model, który przyjmuje szerszą definicję kapitału, wykraczającą poza tradycyjny kapitał fizyczny (przez co udział całego kapitału staje się bliższy 1 niż $1/3$, patrz wyżej), stanowi dobre pierwsze przybliżenie wyjaśnienia różnic między krajami (standardowa analiza regresji tłumaczy ok. 80% różnic pod względem produktu na pracownika [26]).

Przejdźmy teraz do ilustracji tej tezy. Rozważmy tak jak poprzednio układ na ścieżce zrównoważonego

wzrostu ($\dot{k} = \dot{h} = 0$):

$$s_K [k^*]^\alpha [h^*]^\beta = (n + g)k^*, \quad s_H [k^*]^\alpha [h^*]^\beta = (n + g)h^*. \quad (23)$$

Logarytmując powyższe równania i wykonując przekształcenia algebraiczne, otrzymujemy wzór na logarytm funkcji produkcji $y^* = [k^*]^\alpha [h^*]^\beta$:

$$\ln y^* = \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta} \ln s_K + \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta} \ln s_H - \frac{\alpha + \beta}{1 - \alpha - \beta} \ln(n + g). \quad (24)$$

Szacunki wartości zasobu kapitału ludzkiego są nieco wyższe od zasobów kapitału fizycznego, dlatego położmy $\alpha = 0,35$ oraz $\beta = 0,4$. Jeśli stąd obliczymy współczynnik elastyczności produktu względem kapitału fizycznego i ludzkiego, to otrzymamy $s_K = 1,56$ oraz $s_H = 1,4$. Dla porównania, w modelu bez kapitału ludzkiego s_K wynosi zaledwie 0,54. Czy rzeczywiście różnice we wzroście ludności i akumulacji kapitału tłumaczą zróżnicowanie dochodów? Mankiw i współpracownicy [28] otrzymali dla największej próby krajów następujące najlepsze dopasowanie do funkcji (24):

$$\ln y_i = 7,86 + 0,73 \ln s_K^{(i)} + 0,67 \ln s_H^{(i)} - 1,40 \ln(n_i + 0,05), \quad (25)$$

gdzie indeks i przebiega po krajach. Z porównania wzorów (24) i (25) wynika, że $\alpha = 0,304$ oraz $\beta = 0,279$.

Jako przykład rozważmy dwa kraje, 1 i 2, z których drugi ma dwa razy większe zasoby kapitału fizycznego i ludzkiego oraz o 20% mniejsze $(n + g)$. Wtedy

$$\ln y_2^* - \ln y_1^* \approx 2,75. \quad (26)$$

Zatem produkt w drugim kraju jest $e^{2,75} \approx 15,6$ razy większy niż w pierwszym. Dla porównania, model Solowa–Swana (w którym $s_H = 0$ z definicji) daje zaledwie $e^{0,49} \approx 1,6$ -krotną różnicę.

Jak widać, modele wzrostu oparte na endogenicznym postępie technicznym i wiedzy oraz poszerzonej roli kapitału wzbogaconej o kapitał ludzki mogą tłumaczyć zarówno wzrost gospodarczy jak i zróżnicowanie dochodu w skali międzynarodowej. Dla $\beta = 0,4$ oraz $\alpha = 0,35$ uzyskujemy z rozważanego modelu na ścieżce zrównoważonego wzrostu wartości współczynników elastyczności $\alpha_{s_K} = 1,4$ oraz $\alpha_{s_H} = 1,6$. Dzięki dużym elastycznościom produktu względem jego podstawowych wyznaczników, pośród których kapitał ludzki jest najbardziej istotny, możliwe jest wyjaśnienie dużych różnic między krajami.

Istnienie wzrostu gospodarczego jest moim zdaniem najbardziej przekonującym argumentem za wartością naszej pracy. Po prostu bez nas nie byłoby 5-procentowego wzrostu gospodarczego w Polsce. Takiego eksperymentu społecznego, w którym nagle zostajemy unicestwieni i bada się wpływ tego zdarzenia na wzrost gospodarczy nie da się (na szczęście!) przeprowadzić, ale potrafimy zrozumieć naszą rolę na

podstawie modelu i eksperymentu myślowego. Pytanie (chyba retoryczne): dlaczego tego nie rozumieją politycy?

Zakończenie

W artykule przedstawiono proste modele makroekonomiczne, które pretendują do opisu zjawiska wzrostu gospodarczego. Podano argumentację, dlaczego tylko modele oparte na koncepcji kapitału poszerzonej o kapitał ludzki są w stanie wytłumaczyć obserwowane w naszym kraju zjawisko wzrostu gospodarczego. Modele te ewidentnie pokazują, że źródło wzrostu PKB liczonego na pracownika jest ściśle związane z wiedzą, która w formie kapitału ludzkiego jest wytwarzana na uniwersytetach. Rodzi się pytanie – jeśli zrozumienie tego faktu nie sprawiło nam, ludziom „spoza branży”, specjalnego trudu, to dlaczego podobne argumenty nie przekonują tych, którzy decydują o nakładach na naukę? Naturalnie od nich nikt nie wymaga znajomości modeli wzrostu gospodarczego, ale ktoś im przecież doradza. Oczywiście, że postęp nauki zależy od indywidualności i że trudno jest planować odkrycia naukowe, ale przytoczę cytaty wypowiedzi Rutherforda ([29], s. 101–2):

Z reguły nie zdarza się, by jeden człowiek dokonał nagłego, niespodziewanego odkrycia. Nauka posuwa się do przodu krok po kroku i każdy uczony wykorzystuje pracę swych poprzedników. (...) Ta współpraca między naukowcami stwarza możliwość postępu w nauce. Uczni nie są uzależnieni od pomysłów jednego człowieka, lecz od połączonej mądrości tysięcy ludzi myślących o tym samym problemie; każdy z nich dodaje niewielki kawałek do wielkiego gmachu wiedzy, która stopniowo rośnie.

Poważny stosunek do nauki wymaga, by była ona odpowiednio finansowana. Niezwykle trafne są diagnozy prof. Andrzeja K. Wróblewskiego o stanie nauki w Polsce i jej finansowaniu [30,31]. Powinno ono być zdecydowanie priorytetem polityki ekonomicznej, jeśli myślimy o stałym wzroście gospodarczym.

Na koniec ciekawostka ze strony internetowej www.slac.stanford.edu/spires/play/olympics, gdzie zestawiono z bazy SPIRES kraje wraz z ich najlepszymi wynikami naukowymi mierzonymi liczbą publikacji i wielokrotnych cytowań (tabela), korelując je z wynikami sportowymi. Uwzględniono artykuły w bazie SPIRES (High Energy Physics) o liczbie cytowań powyżej 1000, 500, 100 i 50 (co odpowiadałoby złotym, srebrnym oraz brązowym medalom i czwartym miejscem). Otrzymujemy wtedy coś na kształt olimpijskiej klasyfikacji medalowej. Polskę odnajdujemy na 11. pozycji. Zauważmy, że nasi sportowcy na igrzyskach olimpijskich w Atenach w 2004 r. uzyskali podobny wynik – w klasyfikacji medalowej zajęli 13. miejsce.

Praca została zrealizowana dzięki wsparciu Rektorskiego Funduszu Stypendialnego UJ 2004/05. Autor pragnie serdecznie podziękować prof. Maciejowi Nowakowi za popieranie idei pracy oraz kolegom, prof. J. Jurkiewiczowi i prof. Z. Burdzie z Centrum Układów Złożonych Instytutu Fizyki UJ, za dyskusję i uwagi na seminarium. Szczególnie

pragnę podziękować dr. Adamowi Krawcowi za dyskusję o teorii ekonomii.

Klasyfikacja artykułów z dziedziny fizyki wysokich energii w bazie SPIRES w 2004 r.

Państwo	Liczba cytowań 1000+	Liczba cytowań 500+	Ogólna liczba artykułów	PKB per capita w USD
USA	98	393	198 007	35 819
Szwajcaria	18	59	43 426	31 563
Rosja	17	60	61 366	9340
W. Brytania	10	66	38 789	25 293
Niemcy	10	39	69 268	26 505
Włochy	9	44	46 813	24 793
Francja	7	47	37 411	25 589
Kanada	6	23	18 673	28 658
Szwecja	6	12	7 132	25 568
Japonia	4	33	42 606	27 905
Polska	3	13	12 371	9528

Literatura

- [1] M. Kalecki, „A Macrodynamic Theory of Business Cycles”, *Econometrica* **3**, 327 (1935).
- [2] M. Kalecki, „A Theory of the Business Cycle”, *Rev. Econ. Stud.* **4**, 77 (1937).
- [3] M. Kalecki, *Essays in the Theory of Economic Fluctuations* (Allen & Unwin, London 1939).
- [4] M. Kalecki, *Selected Essays on the Dynamics of the Capitalist Economy* (Cambridge University Press, Cambridge 1971).
- [5] R.J. Barro, X. Martin-i-Sala, *Economic Growth* (MIT Press, 2005).
- [6] R.J. Barro, *Macroeconomics* (Wiley/MIT Press, 1997).
- [7] R.J. Barro, *Nothing is Sacred: Economic Ideas for the New Millennium* (MIT Press, 2002).
- [8] L.S. Pontryagin, *The Mathematical Theory of Optimal Processes* (Interscience, New York 1962).
- [9] F. Ramsey, „A Mathematical Theory of Saving”, *Econ. J.* **38**, 543 (1928).
- [10] J. Spałek, „Czy fizyka ma szansę w XXI wieku?”, *Postępy Fizyki* **53**, 19 (2002).
- [11] R.N. Mantegna, H.E. Stanley, *Ekono-fizyka. Wprowadzenie* (PWN, Warszawa 2001).
- [12] D.S. Czernawski, N.I. Starkow, A.W. Szczerbakow, *Usp. Fiz. Nauk* **172**, 1045 (2002).
- [13] L.H. LaRouche Jr., *So, You Wish to Learn All About Economics?* (New Benjamin Franklin House, New York 1984).
- [14] R. Lucas Jr., „On the Mechanics of Economic Development”, *J. Monetary Econ.* **22**, 3 (1988).
- [15] H.-W. Lorentz, *Nonlinear Dynamic Economics and Chaotic Motion* (Springer, Berlin 1989).
- [16] W. Weidlich, „Physics and Social Science – The Approach of Synergetics”, *Physics Reports* **204**, 1 (1991).
- [17] S. Chandrasekhar, *Piękno i prawda* (Prószyński i S-ka, Warszawa 1999).
- [18] A. Staruszkiewicz, „Co znaczą słowa Einsteina »Bóg jest pomysłowy, lecz nie złośliwy«”, *Roczniki Filozoficzne* **28**, 67 (1980).

- [19] E.P. Wigner, „The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences”, *Comm. Pure Appl. Math.* **13**, 1 (1960).
- [20] D. Romer, *Makroekonomia dla zaawansowanych* (PWN, Warszawa 2000).
- [21] M. Szydłowski, A. Krawiec, „Scientific cycle model”, *Scientometrics* **52**, 83 (2001).
- [22] D. de Solla Price, *Little Science, Big Science* (Columbia University Press, New York 1963).
- [23] D. de Solla Price, „Citation Measures of Hard Science, Soft Science, Technology, and Nonscience”, w: *Communications Among Scientists and Engineers* (Lexington 1970).
- [24] D. Cass, „Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation”, *Rev. Econ. Stud.* **32**, 233 (1965).
- [25] T.C. Koopmans, „On the Concept of Optimal Economic Growth”, *Pontif. Acad. Sci. Scr. Varia* **28**, 225 (1965).
- [26] P. Romer, „Increasing Returns and Long-run Growth”, *J. Polit. Econ.* **94**, 1002 (1986).
- [27] K.J. Arrow, „The Economic Implications of Learning by Doing”, *Am. Econ. Rev.* **29**, 155 (1962).
- [28] N.G. Mankiw, D. Romer, D.N. Weil, „A Contribution to the Empirics of Economic Growth”, *Q. J. Econ.* **107**, 407 (1992).
- [29] G.H. Hardy, *Apologia matematyka* (Prószyński i S-ka, Warszawa 1997).
- [30] A.K. Wróblewski, „Świat nauki”, *Wprost*, 13 grudnia 1998.
- [31] A.K. Wróblewski, „Przegrywamy nauką”, *Gazeta Wyborcza*, 29 lipca 2004.



MAREK SZYDŁOWSKI, dr hab. fizyki, także dr filozofii, pracuje w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz w Międzynarodowym Centrum Układów Złożonych i Kwantowych im. Marka Kaca. Autor wielu prac z zakresu astrofizyki i kosmologii. Jego zainteresowania naukowe obejmują badanie dynamiki wzrostu gospodarczego oraz badania scjentometryczne. Zajmuje się również filozofią nauki i popularyzacją kosmologii.

PTF



Oddział Białostocki

Od 27 października 2004 r. przewodniczącym Zarządu Oddziału Białostockiego PTF jest Eugeniusz Żukowski (Uniwersytet w Białymstoku), a wiceprzewodniczącą – Małgorzata Grądzka-Dahlke (Politechnika Białostocka). Funkcję sekretarza Zarządu sprawuje Ryszard Gieniusz, a skarbnika – Krystyna Perzyńska (oboje z UwB). Ponadto w skład Zarządu wchodzi: Wojciech Dobrogowski (UwB), odpowiedzialny za strony internetowe i promocję Oddziału, oraz Mirosława Żuber (I LO w Białymstoku), która odpowiada za kontakt Oddziału ze szkołami z terenu miasta i województwa. Korespondentem Oddziału jest w dalszym ciągu autor tej notatki.

Od lat jedną z form działalności Oddziału są sobotnie wykłady popularnonaukowe. W roku 2005 odbyło się 7 takich wykładów. W Światowym Roku Fizyki 2005 Oddział uczestniczył również w organizacji kilku imprez w ramach III Podlaskiego Festiwalu Nauki i Sztuki (17–25 września 2005 r.).

Maciej Piętka

Biofizyczne zastosowania efektu plazmonów powierzchniowych

Danuta Frąckowiak, Przemysław Siejak

Wydział Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska

Applications of the surface plasmons effect

Abstract: The fluorescence of biological molecules or macromolecules can be enhanced by resonance interactions with plasmons generated on the metal surface. Literature concerning the mechanism of plasmon effect generation is compiled and some examples of applications of this effect in biological and technological investigations are reported.

Wstęp

Historia rozwoju biofizyki uczy nas, że prawie każda metoda spektroskopowa znajduje szerokie zastosowania w badaniach procesów biologicznych. Od „niepamiętnych czasów” stosowano pomiary widm absorpcyjnych i emisyjnych próbek biologicznych w celu ustalenia ich składu, ale już w czasach, które pamięta dobrze współautorka tego artykułu, do biofizyki wtargnęły metody badania struktury próbek już nie tylko przy użyciu promieni X, ale i na podstawie widm absorpcji i emisji [1,2] oraz widm fototermicznych dla światła spolaryzowanego [3,4]. Braliśmy przez wiele lat żywy udział w takich badaniach prowadzonych na elementach organizmów fotosyntetyzujących, tj. roślin, glonów i bakterii, jak również na anizotropowych modelach tych elementów [5–11]. Udało się tymi metodami ustalić niektóre mechanizmy odpowiedzialne za przekazywanie energii świetlnej pochłoniętej przez tzw. barwniki antenowe do centrów reakcji, w których zachodzą reakcje fotochemiczne [12–14]. Udało się też znaleźć pewne związki między przebiegiem tych procesów i strukturą aparatu fotosyntetycznego [9,15].

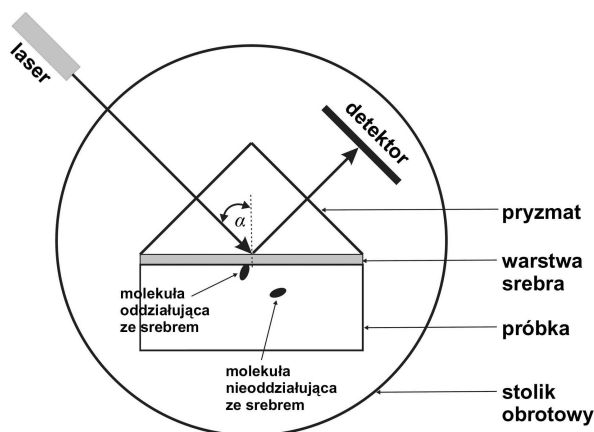
Podobną karierę zrobiły w biofizyce metody spektroskopii NMR [16,17] i EPR [17] oraz – nieco mniejszą – pomiary fotopotencjałów [18,19]. W dawniejszych badaniach struktury próbek biologicznych stosowano często materiały promieniotwórcze, lecz ostatnio w większości badań biofizycznych i medycznych badania radioaktywności zostały w znacznym stopniu zastąpione przez pomiary fluorescencji [20–22]. Metody fluorescencyjne z powodzeniem stosuje się już w badaniach ekspresji genów przy użyciu próbników genowych (ang. gen chips), które mogą zawierać ponad 30 tys. indywidualnych sekwencji DNA [23,24]. Należało więc przypuszczać, że wykryte stosunkowo dawno (zaobserwowane po raz pierwszy przez Wooda już w 1912 r. [25]), ale dopiero w ostatnich latach

intensywnie badane i wyjaśnione [20,26,27] zjawisko powstawania plazmonów powierzchniowych może również znaleźć jakieś biofizyczne zastosowanie. (Termin „surface plasmon” (SP) wprowadzono w 1960 r. [28]).

Zastosowania biologiczne zjawiska rezonansu SP (ang. surface plasmon resonance, SPR) są bardzo interesujące i ważne, bo wiele molekuł i makromolekuł biologicznych wykazuje jedynie bardzo słabą, trudną do obserwacji fluorescencję. Wydajność kwantowa fluorescencji DNA wynosi np. zaledwie 10^{-5} , a aminokwasów – ok. 10^{-2} . Ta słaba emisja może być jednak wielokrotnie wzmocniona wskutek powstawania plazmonów powierzchniowych w sąsiedztwie tych molekuł [20,26]. Od razu można więc było przewidzieć, że takie wzmocnienie fluorescencji naturalnych pigmentów i różnych makromolekuł biologicznych umieszczonych w pobliżu powierzchni metalu znajdzie istotne zastosowania w biofizyce i biotechnologii. Tak się też dzieje.

Powstawanie plazmonów powierzchniowych jest możliwe dzięki istnieniu w metalu plazmy, czyli „cieczy” swobodnych elektronów zgromadzonych z dużą gęstością w całej objętości metalu. Plazmony powierzchniowe to fluktuacje gęstości takiej cieczy występujące na powierzchni metalu. Własności plazmonów i ich rozchodzenie się w powierzchni granicznej między metalem i dielektrykiem były i są w dalszym ciągu intensywnie badane [1,20,26,27,29–33], przy czym stwierdzono zgodność wyników doświadczeń z teorią [34]. Rezonans plazmonów powierzchniowych, który można opisać jako rozchodzenie się oscylacji swobodnych elektronów na powierzchni metalu, uzyskuje się bądź dzięki zastosowaniu wiązki elektronów przechodzącej przez daną folię metalową, bądź za pomocą fotonów padających na powierzchnię metalu. Wiązka światła lub elektronów wytwarzająca rezonansowe drgania plazmonów traci oczywiście część

swej energii. Jeśli światło pada na układ pod kątem, pod którym następuje całkowite odbicie, to natężenie wiązki odbitej maleje, gdy wzbudza ono rezonansowo drgania plazmonów. Można więc obserwować rezonans plazmonów powierzchniowych przy wykorzystaniu pomiarów natężenia światła odbitego, np. w układzie przedstawionym na rys. 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego umożliwiającego wyznaczenie kąta padania α wiązki wzbudzającej, przy którym zachodzi rezonans plazmonów powierzchniowych

Jak już wspomniano, plazmony mogą powodować przez efekt rezonansowy wzmocnienie emisji molekuly barwnika, czyli zmianę gęstości fotonów przez nią emitowanych. Angielski termin „photonic mode density” można przełożyć jako gęstość składowej fotonowej, ale praktyczniej jest używać angielskiego akronimu PMD, bo jest on znany i szeroko stosowany w literaturze przedmiotu [20,26]. Cząsteczka biologiczna umieszczona w odpowiedniej odległości od powierzchni metalu wykazuje często wzrost PMD. Wskutek tego następuje wzmocnienie natężenia i wydajności fluorescencji słabo fluoryzujących pigmentów występujących w tkankach, gdy znajdują się one w bliskości oświetlonej lub bombardowanej elektronami powierzchni metalu. Obserwuje się wtedy fluorescencję wzmocnioną przez powierzchnię (ang. surface-enhanced fluorescence, SEF). Efekt ten może być stosowany zarówno do określenia rozmieszczenia oraz stężenia badanych pigmentów w komórkach, jak i do wykrywania zatrucia metalami środowiska, w którym żyją glony lub bakterie fotosyntetyzujące. W zastosowaniach z dziedziny ochrony środowiska należałoby porównywać fluorescencję wybranego pigmentu naturalnego w komórkach badanych organizmów z fluorescencją odnośnika – podobnej próbki pobranej z organizmu niezatrutego lub zatrutego w znanym stopniu. Przy odpowiedniej kalibracji i za pomocą wielu odnośników zatrutych znanymi ilościami metalu będzie przypuszczalnie możliwe wyznaczanie również stężenia metalu w zatrutej próbce. Wzmocnienie fluorescencji może też dostarczyć informacji o stanie DNA badanych próbek [35,36].

Zjawisko SEF może też mieć zastosowanie w badaniach żywności [37], gdyż pozwala badać stan próbek i śledzić przebieg reakcji chemicznych lub fotochemicznych w badanych materiałach. Pomiar SEF nie wymaga kosztownej, nietypowej dla laboratoriów biochemicznych i biofizycznych aparatury. Badania prowadzone są dla dwóch rodzajów próbek: roztworów barwników lub makromolekuł zawierających cząstki metali oraz cienkich warstw próbek ułożonych na powierzchni warstwy metalu. Stosowane układy doświadczalne będą omówione w dalszej części artykułu.

Plazmony powierzchniowe i wzmocnienie emisji badanych molekuł

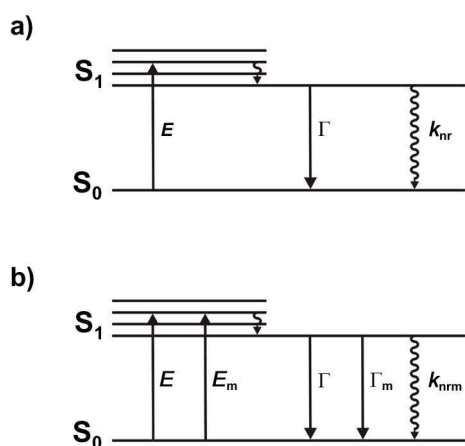
Wzmocnienie emisji syntetycznego barwnika lub naturalnego pigmentu w sąsiedztwie metalu, czyli efekt SEF, spowodowane jest więc zmianą PMD. Zjawisko dodatkowej emisji wywoływanej przez plazmony powierzchniowe to po angielsku surface plasmon-coupled emission (SPCE) [20,26]. Naturalne fluorofory, takie jak DNA, peptydy i aminokwasy, świecą bardzo słabo [30], trudno więc na podstawie ich fluorescencji badać strukturę tkanki i procesy w niej zachodzące. Istotne jest zatem znalezienie sposobu na wzmocnienie świecenia tych fluoroforów – można to uzyskać właśnie za pomocą SPCE [20,30,34]. Metoda ta ma ważną dodatkową zaletę: zjawisko SPCE zachodzi szybko, gdy więc dzięki jakimś reakcjom chemicznym czy fotochemicznym badane molekuly ulegają zmianom, prawie równocześnie zmienia się natężenie SPCE, tak że można śledzić kinetykę zachodzącej reakcji.

Tak się jakoś złożyło, że plazmonami zajmuje się wiele osób polskiego pochodzenia. Badania takie są od lat intensywnie i z powodzeniem prowadzone w laboratorium prof. Josepha R. Lakowicza (University of Maryland w Baltimore), który wprawdzie nie mówi po polsku, ale ma sentyment do kraju, z którego pochodzi jego rodzina. W jego laboratorium zawsze pracuje wielu Polaków, a nowe wydanie swej książki [1] poświęcił pamięci polskiego fizyka – Aleksandra Jabłońskiego – w stulecie jego urodzin. Autorka pamięta dobrze, jak bardzo wzruszony był prof. Lakowicz, mówiąc o swych polskich korzeniach na początku swego referatu podczas konferencji w Toruniu w 1998 r. [38]. Przez wiele lat w laboratorium prof. Lakowicza pracowali bardzo wydajnie bracia Zygmunt i Ignacy Gryczyńscy, którzy w 2005 r. uzyskali niezależne posady profesorskie na University of North Texas. Zarówno teorią plazmonów [34] jak i ich badaniami doświadczalnymi [38] zajmuje się też z sukcesem Zdzisław Słamon [34,39], dawny doktorant i habilitant autorki na Politechnice Poznańskiej, a obecnie profesor Uniwersytetu Stanu Arizona w Tucson. Pracuje on tam w laboratorium znanego biofizyka, prof. Gordona Tollina.

W jaki sposób plazmony powierzchniowe wzmocniają emisję?

Wpływ plazmonów na fluorescencję barwnika przedstawiony jest schematycznie na zmodyfikowanym

diagramie Jabłońskiego (rys. 2). Widać, że plazmony powodują dodatkowe wzbudzenie barwnika przez rezonans z energią E_m oraz jego dodatkową emisję (SPCE), przy niezmienionej dezaktywacji cieplnej wzbudzenia molekuly. W schemacie tym założono, że metal ani nie wygasza emisji, ani nie przekazuje swego wzbudzenia do barwnika poprzez foersterowskie rezonansowe przekazywanie energii (ang. FRET, patrz [40]). Nie zawsze tak jest, np. złoto wygasza część emisji barwnika, a srebro może za pomocą FRET przekazywać mu część swej energii wzbudzenia. Oba mechanizmy, SPCE i FRET, są zjawiskami rezonansowymi, ale FRET zachodzi wydajnie dla dużo mniejszych odległości między molekułami (od ok. 3 nm do ok. 6 nm) [1], podczas gdy SPCE – od 10 nm do nawet kilkuset nanometrów [33]. Przy odległości pomiędzy powierzchnią metalu i emitującą SPCE molekułą równej ok. 200 nm przekazywanie energii od SP do molekuly jest bardzo wydajne. Poza tym, zależnie od typu próbki i konfiguracji zestawu aparaturowego, do obserwowanej emisji przyczyniają się cząsteczki ułożone w różnych odległościach od powierzchni metalu.



Rys. 2. Uproszczony diagram Jabłońskiego dla molekuly: a) w nieobecności metalu, b) w obecności metalu; E – energia pochłonięta, Γ – dezaktywacja promienista, k_{nr} – dezaktywacja niepromienista (cieplna). Wskaźnik m oznacza daną wielkość w obecności metalu; E_m – dodatkowa energia wzbudzenia barwnika przez przekazanie energii plazmonów, Γ_m – dodatkowa emisja barwnika (SPCE).

Jak już wspomnieliśmy, zjawisko SPR można opisać jako rozchodzenie się oscylacji swobodnych elektronów na powierzchni metalu. Dokładne przedstawienie zastosowania elektrodynamiki do opisu tego typu zjawisk zachodzących w cienkich warstwach można znaleźć w literaturze [41,42]. Względna przenikalność elektryczna („stała dielektryczna”) ε warstwy np. lipidów lub białek jest zespolona i zależy od stosunku prędkości rozchodzenia się światła w warstwie (v) oraz w próżni (c):

$$\varepsilon^{1/2} = \frac{c}{v} = n - i\kappa, \quad (1)$$

gdzie n jest współczynnikiem załamania warstwy, a κ – jej współczynnikiem ekstynkcji [42].

Rozchodzenie się płaskiej, monochromatycznej, liniowo spolaryzowanej fali elektromagnetycznej w układzie cienkich warstw można opisać za pomocą równań Maxwella [34]. Zjawisko SPCE występuje tylko w warstwach dostatecznie cienkich (o grubości najwyżej kilkuset nanometrów); istotna jest również polaryzacja fali padającej. Dla fali spolaryzowanej tak, że jej wektor elektryczny leży w płaszczyźnie padania (tzw. polaryzacja p – tylko taka fala może wydajnie wytwarzać plazmony [32]) oblicza się współczynniki przepuszczalności, absorpcji i odbicia.

Zarówno z teorii jak i doświadczenia wynika, że zjawisko SPCE zależy od długości fali światła wzbudzającego, kąta padania światła na warstwę i grubości warstwy [32,34]. Emisja SPCE następuje w postaci wąskiej wiązki pod określonym kątem w stosunku do normalnej do powierzchni metalu. Kąt ten zależy od kąta padania wiązki wzbudzającej i rodzaju metalu. Wydajność tej dodatkowej emisji zależy od odległości między powierzchnią metalu, na której powstają plazmony, i cząsteczką emitującego barwnika.

Występowanie absorpcji światła przez plazmony zależy od dopasowania wektora falowego światła padającego k oraz wektora falowego plazmonów k_{SP} [43]. Dla układu pomiarowego z rys. 3

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{n_p \omega}{c} = n_p k_0, \quad (2)$$

gdzie n_p jest współczynnikiem załamania pryzmatu lub półwalca pełniącego jego funkcję, przez który przechodzi światło przed dotarciem do emitującego barwnika, ω jest częstotliwością padającego promieniowania, λ – jego długością fali w pryzmacie, a k_0 – wektorem falowym światła w próżni (lub – w przybliżeniu – w powietrzu).

Obliczenie wektora falowego k_{SP} dla plazmonów powierzchniowych jest nieco bardziej skomplikowane. Współczynnik załamania i stała dielektryczna (ε_m) metalu są wielkościami zespolonymi:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_r + i\varepsilon_i. \quad (3)$$

Dla metalu można zapisać przybliżony wzór

$$k_{SP} = k_0 \left(\frac{\varepsilon_r \varepsilon_s}{\varepsilon_r + \varepsilon_s} \right)^{1/2}, \quad (4)$$

gdzie ε_r oraz ε_s są częściami rzeczywistymi stałych dielektrycznych odpowiednio metalu i próbki.

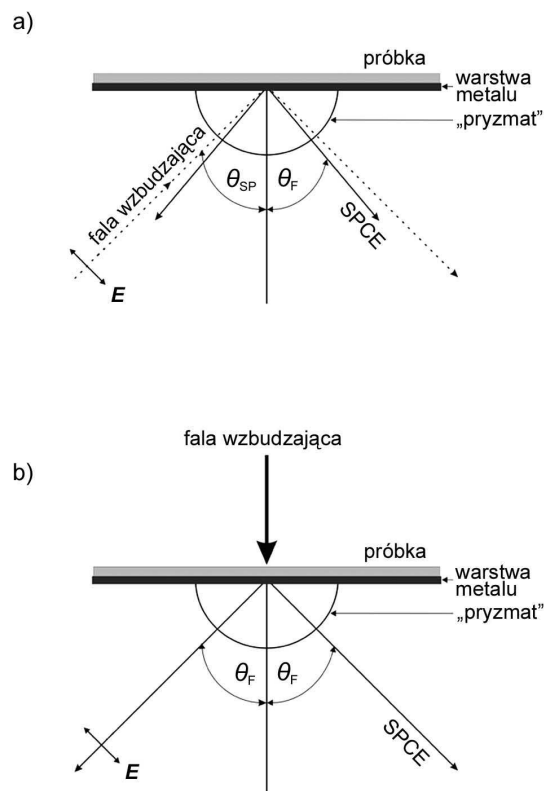
Wektor falowy światła w pryzmacie wyraża się wzorem

$$k_p = k_0 n_p, \quad (5)$$

a jego składowa wzdłuż osi x leżącej w płaszczyźnie padania i równoległej do warstwy – wzorem

$$k_x = k_0 n_p \sin \theta_1, \quad (6)$$

gdzie θ_1 jest kątem padania światła.



Rys. 3. Dwie konfiguracje układów pomiarowych stosowane w badaniach układów warstwowych: a) konfiguracja Kretschmanna, b) odwrotna konfiguracja Kretschmanna (θ_{SP} – kąt, pod którym wiązka wzbudząca wywołuje rezonans plazmonów, θ_F – kąt, pod którym emitowana jest wąska wiązka fluorescencji, polaryzacja wektora elektrycznego E wiązki wzbudzącej: p)

A więc warunek absorpcji światła przez plazmony ma postać

$$k_{SP} = k_0 n_p \sin \theta_1. \quad (7)$$

Wektor elektryczny światła padającego musi być dopasowywany przez zmianę kąta, co jest możliwe jedynie wtedy, gdy wektor elektryczny światła leży w płaszczyźnie padania (polaryzacja p). Światło o polaryzacji s, którego wektor elektryczny leży w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny padania, zwykle nie

wywołuje SPR-u, choć słaba emisja może i w takim przypadku występować dla niektórych grubości warstw [43]. Kąty, pod którymi następuje wydajna emisja SPR, zależą od kątów intensywnego odbicia światła wzbudającego. Na rysunku 3 przedstawione są dwie konfiguracje używane w eksperymentach, tzw. konfiguracja Kretschmanna (KR, rys. 3a) i odwrotna konfiguracja Kretschmanna (RK, rys. 3b). Przy KR światło pada na półwalec („pryzmat”), przy RK – prostopadle na warstwę. W pracy [43] użyto dwóch warstw: jedna, zabarwiona, zawierała wodny roztwór PVA (alkoholu poliwinylowego), druga była cienką warstwą metalu. Widma emisji przy obu konfiguracjach były takie same.

Wybór konfiguracji zależy od parametrów próbki. Czasem nie jest łatwo ustalić kąt intensywnego odbicia światła – wtedy dogodniejszą konfiguracją jest RK. Emisja przy tej konfiguracji następuje w wąskim kącie, charakterystycznym dla danego metalu (rys. 4); np. w pracy [43] wyznaczono dla złota $\theta_{SP} = 57,5^\circ$, a dla srebra $\theta_{SP} = 53,0^\circ$.

Dla warstw metalu z nierównościami powierzchni zjawisko powstawania plazmonów zależy od rozmiarów tych nierówności. Jeśli w odpowiedniej odległości od powierzchni metalu znajdzie się cząsteczka barwnika, to jej emisja może być wielokrotnie wzmocniona [20,30].

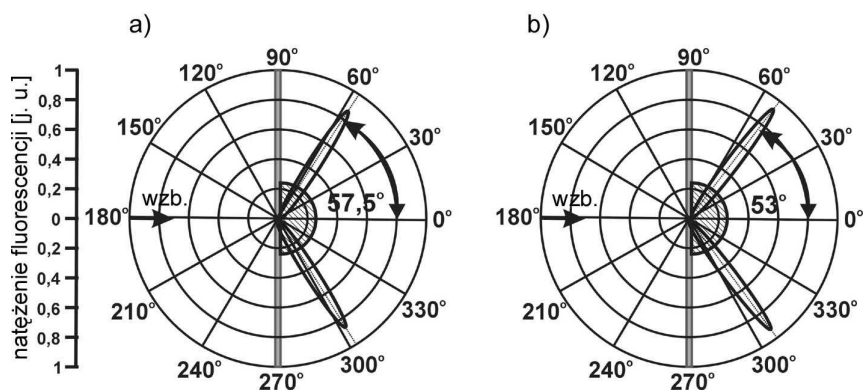
Wydajność kwantowa fluorescencji barwnika wyraża się w nieobecności metalu wzorem

$$\phi_0 = \frac{\Gamma}{\Gamma + k_{nr}}, \quad (8)$$

gdzie Γ jest szybkością dezaktywacji promienistej, a k_{nr} – dezaktywacji niepromienistej w nieobecności metalu. W obecności metalu obowiązuje wzór [34]

$$\phi_m = \frac{\gamma\Gamma}{\gamma\Gamma + k_{nrm}}, \quad (9)$$

gdzie $\Gamma_m = \gamma\Gamma$ jest szybkością dezaktywacji promienistej w obecności metalu.



Rys. 4. Przykłady rozkładu kątownego emisji barwnika umieszczonego w konfiguracji RK na warstwie złota (a), na warstwie srebra (b); wzb – wiązka wzbudząca

Teoretycznie rezonans z SP powinien wpływać nie tylko na wydajność emisji barwnika, ale i na czas zaniku emitowanej fluorescencji [34]. Czasy zaniku emisji w nieobecności metalu τ_0 i w jego obecności τ_m opisują następujące wzory:

$$\tau_0 = (\Gamma + k_{nr})^{-1} \quad (10)$$

oraz

$$\tau_m = (\Gamma_m + k_{nrm})^{-1}. \quad (11)$$

Wzory (10) i (11) nie zawsze sprawdzają się w doświadczeniu. Na przykład w pracy [43] czasy zaniku zależą od zastosowanej konfiguracji doświadczenia, a w pracy [44] przy jednofotonowym wzbudzeniu czasy zaniku emisji w obecności i nieobecności metalu różnią się jedynie nieznacznie. Jest to wynik nałożenia się wielu mechanizmów oddziaływania barwnika z otoczeniem, obowiązujących dla molekuł umieszczonych w różnych odległościach od metalu i od siebie. Mają one różny wpływ na natężenie fluorescencji i jej zanik. Udział poszczególnych mechanizmów zależy od geometrii układu pomiarowego i typu wzbudzenia.

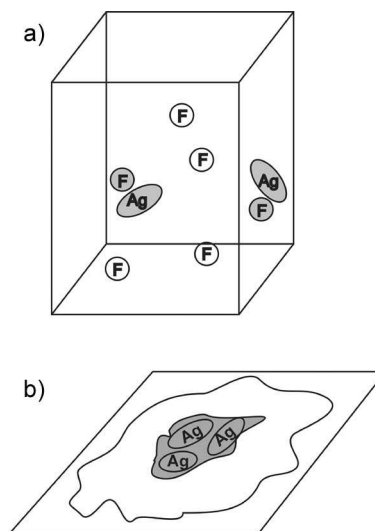
Niepromienista dezaktywacja wzbudzenia barwnika w obecności metalu teoretycznie powinna być taka sama jak w jego nieobecności ($k_{nr} = k_{nrm}$). Trzeba to jednak zawsze doświadczalnie sprawdzić, bo wskutek wtórnych efektów nakładających się na powstawanie plazmonów nie zawsze tak jest.

Uproszczony schemat Jabłońskiego dla próbek bez metalu [20] i z metalem (rys. 2) nie uwzględnia tych dodatkowych efektów. Według tego schematu i wzorów (10) oraz (11) czas zaniku fluorescencji powinien się skracać w przypadku występowania SPCE. Niektóre układy nie wykazują jednak takiego skrócenia, choć wydajność fluorescencji rośnie [33]. Wymaga to oczywiście w każdym przypadku odrębnego wyjaśnienia. Jasne jest więc, że badając efekty plazmonowe, należy mierzyć nie tylko wzmocnienie emisji, ale i jej czas zaniku oraz niepromienistą dezaktywację wzbudzenia badanego układu.

Układy, w których można badać SPCE

Najprostszą metodą takich badań jest porównanie własności widmowych wodnego roztworu barwnika i roztworu z dodatkiem koloidalnego metalu [20,45,46]. Próbkę taką bada się w normalnych spektrometrach absorpcyjnych i emisyjnych, wyznaczając fluorometrycznie czasy zaniku emisji. Średnie odległości między powierzchniami mikrocząsteczek koloidów i molekułami barwnika możemy zmieniać przez zmianę stężeń barwnika i koloidu, ale ich wartości nie znamy. Barwnik może gromadzić się wokół koloidalnych cząstek, wskutek czego prawdziwe odległości mogą znacznie się różnić od obliczonych ze stężeń (rys. 5). Ustalenie prawdziwego rozkładu barwnika wymaga żmudnych badań specjalnymi metodami mikroskopowymi. Nie możemy wyznaczyć jednej, określonej odległości cząsteczek barwnika od powierzchni metalu. Nie mamy też

wplywu na kąt między powierzchnią metalu i kierunkami wiązek wzbudzającej oraz emitowanej. Wyznaczony czas zaniku emisji jest wartością średnią czasów zaniku fluorescencji drobin barwnika różnie odległych od metalu i różnie ułożonych. Mimo tych wad układ taki, po odpowiedniej kalibracji, może być bardzo użyteczny do badania zatrucia metalami glonów lub bakterii fotosyntetyzujących. Może też być użyty w badaniach rozmieszczenia różnych naturalnych, słabo świecących molekuł w tkankach.



Rys. 5. Sелекtywne wzbudzenia molekuł znajdujących się w pobliżu powierzchni metalu (a) oraz wzbudzenie tkanki, w którą wniknął metal w postaci koloidu (b); F – fluorofor, Ag – koloidalne srebro; zaciemnione pola oznaczają emisję

Plazmony powierzchniowe powstające w cząstkach metalu silnie zależą od symetrii tych cząstek (patrz np. [20,46]). Wskutek tego w próbkach preparowanych różnymi metodami efekty też mogą się różnić, nawet wtedy, gdy średnie stężenia cząsteczek metalu i barwnika są podobne. Dla próbek z koloidami metali wyniki zależą od kształtu i wymiaru cząstek koloidalnych [20].

Wyniki łatwiejsze do przewidzenia i interpretacji można uzyskać dla układów, w których na warstwie metalu leży warstwa zawierająca barwnik. Pozwalają one na pomiar SPCE pod ustalonymi kątami wiązek światła wzbudzającego i światła fluorescencji (rys. 1 i 3). Takie układy dają też zwykle dużo silniejsze wzmocnienie emisji i bardziej powtarzalne wyniki. Wyznaczenie kątów padania światła i obserwacji emisji jest istotne, bo wzmocnienie następuje jedynie w wąskich wiązkach, których kierunek zależy od własności próbki i długości fali światła. Te korzystne kąty są różne dla różnych metali [32,33]. W układach takich można również w znany sposób wyznaczać odległość między barwnikiem i metalem.

W wielu pracach prowadzonych na takich układach warstwowych, np. w pracy [27], warstwę barwnika w roztworze PVA umieszcza się na warstewce metalu i oświetla przez półcyldryczny pryzmat pod takim kątem, że odbicie światła jest mało wydajne, a więc światło jest pochłaniane przez plazmony i wydajność emisji barwnika rośnie. Zarówno powstawanie plazmonów jak i efekt SPCE silnie zależą od grubości warstwy dielektrycznej (np. roztworu barwnika w PVA) nałożonej na warstwę metalu [32].

Przy pracy w zakresie widzialnym lub bliskiej podczerwieni używa się warstw Ag lub Au, a w nadfiolecie – aluminium, które jest szczególnie dogodne przy badaniu wielu chromoforów biologicznych. Oczywiście w nadfiolecie trzeba używać optyki kwarcowej.

W pracy [43], w której badano pochodną rodminy (też w roztworze PVA) umieszczoną na warstwie złota, autorzy stwierdzili silne wzmocnienie emisji barwnika, które, jak sugeruje silna polaryzacja fluorescencji, związane jest z plazmonami, choć zaskakujące jest, że czas zaniku fluorescencji nie uległ skróceniu. Złoto przy małych odległościach metal–barwnik wygasza przez FRET fluorescencję barwnika, ale SPCE zachodzi zwykle dla odległości większych niż zasięg FRET, można więc uniknąć wygaszania emisji przez złoto, stosując odpowiedni schemat układu. Jeśli metal wygasza emisję barwnika przez FRET, to trzeba ustalić odległość między barwnikiem nieco większą, taką, przy której FRET jest już nieefektywny, a SPCE przebiega wydajnie.

Poza płaskimi warstewkami metalu stosowane są próbki z nierównościami warstwy metalicznej lub „wysepkami” metali ułożonymi w jednej warstwie [44]. W obu przypadkach wzmocnienia zależą od wymiarów metalicznych występow lub wysepek.

Przy wytwarzaniu przez molekuly emisji wzmocnionej przez SPCE użyteczne mogą być różne nanocząstki zawierające metale. Interesujące są nanocząstki złota z fulerem C_{60} [47], gdyż mogą one tworzyć różne układy nanowymiarowe: kuliste, elipsoidalne, w kształcie pałeczek, lub budować warstwy podobne do membran biologicznych.

Obiecujące są też porowate warstwy metaliczne tworzące się z nanocząstek metalu [48]. Takie warstewki utworzone ze złotych nanocząstek mogłyby mieć w swych porach badane molekuly, które miałyby dużą szansę oddziaływania z metalem, a więc mogłyby powstawać SPCE.

Do wytwarzania rezonansu SP bardzo dogodne jest wykorzystanie wzbudzeń wielofotonowych [36,46,38]. Powstawanie plazmonów powierzchniowych zależy przy takich wzbudzeniach od symetrii nanocząstek metalu. Wytwarzanie drugiej harmonicznej, przy której z dwóch kwantów o częstotliwości ω powstaje jeden o częstotliwości 2ω , nie powinno zachodzić dla cząstek o symetrii sferycznej. Absorpcja dwufotonowa światła przez badany barwnik zależy od symetrii stanu odpowiedzialnego za wzbudzenie [46,38]. Na szczęście są

siedztwo powierzchni metalu, na której powstają plazmony, przełamuje symetrię stanów barwnika. Uzyskujemy świetną sytuację, w której wzbudzane są jedynie molekuly oddziałujące z plazmonami, więc nie ma tła związanego z fluorescencją molekul daleko położonych, w których nie następuje wzmocnienie. Użytkujemy selektywność wzbudzenia molekul położonych koło nanocząstek metalu (rys. 5). Wzbudzenia wielokwantowe wymagają większych natężeń światła niż jednokwantowe. Natężenie drugiej harmonicznej zależy od kwadratu, a trzeciej – od sześciastu natężenia wiązki wzbudzającej. Rezonans SP można jednak wtedy uzyskać przy mniejszych częstotliwościach, co jest korzystne, bo stosując oświetlenie intensywnym długofalowym światłem lasera, otrzymać możemy wzbudzenie emisji krótkofalowej, no i wzbudzać selektywnie jedynie molekuly położone stosunkowo blisko metalu. Oświetlenie długofalowe zwykle mniej uszkadza próbkę biologiczną niż krótkofalowe. Daje to możliwość dwufotonowego [36,49] lub nawet wielofotonowego [44] wzbudzania emisji. Dogodność selektywności wzbudzenia widać z pracy [44], w której zarówno wzmocnienie emisji, jak i skrócenie czasów jej zaniku są dużo lepiej obserwowane przy wzbudzeniach dwu- niż jednokwantowych.

W pracy z laboratorium prof. Lakowicza z 1997 r., której współautorami są oczywiście dwaj Polacy (Henryk Malak i Ignacy Gryczyński) [49], opisane jest dwufotonowe wzbudzenie DNA znakowanego barwnikiem. W pracy tej przez dwufotonowe wzbudzenie ustalano symetrię stanów wzbudzonych fluoroforu. Już wcześniej obserwowano dwufotonowe [50–52], a nawet trójfotonowe [53,54] wzbudzenia różnych fluoroforów. Wielofotonowe wzbudzenia są więc również z powodzeniem stosowane w badaniach mikroskopowych, w których obserwowano proporcjonalność intensywności obserwowanej emisji obrazu odpowiednio do drugiej lub trzeciej potęgi natężenia światła. Podobne barwniki są stosowane jako znaczniki DNA przy różnych pomiarach. Niektóre barwniki słabo świecą w roztworach wodnych, a silnie, gdy barwnik wprowadzony jest w podwójną helisę DNA. Dla takich barwników czasem nie trzeba stosować plazmonów. Wzmocnienia fluorescencji można zatem uzyskać nie tylko przez wzbudzanie plazmonów na powierzchni metali, ale i przez oddziaływanie niektórych chromoforów z badanymi makromolekulami. Dla każdego zagadnienia i typu próbek trzeba dobrać najdogodniejszy układ doświadczalny.

Przykłady zastosowania plazmonów

Podamy teraz kilka przykładów wykorzystania plazmonów (przy jedno- i wielofotonowych wzbudzeniach) w badaniach biofizycznych.

W pracy [44] badano wpływ warstwy z wysepkami srebra na wzbudzaną wielofotonowo emisję barwników syntetycznych (pochodnych rodminy) i fluoroforów biologicznych. Wzbudzenia dwufotonowe dały aż

czterokrotny wzrost emisji w obecności srebra, podczas gdy jednofotonowe powodowały jedynie słaby efekt. Przy wzbudzeniach jednofotonowych średni czas zaniku emisji barwnika nawet nieco wzrósł, podczas gdy przy wzbudzeniach dwufotonowych „przepisowo” uległ skróceniu. Otrzymane wyniki autorzy tłumaczą tym, że przy wzbudzeniu jednofotonowym tylko mała część molekuł barwnika – te, które znajdują się w odpowiedniej odległości od srebra – wykazuje wzmocnioną fluorescencję, a mierzy się emisję wszystkich cząsteczek, podczas gdy dwufotonowo wzbudzone są selektywnie przede wszystkim molekuly sąsiadujące z wysepkami srebra (rys. 5), wykazujące wzmocnienie emisji. Wzbudzenia wielofotonowe ułatwiają więc badanie SPCE. Dzięki rozwojowi techniki laserowej, dostarczającej potężnych źródeł światła, są one obecnie możliwe do stosowania.

W pracy [35] badano za pomocą SPCE hybrydyzację DNA. Jest to zjawisko ważne od strony medycznej i biologicznej, badane poprzednio innymi metodami [49]. Polega ono na kowalentnej asocjacji nukleotydów o komplementarnych sekwencjach, które tworzą układ podwójny. Wykorzystuje się to do konstrukcji czujników sekwencji DNA w badanym materiale [37]. W wielu pracach (patrz np. [35]) badano zarówno odbicie światła padającego na próbkę pod różnymi kątami, jak i widmo SPCE w konfiguracjach KR i RK (rys. 3). Przy wzbudzeniach RK widmo emisji nie wykazywało hybrydyzacji, podczas gdy w konfiguracji KR efekt ten był dobrze mierzalny dzięki selektywnemu wzbudzaniu molekuł sąsiadujących z metalem. Badane molekuly są zbyt małe, by mogła zachodzić SPCE, można więc, w celu zwiększenia czułości pomiaru, nakładać nawet kilka warstw tych molekuł na powierzchnię metalu. Zbieranie emisji pod właściwym kątem w stosunku do warstwy pozwala łatwo zarejestrować nawet 50% emitowanego światła [35].

Użycie w metodzie SPCE metalicznego Al pozwala rozszerzyć badania np. tryptofanu lub białek zawierających tyrozynę na zakres nadfioletu (300–400 nm) bez stosowania znaczników pochłaniających fale dłuższe [27]. W pracy tej autorzy pokrywają aluminium warstwą SiO_2 o grubości 10 nm, która eliminuje wygaszanie SPCE przez metal oraz chroni jego warstwę. Takie aluminiowe płytki z osłoną mogą po umyciu być używane wielokrotnie. Autorzy proponują, by na podstawie spolaryzowanej i ściśle kierunkowej emisji SPCE konstruować tanie urządzenia spektralne.

Przykłady te pochodziły z laboratorium prof. Lakowicza; następny oparty jest na pracy z Włoch [37]. Praca ta przedstawia możliwość skonstruowania wskaźnika opartego na powierzchniowych plazmonach, który może znaleźć zastosowanie w badaniach żywności. Idea polega na wykorzystaniu faktu, że kąt, pod którym następuje emisja SPCE, zależy od współczynnika załamania ośrodka położonego w bezpośrednim sąsiedztwie metalu. Jeśli w jakiejś próbce zajdzie re-

akcja zmieniająca współczynnik załamania badanego materiału, to emisja pod ustalonym kątem nie będzie rejestrowana. W zastosowanej aparaturze badano zbiory próbek utworzonych na jednej warstwie metalu przez spontanicznie tworzące się monowarstwy z materiału wkraplanego przez przesłonę z wieloma otworami. Za pomocą tej aparatury można zarejestrować obraz powierzchni metalu pokrytej unieruchomionym DNA, w różnym czasie od początku procesu hybrydyzacji. Można też nałożyć identyczne lub różne próbki i rejestrować ewolucję ich zbiorowego obrazu.

Wydaje się, że przy odpowiedniej kalibracji podobna aparatura może służyć do sprawdzania składu i stanu żywności. Jest stosunkowo tania i łatwa w obsłudze, jeśli się ją poprzednio wykalibruje na rejestrowanie obecności określonych substancji w próbce.

Wykazano też [55], że przy wzbudzeniach dwufotonowych można badać ligandy molekuł z metalami, powstające z przeniesieniem ładunku.

Jak widać z tego krótkiego przeglądu, proponowane zastosowania są jeszcze dość monotematyczne, skupione wokół hybrydyzacji DNA, musimy jednak wziąć pod uwagę, że zastosowania spektroskopowe SP są jeszcze dziedziną młodą i że ostatnio bardzo się rozwijają. Dają one możliwość wykorzystania bardzo małych i tanich przyrządów w badaniach widmowych [27].

Literatura

- [1] J.R. Lakowicz, *Principles of Fluorescence Spectroscopy* (Kluwer, New York 1999).
- [2] A. Kawski, *Fotoluminescencja roztworów* (PWN, Warszawa 1992).
- [3] D. Frąckowiak i in., *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **126**, 254 (1985).
- [4] D. Frąckowiak i in., *Photochem. Photobiol.* **42**, 567 (1985).
- [5] D. Frąckowiak, Z. Salamon, *Photochem. Photobiol.* **11**, 559 (1970).
- [6] S. Surma, D. Frąckowiak, *Photosynthetica* **4**, 202 (1970).
- [7] D. Frąckowiak i in., *Stud. Biophys.* **63**, 183 (1977).
- [8] D. Frąckowiak, *Bull. Acad. Polon. A* **26**, 757 (1978).
- [9] D. Frąckowiak i in., „Polarized spectra of PS 2 particles in PVA films”, w: *Progress in Photosynthesis Research*, red. J. Biggins (Martinus Nijhoff Publ., Dordrecht 1978).
- [10] D. Frąckowiak, *Bull. Acad. Polon. Sci. U II* **127**, 161 (1979).
- [11] K. Fiksiński, D. Frąckowiak, *Spectrosc. Lett.* **13**, 873 (1980).
- [12] D. Frąckowiak i in., *Photosynthetica* **3**, 39 (1969).
- [13] D. Frąckowiak, J. Grabowski, *Photosynthetica* **4**, 236 (1970).
- [14] D. Frąckowiak, J. Grabowski, *Photosynthetica* **7**, 402 (1973).
- [15] D. Frąckowiak i in., *Photosynthetica* **10**, 204 (1976).
- [16] *Biofizyka kwasów nukleinowych dla biologów*, red. M. Bryszewska, W. Leyko (PWN, Warszawa 2000).
- [17] *Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii*, red. A.Z. Hryniewicz, E. Rokita (PWN, Warszawa 2000).
- [18] D. Frąckowiak i in., *Photochem. Photobiol.* **33**, 779 (1981).
- [19] D. Frąckowiak i in., *Photosynthetica* **15**, 36 (1982).

- [20] J.R. Lakowicz i in., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36**, R240 (2003).
- [21] L.J. Kricka i in., *Anal. Chem.* **69**, 165R (1997).
- [22] N. Ichinose, G. Schwedt, F.M. Schnepel, K. Adachi, *Fluorometric Analysis in Biomedical Chemistry* (Wiley, New York 1987).
- [23] R.J. Lipshutz i in., *Nature Genetics Suppl.* **21**, 20 (1999).
- [24] P.O. Brown, D. Botstein, *Nature Genetics Suppl.* **21**, 33 (1999).
- [25] R.W. Wood, *Philos. Mag.* **23**, 310 (1912).
- [26] J.R. Lakowicz i in., *Anal. Biochem.* **301**, 261 (2002).
- [27] I. Gryczyński i in., *Photochem. Photobiol.* **80**, 482 (2004).
- [28] E.A. Stern, R.A. Ferrell, *Phys. Rev.* **120**, 130 (1960).
- [29] B.P. Maliwal i in., *Biopolymers (Biospectroscopy)* **70**, 585 (2003).
- [30] H. Malak, „Zastosowania nanofizyki w biologii i medycynie”, w: *Materiały konferencyjne – Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych*, XIV Konferencja, Bydgoszcz 2004.
- [31] C.A. Heller i in., *J. Chem. Eng. Data* **19**, 214 (1974).
- [32] I. Gryczyński i in., *J. Phys. Chem. B* **108**, 12073 (2004).
- [33] I. Gryczyński i in., *Anal. Biochem.* **324**, 170 (2004).
- [34] Z. Salamon i in., *Biochim. Biophys. Acta* **1331**, 117 (1997).
- [35] J. Malicka i in., *Anal. Chem.* **75**, 6629 (2003).
- [36] I. Gryczyński i in., *Thin Solid Films* **491**, 173 (2005).
- [37] J. Spadavecchia i in., *Biosensors and Bioelectronics* **21**, 894 (2005).
- [38] J.R. Lakowicz i in., *Acta Phys. Polon. A* **95**, 179 (1999).
- [39] Z. Salamon i in., *Biochim. Biophys. Acta* **1331**, 131 (1997).
- [40] D. Frąckowiak i in., *Postępy Fizyki* **56**, 12 (2005).
- [41] M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics* (Pergamon Press, New York 1965).
- [42] H.A. Macleod, *Thin-film Optical Filters* (McGraw-Hill, New York 1988).
- [43] I. Gryczyński i in., *J. Chem. Phys. B* **108**, 12568 (2004).
- [44] I. Gryczyński i in., *J. Phys. Chem. B* **106**, 2191 (2002).
- [45] P. Siejak, D. Frąckowiak, *J. Phys. Chem. B* **109**, 14382 (2005).
- [46] J. Nappa i in., *Chem. Phys. Lett.* **415**, 246 (2005).
- [47] P. Zhang i in., *Langmuir* **20**, 1466 (2004).
- [48] X.M. Cai i in., *Thin Solid Films* **491**, 66 (2005).
- [49] H. Malak i in., *Biophys. Chem.* **67**, 34 (1997).
- [50] D.M. Sammeth i in., *J. Phys. Chem.* **94**, 7340 (1990).
- [51] J.R. Lakowicz, I. Gryczyński, *J. Fluoresc.* **2**, 117 (1992).
- [52] I. Gryczyński, J.R. Lakowicz, *J. Fluoresc.* **4**, 331 (1994).
- [53] I. Gryczyński i in., *Chem. Phys. Lett.* **245**, 30 (1995).
- [54] W. Denk i in., *Science* **248**, 73 (1990).
- [55] F.N. Castellano i in., *Inorg. Chem.* **36**, 5548 (1997).

DANUTA FRĄCKOWIAK, emerytowany profesor zwyczajny Politechniki Poznańskiej, jest biofizykiem i zajmuje się wykorzystaniem spektroskopii molekularnej do wyjaśnienia procesów zachodzących w aparacie fotosyntetycznym organizmów oraz do wyboru fotouczulaczy i wskaźników fluorescencyjnych właściwych w zastosowaniach medycznych. Jest autorem lub współautorem ponad 200 publikacji w czasopismach naukowych oraz ponad 50 rozdziałów książek i artykułów przeglądowych, promotorem 25 doktorów, z których 12 jest już po habilitacji. Jest honorowym członkiem Polskiego Towarzystwa Biofizycznego oraz członkiem Towarzystw Fotobiologicznych: Amerykańskiego i Europejskiego. Ma dwoje dzieci i 3 wnuków. Jej hobby to praca naukowa, wnuki i pies.



Mgr inż. PRZEMYSŁAW SIEJAK ukończył w roku 2003 studia na Wydziale Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej w zakresie fizyki materiałów i nanotechnologii. Obecnie jest słuchaczem Studium Doktoranckiego „Technologia Chemiczna i Aparatura Badawcza”. Jego praca doktorska wykonywana w Zakładzie Fizyki Molekularnej WFT PP dotyczy wpływu cząstek metalicznych na naturalne i syntetyczne barwniki organiczne.



Uchwycić mądrość Feynmana*

Matthew Sands

University of California, Santa Cruz, USA

Capturing the wisdom of Feynman

Abstract: The sole survivor of the three authors who brought *The Feynman Lectures on Physics* to life describes how his hopes of introducing modern physics to undergraduate students were realized beyond his dreams.

Wstęp

„Cała impreza była w gruncie rzeczy eksperymentem”. Tak Richard Feynman określił cykl wykładów, które wygłosił w ramach wstępnego kursu fizyki dla studentów Caltechu w latach 1961–63 [1]. Eksperyment ten był częścią programu tworzenia nowego kursu, który miał, jak oczekiwano, zapoznać początkujących studentów z wieloma kluczowymi ideami fizyki XX wieku. Sprawy tak się ułożyły, że wykłady te stały się podstawą trzytomowego dzieła *Feynmana wykłady z fizyki*, którego wpływ sięgnął daleko poza studentów Caltechu. Oto moje wspomnienia o tym, jak powstały *Wykłady*.

Spotkałem Feynmana po raz pierwszy i zaprzyjaźniłem się z nim w roku 1944 w Los Alamos, gdzie pracowaliśmy nad Projektem Manhattan. Po sześciu latach znaleźliśmy się znowu razem w Caltechu. W pierwszych moich latach na tej uczelni proszono mnie tylko o wykłady dla studentów studiów magisterskich. Ich program wzbudził moje przerażenie. Na pierwszym roku mieli tylko wykład z mechaniki oraz elektryczności i magnetyzmu, przy czym ten ostatni dotyczył zagadnień statycznych, a w ogóle nie omawiał teorii promieniowania. Uważałem za skandal, że ci błyskotliwi studenci nie mieli kontaktu z fizyką współczesną – której idee były znane już od ponad 20 lat – aż do drugiego czy trzeciego roku studiów.

Rozpocząłem więc kampanię na rzecz reformy programu studiów wyższych lat w Caltechu. Poprosiłem Feynmana, by się do niej przyłączył, stworzyliśmy szkic nowego programu i przekonaliśmy kadrę wydziału fizyki, żeby go zaakceptowała. Studenci pierwszego roku chodzili na prowadzony przeze mnie wykład z elektrodynamiki i teorii elektronu, na wykładany przez Feynmana wstęp do mechaniki kwantowej i, o ile sobie przypominam, na wykład z metod matematycznych prowadzony przez Roberta Walkera. Myślałem, że nowy program był całkiem udany.

Sputnik przyspiesza zmiany

W późnych latach 50. Jerrold Zacharias, emerytowany dyrektor Laboratorium Fizyki Jądrowej w MIT, pod wpływem sukcesu radzieckiego programu kosmicznego – wystrzelenia Sputnika – postanowił dążyć do ożywienia programu nauczania fizyki w amerykańskich szkołach średnich. By zreformować ów program, utworzył wraz z innymi Physical Science Study Committee (PSSC), w którego skład weszli fizycy, inni naukowcy i ludzie pióra. Komitet zainspirował powstanie wielu nowych materiałów i pomysłów dydaktycznych, a także wywołał nieco sporów.

Gdy realizacja projektu PSSC zbliżała się ku końcowi, Zacharias wraz z kolegami (jak pamiętam, byli tam też Francis Friedman i Philip Morrison) zdecydowali, że nadszedł czas, by zreformować wstępne nauczanie fizyki akademickiej. Zorganizowali kilka dużych spotkań wykładowców fizyki, które doprowadziły do powstania Komisji ds. Fizyki Akademickiej, krajowego komitetu, w skład którego weszło kilkunastu wykładowców. Komisji tej, wspieranej przez National Science Foundation, powierzono stymulowanie ogólnokrajowych działań na rzecz modernizacji nauczania fizyki na wyższych uczelniach. Zacharias zaprosił mnie na pierwsze spotkanie Komisji i zostałem jej członkiem, a w latach 1964–66 przewodniczącym.

Ta działalność zdopinguwała mnie do myślenia o sposobach poprawy programu pierwszych lat studiów w Caltechu, z którego od dawna byłem niezadowolony. Wstępny kurs fizyki opierał się na wydanym w 1937 r. dobrym podręczniku autorstwa Roberta Millikana, Duane’a Rollera i Earnesta Watsona *Mechanika, fizyka cząsteczkowa, ciepło i dźwięk*, który prawie nie zawierał fizyki współczesnej. Ponadto w kursie tym nie prowadzono wykładów, więc nauczyciele akademicki mieli mało okazji do wprowadzania nowego materiału. Silne strony tego kursu były dwojakie: zbiór trudnych zadań zebranych przez Fostera Stronga,

* Artykuł, opublikowany w *Physics Today* 58, zes. 4, 49 (2005), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy. [Translated with permission. © 2005 American Institute of Physics]

wykorzystywanych jako cotygodniowe prace domowe, i ćwiczenia rachunkowe, na których studenci dwa razy w tygodniu rozwiązywali zadania.

Modernizacja programu pierwszych lat studiów

Jak każdy nauczyciel akademicki, co roku byłem opiekunem grupki studentów, którzy wybrali fizykę jako przedmiot kierunkowy. Gdy z nimi rozmawiałem, przerażało mnie, że często już na trzecim roku studiów byli zniechęceni do dalszego studiowania fizyki. Ich zniechęcenie brało się przynajmniej w części z nauki fizyki przez dwa lata bez kontaktu z jakimikolwiek współczesnymi ideami fizycznymi. Postanowiłem nie czekać, aż dojrzeje program krajowy, lecz spróbować zrobić coś na Caltechu. Szczególnie zależało mi na tym, by pewne treści z fizyki współczesnej – atomy, jądro atomowe, kwanty i teoria względności – zostały wprowadzone już do programu studiów wstępnych.

Po dyskusjach z kilkoma kolegami – zwłaszcza z Thomasem Lauritsenem i Feynmanem – zaproponowałem Robertowi Bacherowi, który był wówczas dziekanem wydziału fizyki, byśmy rozpoczęli reformę kursu wstępnego. Jego pierwsza reakcja nie była zbyt zachęcająca. Powiedział coś w tym rodzaju: – Mówię ludziom, że mamy bardzo dobry program, z którego jestem dumny. Nawet ćwiczenia prowadzą często nasi najbardziej doświadczeni profesorowie. Po co nam zmiany? – Upierałem się przy swoim i poparło mnie kilku kolegów, więc Bacher zmieknął, zaakceptował pomysły i wkrótce postarał się o grant z Fundacji Forda, w wysokości, o ile dobrze pamiętam, ponad miliona dolarów. Pieniądze te były przyznane na koszty nowego wyposażenia dla pracowni studenckich, opracowania programu nowego kursu, a w szczególności na opłacenie tymczasowej kadry, która miała przejąć obowiązki dydaktyczne osób pracujących nad projektem.

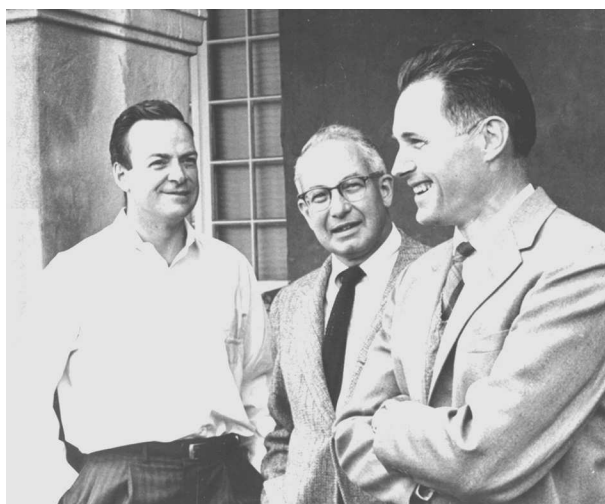
Gdy Bacher otrzymał pieniądze z grantu, wyznaczył niewielki zespół, który miał kierować programem: Roberta Leightona jako przewodniczącego, Victora Nehera i mnie. Leighton już od dawna był zaangażowany w program dla wyższych lat, którego podporą była jego książka *Zasady fizyki współczesnej* (McGraw-Hill, 1959), a Neher był znany jako świetny spec od aparatury. Czulem się wtedy urażony, że Bacher nie zaproponował mi przewodnictwa w tym Komitecie. Domyślałem się, że jednym z powodów mogło być to, że kierowałem Laboratorium Synchronotronowym, ale chyba także się bał mojego radykalizmu, który chciał zrównoważyć konserwatyzmem Leightona.

Komitet już na początku ustalił, że Neher skupi się na przygotowaniu nowych zajęć laboratoryjnych, na które miał mnóstwo pomysłów, i że powinniśmy dążyć do opracowania wykładów już na przyszły rok akademicki. Uważaliśmy, że praca nad wykładami będzie najlepszą okazją do wprowadzenia do kursu nowych treści. Wraz z Leightonem mieliśmy przygotować szczegółowy program wykładów. Pracę nad zarysem programu zaczęliśmy niezależnie, ale spotykaliśmy

się co tydzień, aby porównywać jej postępy i próbować osiągnąć wspólne stanowisko.

Impas, a potem przełom

Szybko stało się jasne, że o wspólne stanowisko będzie trudno. Uważałem podejście Leightona za odgrzewanie programu kursu fizyki, który był w modzie od 60 lat, a on z kolei był przekonany, że forsuję niepraktyczne pomysły, bo studenci pierwszego roku nie są przygotowani na współczesne treści, które chciałem wprowadzić. Na szczęście podtrzymywały mnie w mojej determinacji częste rozmowy z Feynmanem, który był już znany jako świetny wykładowca i mistrz w wyjaśnianiu pojęć fizyki współczesnej niewyspecjalizowanemu audytorium. W drodze do domu z Caltechu często do niego wpadałem, aby wy badać, co sądzi o moich pomysłach. Feynman ogólnie mnie wspierał i często sugerował, co można byłoby zrobić.



W Caltechu, ok. roku 1960, stoją (od lewej): Richard Feynman, Robert Bacher i Robert Leighton (fotografia dzięki uprzejmości AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Po kilku miesiącach trudów poczułem się zniechęcony; nie widziałem, w jaki sposób moglibyśmy uzgodnić z Leightonem program wykładów. Nasze poglądy na ten temat były zupełnie rozbieżne. Pewnego dnia doznałem nagle olśnienia: czemu nie poprosić Feynmana, by wygłosił te wykłady? Moglibyśmy dać mu oba szkice programu: mój i Leightona, i niech sam zadecyduje. Zaproponowałem to natychmiast Feynmanowi. – Słuchaj, Dick, przez 40 lat życia starałeś się zrozumieć świat fizyki. Teraz masz okazję, by to wszystko złożyć razem i przedstawić nowemu pokoleniu naukowców. Może byś wziął w przyszłym roku wykład dla pierwszaków? – Nie od razu okazał entuzjazm, ale przez kilka następnych tygodni omawialiśmy ten pomysł i wkrótce się do niego przekonał. Mówił, że moglibyśmy zrobić to czy tamto. Albo że to by tu pasowało. W końcu spytał mnie, czy kiedykolwiek jakiś

wielki fizyk miał wykłady dla pierwszego roku. Odpowiedziałem, że chyba nie. Wtedy powiedział: – A ja to zrobię.

Będą wykłady Feynmana!

Na następnym spotkaniu komitetu przedstawiłem z wielkim entuzjazmem swoją propozycję, ale Leighton, ku mojemu zaniepokojeniu, odpowiedział chłodno: – To nie jest dobry pomysł. Feynman nigdy nie wykladał dla młodszych lat. Nie będzie wiedział, jak mówić do studentów pierwszego roku, ani czego oni są w stanie się nauczyć. – Ale Neher uratował sytuację. W jego oczach zapłonęło podniecenie. – Ależ to by było świetnie! Dick tak dobrze zna fizykę i wie, jak uczynić ją ciekawą. Byłoby fantastycznie, gdyby to zrobił. – Leighton, już przekonany, poparł pomysł z całego serca.

Kilka dni później stanąłem przed kolejną przeszkodą: przedstawiłem pomysł Bacherowi. Niezbyt mu się podobał. Uważał, że Feynman jest zbyt cenny dla studiów magisterskich, by tam można było sobie bez niego dać radę. – Kto będzie wykladał elektrodynamikę kwantową? – spytał. – Kto będzie pracował z magistrantami z teorii? A zresztą, czy Feynman potrafi zniżyć się do poziomu studentów I roku? – Postarałem się o wsparcie starszożny wydziału fizyki, którzy wstawili się za mną u Bachera. W końcu użyłem argumentu drogiego sercu nauczycieli akademickich: – Skoro Feynman chce to robić, to czy naprawdę mu powiecie, że nie powinien? – Decyzja zapadła.

Gdy od pierwszego wykładu dzieliło nas sześć miesięcy, ja i Leighton omawialiśmy z Feynmanem nasze przemyślenia dotyczące programu, a on zaczął intensywnie pracować nad własnymi pomysłami. Przynajmniej raz w tygodniu odwiedzałem go w domu, by je przedyskutować. Czasem pytałem, czy uważam, że jakieś konkretne ujęcie będzie zrozumiałe dla studentów i czy ten lub inny układ materiału będzie najlepszy. Przypominam sobie taki przykład: Feynman zastanawiał się nad tym, jak wprowadzić interferencję i dyfrakcję fal, i nie mógł znaleźć odpowiedniego podejścia matematycznego, zarazem prostego i skutecznego. Spytał mnie, czy moim zdaniem pierwszorocznicy będą w stanie posługiwać się liczbami zespolonymi. Przypomniałem mu, że do Caltechu przyjmowano w pierwszym rzędzie studentów o zdolnościach matematycznych, sądziłem więc, że nie będą oni mieć kłopotów z algebrą zespoloną, jeśli ich w nią krótko wprowadzimy. Feynman rozwiązał ten problem, wygłaszając uroczy wykład „Algebra”, w którym poprowadził studentów na wycieczkę po matematyce, poczynając od liczb całkowitych, a na funkcji wykładowiczej z urojonym wykładnikiem kończąc (patrz t. 1, rozdz. 22). Ten materiał Feynman wykorzystał w późniejszych wykładach dotyczących układów drgających i optyki fizycznej.

Od razu pojawił się jednak mały problem. Z uwagi na dawne zobowiązanie Feynman miał być nieobecny

w Caltechu w trzecim tygodniu semestru zimowego, a więc opuściłby dwa wykłady. Problem ten dało się łatwo rozwiązać: miałem go w te dni zastąpić. Aby jednak uniknąć przerwania ciągłości jego prezentacji, miałem wygłosić dwa wykłady na uboczny temat, które, choć przydatne dla studentów, nie byłyby związane z głównym nurtem programu. Wskutek tego rozdziały 5 i 6 pierwszego tomu są cokolwiek nietypowe.

Feynman pracował głównie sam, tworząc pełny program swoich wykładów na cały rok, i dopracowywał wystarczająco dużo szczegółów, by mieć rezerwę na wypadek nieprzewidzianych trudności. We wrześniu 1961 r., po intensywniej pracy nad programem, był gotów rozpocząć pierwszy rok swych wykładów.

Przecieranie szlaku

Według pierwotnego planu wykłady Feynmana miały stanowić punkt wyjścia rozwojowego, poprawionego programu dwuletniego kursu wstępnego, obowiązkowego dla wszystkich studentów, którzy do nas przyszli. W następnych latach inni profesorowie mieli przejąć odpowiedzialność za każdy rok z tych dwóch. Mieli oni ostatecznie przygotować cały kurs – z podręcznikami, zadaniami domowymi, ćwiczeniami laboratoryjnymi itd.

Przez obydwa lata wykładów tygodniowy układ kursu był tradycyjny: dwa jednogodzinne wykłady Feynmana, godzinne ćwiczenia prowadzone przez innego wykładowcę lub asystenta i trzy godziny pracowni pod kierunkiem Nehera.

Podczas każdego wykładu Feynman używał mikrofonu zawieszonego na szyi i połączonego z magnetofonem znajdującym się w innym pomieszczeniu. Fotografowie co pewien czas robili zdjęcia zapisanej tablicy. Zarówno fotografowaniem, jak i nagrywaniem zawiadywał Tom Harvey, technik opiekujący się salą wykładową. Harvey pomagał też Feynmanowi przygotować pokazy. Maszynistka Julie Cursio spisywała nagrane na taśmę wykłady.

Pierwszego roku Leighton podjął się szybkiego redagowania spisanych wykładów, tak by studenci mogli korzystać z wydrukowanych notatek. Pierwotny plan zakładał, że redakcja tekstu każdego wykładu zostanie powierzona kolejno jednemu z doktorantów, którzy prowadzili ćwiczenia rachunkowe i laboratoryjne. Plan ten się jednakże nie powiódł, bo doktorantom zajmowało to dużo czasu, a końcowy produkt odzwierciedlał raczej ich własne poglądy niż Feynmana. Leighton szybko zmienił te ustalenia, biorąc na siebie cały ogrom pracy i werbując profesorów z wydziałów fizyki oraz inżynierii do redagowania tekstów jednego lub kilku wykładów. W pierwszym roku ja też zredagowałem stenogramy kilku wykładów.

W drugim roku kursu wstępnego nastąpiły pewne zmiany. Leighton prowadził wykład dla pierwszego roku i ogólnie kierował kursem. Na szczęście studenci mieli już od początku opracowane notatki z wykładów

Feynmana z poprzedniego roku. Do moich obowiązków należała szczegółowa opieka nad drugim rokiem, na którym Feynman teraz wykladał. Na mnie spoczęła też odpowiedzialność za przygotowywanie na czas zredagowanych notatek z wykładów. Z uwagi na charakter materiału na drugim roku doszedłem do wniosku, że będzie najlepiej, jeśli wezmę i to zadanie na siebie.

Słuchałem też prawie wszystkich wykładów, podobnie jak przed rokiem, i sam wziąłem jedną grupę ćwiczeniową, żeby zobaczyć, jak studenci radzą sobie z kursem. Po każdym wykładzie wraz z Feynmanem, Gerrym Neugebauerem – czasem dołączał do nas jeden lub dwóch doktorantów prowadzących ćwiczenia – szliśmy na lunch do stołówki studenckiej i omawialiśmy zadania domowe odpowiadające tematowi wykładu. Feynman na ogół miał kilka pomysłów, a dalšie wyłaniały się w dyskusji. Neugebauer był odpowiedzialny za zbieranie prac domowych i przygotowywanie co tydzień zestawu zadań.

Styl wykładów

Słuchanie wykładu było wielką przyjemnością. Feynman zjawiał się na 5 minut przed godziną rozpoczęcia. Wyjmował z kieszeni koszułki jeden lub dwa świstki papieru – może 5 na 9 cali – po czym rozwijał je i wyglądał na środku stołu do pokazów. To były jego notatki do wykładu, lecz rzadko z nich korzystał.

Gdy tylko rozległ się dzwonek na rozpoczęcie zajęć, Feynman zaczynał wykład. Każdy z nich był starannie przygotowanym, pełnym dramaturgii występem, wyraźnie szczegółowo zaplanowanym, i zwykle

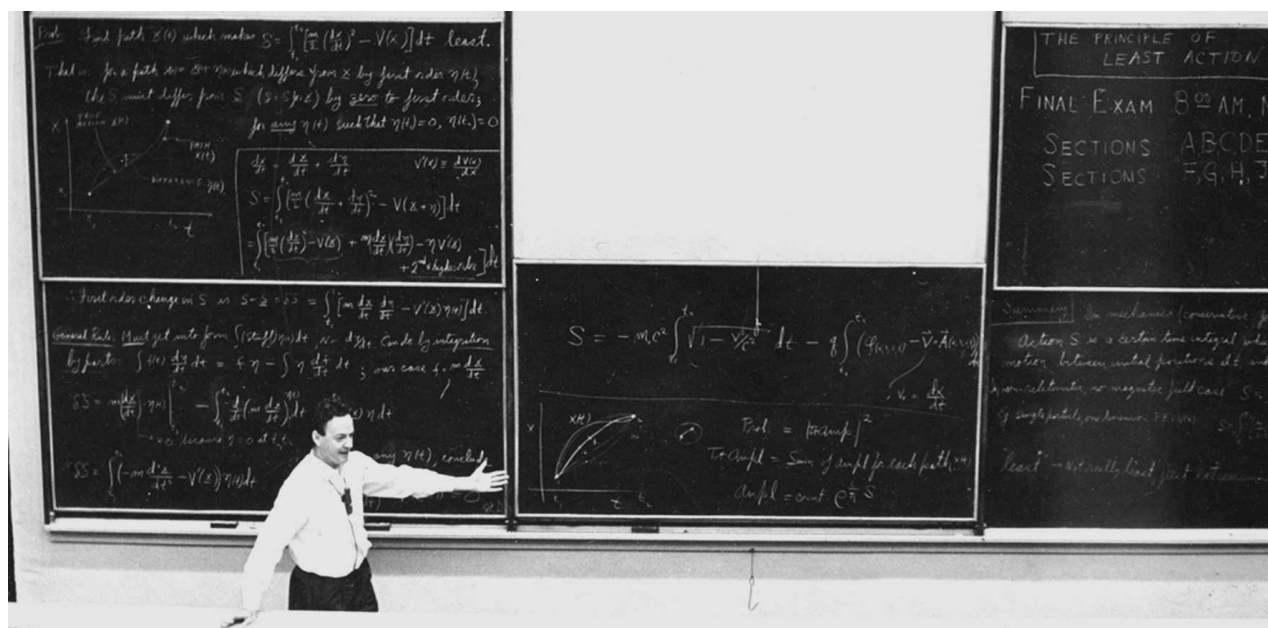
miał następujący układ: wstęp, rozwinięcie, kulminacja i rozwiązanie. Feynman miał też imponujące wyczenie czasu. Bardzo rzadko zdarzało mu się kończyć o więcej niż ułamek minuty przed lub po upływie przewidzianego czasu.

Nawet sposób, w jaki korzystał z tablicy, wydawał się starannie zaaranżowany. Zaczynał w lewym górnym rogu lewej tablicy, a do końca wykładu całkowicie zapełniał także tablicę po prawej stronie. Największą jednak przyjemnością było obserwowanie, jak rozwija oryginalny ciąg myśli, przedstawiając je jasno i w pięknym stylu.

Przygotowywanie książki

Chociaż z początku nie myśleliśmy o stworzeniu książki ze spisanych wykładów, zaczęliśmy to na serio rozważać w połowie drugiego roku wykładów, wiosną 1963 r. Pomysł ten nasunęły nam z jednej strony pytania fizyków z innych uczelni, czy możemy im udostępnić spisane wykłady, a z drugiej propozycje kilku wydawców. Najwidoczniej usłyszeli oni już o tych wykładach i widzieli kopie stenogramów.

Po pewnych dyskusjach zdecydowaliśmy z Leightonem, że notatki da się przekształcić w książkę bez nadmiernego wysiłku. Poprosiliśmy zainteresowanych wydawców o przedstawienie ofert. Najlepszą przysłało wydawnictwo Addison-Wesley. Wynikało z niej, że możemy mieć książki w twardej oprawie na początek roku akademickiego 1963/64, zaledwie 6 miesięcy po decyzji o druku. Ponadto, ponieważ nie żądaliśmy honorariów, książki miały być dość tanie.



Rzadko korzystając z notatek, które zwykle kładł przed sobą na stole, Richard Feynman wygłasza wykład we wczesnych latach sześćdziesiątych (fotografia dzięki uprzejmości AIP Emilio Segrè Visual Archives, Physics Today Collection)

Takie szybkie tempo publikacji było możliwe, ponieważ wydawnictwo miało wszystko, co trzeba: własnych redaktorów i zecerów oraz możliwość druku fotootsetowego. Ponadto wydawca zaproponował nowatorski (jak na owe czasy) format – pojedynczą szeroką szpalte z bardzo dużym marginesem z jednej strony, na którym mogły się zmieścić rysunki, tabele i inne materiały pomocnicze. Dzięki temu formatowi odbitki szczerotkowe dawały też ostateczny układ stron, bez potrzeby ponownego składania tekstu, aby umieścić w nim rysunki i inne dodatki.

Oferta została przyjęta. Podjąłem się zrobienia wszelkich koniecznych poprawek oraz przypisów w stenogramach i pracowałem z wydawcą, by zakończyć różne prace redakcyjne, takie jak korekta tekstu po składzie. (W tym czasie Leighton był bardzo zajęty powtarzaniem kursu dla pierwszego roku). Przeglądałem każdy spisany wykład pod kątem jasności i ścisłości, dawałem je Feynmanowi do końcowego sprawdzenia i gdy tylko kilka wykładów było gotowych, przysyłałem je do wydawcy.

Pierwsze wykłady posłałem szybko, i szybko dostałem odbitki do korekty. To była istna katastrofa! Redakcja bardzo mocno pozmieniała tekst. Przerobiła nieformalny styl spisanego z taśmy wykładu na tradycyjny styl podręcznikowy, zamieniając tryb osobowy na bezosobowy itd. Zatelefonowałem do wydawnictwa, przygotowany na sprzeczkę. Po wyjaśnieniu, że uważamy nieformalny, konwersacyjny styl za istotny element wykładu i że wolimy zaimki osobowe od bezosobowych, redaktorka zrozumiała nasze zamiary i potem na ogół zostawiała wszystko bez zmian. Odtąd praca z nią stała się przyjemnością (jaka szkoda, że nie pamiętam jej nazwiska!).

Następna przeszkoda była poważniejsza: wybór tytułu książki. Odwiedzając pewnego dnia Feynmana w jego gabinecie, aby o tym porozmawiać, zaproponowałem, byśmy przyjęli jakiś prosty tytuł, np. *Fizyka* lub *Fizyka I*, i by autorami byli Feynman, Leighton i Sands. Feynmanowi niezbyt się podobała propozycja tytułu, a na zestaw autorów zareagował gwałtownie: – Dlaczego mają tam być wasze nazwiska? Wyście tylko spisywali moje wykłady! – Nie zgodziłem się z nim i zwróciłem uwagę, że bez wysiłków Leightona i moich z wykładów tych książka nigdy by nie powstała. Spór nie był łatwy do rozwiązania. Wróciłem do sprawy po kilku dniach i wypracowaliśmy kompromis: *Feynmana wykłady z fizyki*, autorzy: Feynman, Leighton i Sands.

Przedmowa Feynmana

W czerwcu 1963 r., gdy skończył się drugi rok wykładów, siedziałem w gabinecie, wpisując oceny z egzaminu końcowego, gdy wpadł Feynman pożegnać się przed wyjazdem (chyba do Brazylii). Zapytał, jak studentom poszedł egzamin. Powiedziałem, że moim zdaniem całkiem nieźle. Spytał, jaka była średnia punktacja, i, jak sobie przypominam, odpowiedziałem, że około 65%. Wykrzyknął: – Och, to straszne! Powinno

im pójść znacznie lepiej! Jestem do niczego! – Próbowałem mu to wyperswadować i zwróciłem uwagę, że punktacja średnia to coś bardzo dowolnego – zależy od takich czynników, jak stopień trudności zadań, zastosowana metoda punktacji itd. W dodatku zwykle próbowaliśmy tę średnią tak obniżać, żeby uzyskać rozsądną krzywą rozrzutu punktów i możliwość łatwego wystawienia ocen; przyznam zresztą, że dziś już nie jestem zwolennikiem takiego podejścia. Powiedziałem, że moim zdaniem wielu studentów w oczywisty sposób bardzo skorzystało z tych zajęć, ale go nie przekonałem.

Powiedziałem mu też wtedy, że druk wykładów postępuje szybko i że się zastanawiam, czy nie zechciałby napisać przedmowy. Pomysł mu się spodobał, ale miał mało czasu. Zaproponowałem, by podyktował przedmowę do dyktafonu na moim biurku. Tak więc, ciągle przygnębiony informacją o niskiej średniej, nagrał pierwszą wersję „Przedmowy Feynmana”, którą znajdziecie w każdym tomie *Wykładów*. Feynman stwierdza w niej: „Nie uważam, bym wiele zdziałał dla studentów” [1]. Często żałowałem, że ta przedmowa powstała w ten sposób, bo ja nie uważam, żeby to był przemyślany osąd. Obawiam się, że wielu nauczycieli użyło tego stwierdzenia jako wymówki, by nie wypróbować *Wykładów* na swoich studentach. Nawiasem mówiąc, słynna fotografia Feynmana towarzysząca przedmowie to nie był mój pomysł. Wydawca umieścił ją, nie pytając mnie o zgodę.

Następne tomy

Historia publikacji wykładów dla drugiego roku jest trochę inna. Gdy skończył się ten kurs, postanowiliśmy z Feynmanem podzielić materiał wykładu na dwa odrębne tomy: jeden dotyczący głównie elektromagnetyzmu, drugi – mechaniki kwantowej. Pomyśleliśmy też, że książka o fizyce kwantowej bardzo by zyskała, gdybyśmy dodali trochę nowego materiału, a resztę odpowiednio przerobili. Feynman zaproponował, że pod koniec następnego roku wygłosi w tym celu kilka dodatkowych wykładów z fizyki kwantowej, które w połączeniu z poprzednimi utworzyłyby trzeci tom drukowanych *Wykładów*.

Pojawiła się dodatkowa komplikacja. Rok wcześniej rząd federalny zatwierdził budowę przy Uniwersytecie Stanforda dwumilowego akceleratora liniowego, przyspieszającego elektrony do energii 20 GeV na potrzeby badań w fizyce cząstek elementarnych. Miał to być największy i najkosztowniejszy akcelerator, jaki dotychczas zbudowano, o energii elektronów i natężeniu wiązki wielokrotnie większych niż dotychczas osiągnię – słowem, podniecające przedsięwzięcie. Od ponad roku Wolfgang Panofsky, dyrektor nowo utworzonego Stanford Linear Accelerator Center, próbował mnie namówić, bym dołączył do niego jako zastępcę i pomagał w budowie nowego akceleratora. Na wiosnę 1963 r. dałem się przekonać i zgodziłem się przenieść do Stanforda z początkiem lipca. Zobowiązałem

się jednak już wcześniej dopilnować ukończenia Wykładów, więc częścią uzgodnień było to, że zabieram tę pracę ze sobą.

Gdy już znalazłem się w Stanfordzie, moje nowe obowiązki pochłaniały więcej czasu, niż się spodziewałem, i musiałem pracować nad Wykładami wieczorami, aby robić należyte postępy. Prace redakcyjne nad drugim tomem udało mi się skończyć w marcu 1964 r. Na szczęście fachową pomocą służyła mi moja sekretarka, Patricia Preuss.

Do maja 1964 r. Feynman wygłosił dodatkowe wykłady z mechaniki kwantowej i zaczęliśmy pracę nad trzecim tomem. Ponieważ konieczna była gruntowna restrukturyzacja i przejrzenie spisanych wykładów, jeździłem kilkakrotnie do Pasadeny na konsultacje z Feynmanem. Bez trudu rozwiązywaliśmy powstające problemy i w grudniu tom 3 był ukończony.

Reakcje studentów

Na podstawie kontaktu ze studentami na ćwiczeniach rachunkowych, które prowadziłem, miałem dość jasny obraz ich reakcji na wykłady. Wierzę, że wielu z nich, jeśli nie większość, zdawało sobie sprawę, że biorą udział w czymś wyjątkowym. Widziałem, że wielu z nich zachwyliło się wykładem i nauczyło bardzo wiele fizyki. Ale ten zachwyt nie był udziałem wszystkich. Chociaż ów kurs fizyki był obowiązkowy dla wszystkich nowych studentów, tylko mniej niż połowa z nich planowała wybrać fizykę jako swój główny przedmiot, a duża część reszty słuchała, bo musiała.

W miarę jak rozmawiałem ze studentami, niedostatki wykładu stawały się dla mnie oczywiste. Na przykład, niektórym studentom sprawiało trudność odróżnianie kluczowych idei wykładu od drugorzędowego materiału o charakterze ilustracyjnym. Było to dla nich szczególnie frustrujące, gdy uczyli się do egzaminu.

W specjalnej przedmowie do pamiątkowego wydania Wykładów z 1989 r., które ukazało się w rok po śmierci Feynmana, David Goodstein i Neugebauer napisali, że na wykładach „z upływem czasu frekwencja zaczęła alarmująco spadać” [2]. Nie wiem, skąd wzięli tę informację. Zastanawiam się, jakie mieli dowody na to, że – jak napisali – „studenci obawiali się tego przedmiotu”. Goodsteina nie było w tym czasie w Caltechu. Neugebauer, członek zespołu, który pracował nad kursem, czasem żartował, że na sali wykładowej zabrakło w końcu studentów – zostali sami doktoranci. Ten dawny dowcip mógł po latach ubarwić jego wspomnienia. Siadywałem z tyłu sali na większości wykładów i według moich wspomnień – oczywiście przyćmionych przez czas – około 20% studentów nie zadawało sobie trudu chodzenia na wykłady. Taki odsetek nie jest niczym niezwykłym dla liczego rocznika i nie pamiętam, żeby ktokolwiek uznał go za alarmujący. Chociaż kilku studentów z mojej grupy ćwiczeniowej nie było w pełni zadowolonych z kursu, większość się angażowała i była zafascynowana wykładami, choć byłbym

zdziewiony, gdyby nikt nie czuł lęku przed zadaniami domowymi.

Następne trzy przykłady ilustrują wpływ, jaki wykłady wywarły na studentów w ciągu tych pierwszych dwóch lat. Pierwszy pochodzi z czasu, kiedy wykład właśnie się odbywał: choć było to ponad 40 lat temu, zrobiło to na mnie takie wrażenie, że pamiętam go wyraźnie. Na samym początku drugiego roku przez przypadkowy zbieg terminów moja grupa ćwiczeniowa spotkała się po raz pierwszy tuż przed pierwszym wykładem Feynmana. Ponieważ nie było jeszcze wykładu, o którym moglibyśmy dyskutować, ani żadnej pracy domowej, nie było jasne, o czym mamy rozmawiać. Zacząłem zajęcia, prosząc studentów, by opowiedzieli swe wrażenia z wykładów ubiegłorocznych, które skończyły się jakieś trzy miesiące wcześniej. Po różnych odpowiedziach jeden ze studentów stwierdził, że zaintrygowała go dyskusja budowy pszczelego oka i jej optymalizacji dzięki równowadze między efektami optyki geometrycznej i ograniczeniami wynikającymi z falowej natury światła ([1], p. 36-4). Zapytałem, czy mógłby przypomnieć, o co chodzi. Podszedł do tablicy i z bardzo niewielką moją pomocą odtworzył zasadnicze elementy rozumowania. Działo się to 6 miesięcy po wykładzie na ten temat, bez żadnych powtórek materiału.

Drugiej ilustracji dostarcza list, który otrzymałem w roku 1997 – w 34 lata po wykładach – od Billa Satterthwaite’a, studenta, który na nie uczęszczał i był w mojej grupie ćwiczeniowej. List zainspirowało jego spotkanie z moim starym przyjacielem z MIT. Satterthwaite pisał:

Ten list to podziękowanie dla Pana i całego zespołu feynmanowskiej fizyki. W przedmowie dr Feynman mówi, że nie uważa, by wiele zdziałał dla studentów. Nie zgadzam się z tą oceną. Mnie i moim kolegom jego wykłady zawsze sprawiały przyjemność i zdawaliśmy sobie sprawę, jakim one były niezwykłym i wspaniałym doświadczeniem. A nauczyliśmy się bardzo wiele. Co do obiektywnego świadectwa naszych uczuć, to nie przypominam sobie oklasków po żadnym innym wykładzie kursowym w Caltechu, a moja pamięć mi mówi, że zdarzały się one bardzo często po wykładach doktora Feynmana.

I jeszcze jedna ilustracja: czytałem niedawno szkic autobiograficzny napisany przez Douglasa Osheroffa, który (wraz z Davidem Lee i Robertem Richardsonem) otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki w roku 1996 za odkrycie stanu nadciekłego w helu-3. Osheroff pisze:

Dobrze było być w Caltechu, gdy Feynman prowadził swój słynny wykład dla studentów pierwszych dwóch lat. Ten dwuletni cykl był niezwykle ważną częścią mojego wykształcenia. Chociaż nie mogę powiedzieć, że wszystko z niego rozumiałem, myślę, że wniósł on największy wkład w rozwój mojej intuicji fizycznej.

Wyjazd z Caltechu

Mój dość raptowny wyjazd z Caltechu natychmiast po zakończeniu drugiego roku wykładów sprawił, że nie miałem okazji obserwować dalszej ewolucji wstępnego kursu fizyki. Niewiele zatem wiem

o przydatności opublikowanych Wykładów dla studentów w latach późniejszych. Zawsze było jasne, że same w sobie nie mogą one służyć jako podręcznik. Brak w nich zbyt wielu elementów otoczki podręcznika: podsumowań rozdziałów, rozwiązanych przykładów, zadań domowych itd. O te elementy mieli się postarać pracownicy wykładowcy i niektórych dostarczyli Leighton oraz Rochus Vogt, który przejął odpowiedzialność za kurs po roku 1963. Swego czasu wyobrażałem sobie, że te elementy mogłyby utworzyć dodatkowy tom, ale to nigdy nie nastąpiło.

W moich podróżach związanych z pracą w Komisji ds. Fizyki Akademickiej często spotykałem się z kadrą wydziałów fizyki różnych uczelni. Mówiono mi, że większość wykładowców nie uważa, by Wykłady nadawały się do użytku dla ich studentów, choć niektórzy informowali mnie, że używali tego czy owego tomu na wykładach dla wyróżniających się studentów lub jako dodatku do zwykłego podręcznika. Często odnosiłem wrażenie, że niektórzy wykładowcy boją się używać Wykładów – a już studenci będą zadawać pytania, na które oni nie potrafią odpowiedzieć. Najczęściej mówiono mi, że magistranci uznają Wykłady za świetny materiał powtórzeniowy przed egzaminami dyplomowymi.

Okazało się, że Wykłady wywarły znacznie większy wpływ za granicą niż w Stanach. Wydawca załatwił przekład na wiele języków – o ile sobie przypominam, na dwanaście. Gdy jeździłem za granicę na konferencje z fizyki wysokich energii, często mnie pytano, czy jestem tym Sandsem „od wykładów Feynmana”. I często słyszałem, że wykładowcy wykorzystywali Wykłady na wstępnych kursach fizyki.

Innym niedobrym skutkiem opuszczenia Caltechu było to, że nie mogłem już aktywnie utrzymywać bliskich stosunków z Feynmanem i jego żoną Gwenneth. Byliśmy serdecznymi kolegami od czasów Los Alamos, a w połowie lat pięćdziesiątych byłem na ich ślubie. Przy rzadkich okazjach, kiedy po roku 1963 odwiedzałem Pasadenę, zatrzymywałem się u nich, a gdy przyjeżdżałem z żoną i córką, spędzaliśmy z Feynmanami wieczór. Przy ostatniej takiej okazji opowiedział nam o swojej niedawnej operacji raka, który wkrótce potem zabrał mu życie.

Jest dla mnie źródłem ogromnej przyjemności, że teraz, ok. 40 lat po tym, jak zostały wygłoszone, Feynmana wykłady z fizyki nadal są drukowane, kupowane, czytane i – śmiem twierdzić – doceniane.

Wyrażam wdzięczność wydawnictwu Addison–Wesley za zgodę na publikację tej adaptacji moich wspomnień.

Tłumaczyła Magdalena Staszal
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Warszawski

Literatura

- [1] R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (Addison–Wesley, Reading, MA 1963), t. 1, s. 4; polski przekład: *Feynmana wykłady z fizyki* (PWN, Warszawa 1968, kilkakrotnie wznawiane); fragmenty przedmowy są przytoczone w tłumaczeniu Ryszarda Gajewskiego – red.
- [2] R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics: Commemorative Issue* (Addison–Wesley, Redwood City, CA 1989), s. xi.
- [3] *The Feynman Lectures on Physics, The Definitive and Extended Edition* (Addison–Wesley, 2005): R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, t. 1–3; R.P. Feynman, M.A. Gottlieb, R. Leighton, *The Feynman Tips on Physics: A Problem-Solving Supplement to the Feynman Lectures on Physics*.

Nowe wydanie Wykładów

W roku 2005 nakładem wydawnictwa Addison–Wesley ukazały się *Feynmana wykłady z fizyki. Wydanie ostateczne* [3], zawierające unowocześnienia i poprawki pochodzące od Richarda Feynmana oraz z innych źródeł. Zgodnie z inicjatywą Ralpha Leightona (syna Roberta i przyjaciela Feynmana) wydanie to obejmuje nowy, dodatkowy tom *Feynman's Tips on Physics* (Feynmana wskazówki z fizyki) z czterema wykładami Feynmana poświęconymi rozwiązywaniu zadań. Wykłady te były wygłoszone, ale nie zostały włączone do pierwotnej wersji książki; w istocie nie były nigdy dotąd publikowane. Te cztery wykłady zostały spisane i udoskonalone przez Ralpha Leightona i Michaela Gottlieba, przy mojej pomocy.

Często mnie pytano, jak doszło do powstania *Wykładów*. Dałem się namówić na spisanie wspomnień, gdy Ralph Leighton poprosił mnie o taki wkład do dodatku, który przygotowywał do nowego wydania książki.

Uwaga redakcji *Physics Today*: Wspomnienia Matthew Sandsa, z których dokonał on adaptacji na potrzeby tego artykułu, znalazły się w książce *Feynman's Tips on Physics* Richarda Feynmana, Michaela Gottlieba i Ralpha Leightona, która ukazała się nakładem wydawnictwa Addison–Wesley latem 2005 r.; adaptację tę publikujemy za zgodą wydawnictwa. Dzieło *The Feynman Lectures on Physics. The Definitive Edition* również ukazało się latem 2005 r. (patrz <http://www.aw.com>).

Analityczność i fizyka*

Maciej Pindor

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

Analiticity and physics

Abstract: The role of the mathematical notion of analyticity in physics is discussed. The use of the complex plane by Kramers and Kronig in deriving their famous dispersion relations is recalled. The consequences of the extension of energy to the complex plane in scattering of particles and to the concept of the Regge poles are analyzed.

Wstęp

Moim celem jest przedstawienie pewnych aspektów roli, jaką w fizyce odgrywa tak subtelne i abstrakcyjne pojęcie matematyczne, jak analityczność.

Patrząc wstecz, moglibyśmy powiedzieć, że liczba rzeczywista jest również pojęciem bardzo abstrakcyjnym, a to, iż daje się ono zastosować do opisu świata, który istnieje na zewnątrz naszego umysłu, jest jakimś cudem. Nie będę się tutaj rozwodzić nad związkiem między tworem naszego umysłu i światem zewnętrznym. To teren zabaw filozofów i nie chcę z nimi konkurować. Mam tutaj na myśli intuicyjnie jasną różnicę między oczywistą naturą liczb całkowitych (i „nie-mal oczywistą” naturą liczb wymiernych) a abstrakcyjnością liczb rzeczywistych. Niezależnie od tej abstrakcyjności nie sądzę, aby używanie liczb niewymiernych przy opisie rzeczywistego świata wymagało dużo większego intelektualnego wysiłku niż używanie liczb wymiernych. Doskonałą tego ilustracją jest fakt, że w praktyce używamy tylko liczb wymiernych, np. liczb zmiennopozycyjnych w obliczeniach komputerowych. Praktycy ignorują po prostu subtelność natury liczb niewymiernych i traktują je jako liczby wymierne reprezentowane w systemie dziesiętnym za pomocą dostatecznie dużej liczby cyfr.

W przypadku liczb zespolonych sytuacja jest diametralnie odmienna. W przeciwieństwie do innych pojęć matematycznych liczby zespolone pojawiły się jako całkowicie abstrakcyjna konstrukcja matematyczna i nawet matematykom wydawały się tak dziwne, że związane z nimi określenie *imaginaire* (urojone)! Wydawało się, że nie ma takich naturalnych sytuacji, których opis wymagałby liczb zespolonych. Jednakże już Euler oraz d'Alembert zauważyli, że są one użyteczne

przy rozwiązywaniu problemów hydrodynamiki i kartografii [1]. Gdy liczby zespolone zostały już oswajane przez matematyków, zaczęły powoli przenikać do prac z dziedziny fizyki, chociaż tylko jako pomocnicze i wygodne narzędzie przy analizie rozwiązań okresowych dla pewnych układów mechanicznych (wahadło sferyczne badane przez Tissota [2]). Riemann zauważył ich szczególną użyteczność przy opisie pola potencjału [3] i przy analizie równań Maxwella [4]. Jednakże grały one znów rolę skrótowej notacji dla opisu dwóch różnych, choć związanych ze sobą wielkości fizycznych. Niewiele tu zmieniło nawet powstanie mechaniki kwantowej – chociaż funkcja falowa jest wielkością par excellence zespoloną i jej części rzeczywista oraz urojona nie istnieją z osobna, to same wartości tej funkcji nie mają sensu fizycznego. To moduł tej funkcji ma fizyczną interpretację, fizycy mogli zatem uważać jej zespoloną naturę za jakiś matematyczny trik, choć w tym wypadku nie bez poczucia niepewności.

O ile wiem, pierwszymi, którzy w pełni udostępniili fizyce płaszczyznę zespoloną, byli Kramers i Kronig (patrz [5]). Wpadli oni na śmiały pomysł, że rozszerzenie dziedziny funkcji, której argumentem jest dobrze określona wielkość fizyczna – w ich przypadku częstość – na płaszczyznę zespoloną, może prowadzić do dających się sprawdzić doświadczalnie wniosków. Wykazali ponadto, że właściwości tej funkcji na płaszczyźnie zespolonej są związane z ważnymi warunkami fizycznymi, które musi spełniać inna funkcja. Ich pomysł wydawał się tylko ciekawostką i dopiero po 25 latach okazał się pożyteczny – dopiero wtedy odkryto zalety rozważania energii na płaszczyźnie zespolonej. Jednak nawet wówczas fizycy w dalszym ciągu nie byli przekonani o użyteczności takiego podejścia i gdy kilka lat później Tullio Regge zaproponował rozszerzenie mo-

*Artykuł, opublikowany w: *Harmonic Analysis and Rational Approximation. Their Roles in Signals, Control and Dynamical Systems Theory*, red. J.-D. Fournier, J. Grimm, J. Leblond, J.R. Partington, t. 327 serii „Lecture Notes in Control and Information Sciences”, został przetłumaczony za zgodą Wydawcy. [Translated with permission. © 2006 Springer Verlag]

mentu pędu na płaszczyznę zespoloną, jego praca była odrzucana przez wielu recenzentów [6].

Streszczę teraz pokrótce pierwotną ideę Kramersa i Kroniga (nie odbiegając w zasadzie od jej prezentacji w [5]), a następnie omówię konsekwencje rozszerzenia energii na płaszczyznę zespoloną przy opisie rozpraszania cząstek oraz ideę Reggego.

Optyczne związki dyspersyjne

Kramers i Kronig rozważali rozchodzenie się światła w ośrodku materialnym. Sytuację fizyczną w tym przypadku opisują dwa pola: natężenie pola elektrycznego $\mathbf{E}(\mathbf{x}, t)$ i indukcja elektryczna $\mathbf{D}(\mathbf{x}, t)$. Przypomnijmy, że pole $\mathbf{D}$ bierze się z superpozycji pola $\mathbf{E}$ i pól wytworzonych przez atomy oraz cząsteczki ośrodka spolaryzowanego na skutek obecności pola $\mathbf{E}$.

Ich monochromatyczne składowe o częstotliwości ω związane są relacją

$$\tilde{\mathbf{D}}(\mathbf{x}, \omega) = \epsilon(\omega) \tilde{\mathbf{E}}(\mathbf{x}, \omega), \quad (1)$$

gdzie $\epsilon(\omega)$ oznacza przenikalność elektryczną, zależną od częstotliwości, ponieważ zależy od niej reakcja ośrodka na obecność pola $\mathbf{E}$. Składowe te jako funkcje częstotliwości są po prostu transformatami Fouriera zależności pól od czasu, np.

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{\mathbf{E}}(\mathbf{x}, \omega) e^{i\omega t} d\omega,$$

i na odwrót,

$$\tilde{\mathbf{E}}(\mathbf{x}, \omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{E}(\mathbf{x}, \tau) e^{-i\omega \tau} d\tau.$$

Wykorzystując teraz (1) i zakładając, że rozważane funkcje znikają w granicy nieskończonego czasu i nieskończonej częstotliwości dostatecznie szybko, abyśmy mogli dokonać zamiany kolejności całkowania, otrzymujemy zależność

$$\mathbf{D}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{E}(\mathbf{x}, t) + \int_{-\infty}^{+\infty} G(\tau) \mathbf{E}(\mathbf{x}, t - \tau) d\tau, \quad (2)$$

gdzie $G(\tau)$ jest transformatą Fouriera wyrażenia $\epsilon(\omega) - 1$:

$$G(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} [\epsilon(\omega) - 1] e^{i\omega \tau} d\omega. \quad (3)$$

Te matematyczne manipulacje mogą wydawać się dość nużące, ale jeżeli przyjrzymy się bliżej równości (2), zauważymy coś dziwnego – pole $\mathbf{D}$ w chwili t zależy od pól $\mathbf{E}$ we wszystkich chwilach; mówimy, że związek między $\mathbf{D}$ oraz $\mathbf{E}$ jest nielokalny w czasie. No cóż, można zrozumieć, że polaryzacja atomów i cząsteczek nie zachodzi natychmiast i wobec tego zmiana $\mathbf{E}$ odbija się na $\mathbf{D}$ dopiero po pewnym czasie, ale jak $\mathbf{D}$

w chwili t może zależeć od $\mathbf{E}$ w chwilach późniejszych, reprezentowanych w związku (2) przez część całki od $-\infty$ do 0? Każdy fizyk powie: nie może! Przeczyłoby to przyczynowości.

Oznacza to, że funkcja $G(\tau)$ musi być równa zeru dla wszystkich $\tau < 0$. To z kolei oznacza, że zależność ϵ od ω musi spełniać pewne warunki konieczne. Jeżeli odwrócimy transformatę Fouriera we wzorze (3), to otrzymamy

$$\epsilon(\omega) = 1 + \int_0^{\infty} G(\tau) e^{-i\omega \tau} d\tau. \quad (4)$$

Już w samych początkach rozwoju optyki teoretycznej fizycy używali pewnych prostych modeli (klasycznych, bo mechanika kwantowa jeszcze się nie narodziła) do opisu oddziaływania między światłem i materią. Modele te prowadziły do wyrażań na $\epsilon(\omega)$ spełniających nasz warunek $G(\tau) \equiv 0$ dla $\tau < 0$. Jednakże, szczerze mówiąc, zjawisko polaryzacji atomów i cząsteczek jest bardzo skomplikowane i nawet dziś nie jest łatwo podać jego opis ze wszystkimi szczegółami; nie jest też jasne, w jaki sposób można zagwarantować znikanie $G(\tau)$ dla ujemnych wartości argumentu.

Kramers i Kronig zauważyli, że najbardziej ogólnym warunkiem, jaki trzeba nałożyć na $\epsilon(\omega)$, aby przyczynowość była zachowana, jest to, aby miało ono postać (4) z jakąś rzeczywistą funkcją $G(\tau)$. I znów, nie byłoby to zbyt interesujące, gdyby nie ich śmiały pomysł potraktowania $\epsilon(\omega)$ jako funkcji zespolonego argumentu ω . Gdy tylko to uczynili, pojawiło się wiele ciekawych wniosków. Najbardziej fundamentalna była obserwacja, że jeżeli $G(\tau)$ ma wartości skończone dla wszystkich τ , to $\epsilon(\omega)$ jest analityczną funkcją ω w górnej półpłaszczyźnie.

Muszę tu jeszcze krótko zasygnalizować, co to jest analityczność i jakie są jej konsekwencje dla funkcji $\epsilon(\omega)$. Definicja analityczności jest zwodniczo prosta: funkcja $f(z)$ jest analityczna w punkcie $z = z_0$, jeżeli ma pochodną w tym punkcie. Jednakże „punkt” jest teraz punktem na płaszczyźnie zespolonej i wobec tego warunek istnienia pochodnej prowadzi do tzw. warunków Riemanna–Cauchy’ego, które są równaniami różniczkowymi wiążącymi część rzeczywistą i urojoną $f(z)$ jako funkcji części rzeczywistej i urojonej z (notabene równania te zostały podane już przez d’Alemberta i Eulera!). Zaskakującą konsekwencją tych warunków jest to, że jeżeli funkcja ma pierwszą pochodną w jakimś punkcie, to ma tam wszystkie pochodne i ma także w tym punkcie rozwinięcie Taylora z niezerowym promieniem zbieżności! Co więcej, jeżeli funkcja $f(z)$ jest analityczna wewnątrz jakiegoś obszaru jednospójnego D , a C jest gładką krzywą zamkniętą okrążającą ograniczoną przez siebie część obszaru D w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu wskazówek zegara i punkt ω leży we wnętrzu obszaru ograniczanego przez tę krzywą, to prawdziwe jest

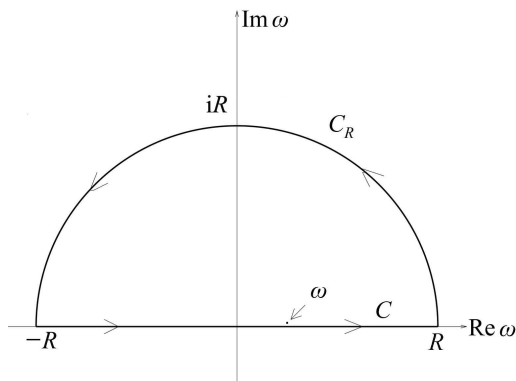
twierdzenie Cauchy'ego:

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(u)}{u - \omega} du. \quad (5)$$

Możemy teraz przyjąć za D górną półpłaszczyznę, punkt ω położony infitezymalnie powyżej osi rzeczywistej, a C jak na rysunku i napisać wzór (5) dla $f(\omega) = \epsilon(\omega) - 1$. Warunek, że $\epsilon(\omega) - 1$ znika dla dużych ω co najmniej tak szybko jak $1/\omega^2$ (co można uzasadnić przy użyciu pewnych argumentów fizycznych) umożliwia przejście do granicy $R \rightarrow \infty$ i pominięcie całki po półokręgu C_R . Po pewnych przekształceniach otrzymamy słynne związki dyspersyjne dla rzeczywistej i urojonej części $\epsilon(\omega)$:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \epsilon(\omega) &= 1 + \frac{1}{\pi} \mathcal{P} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\operatorname{Im} \epsilon(u)}{u - \omega} du, \\ \operatorname{Im} \epsilon(\omega) &= -\frac{1}{\pi} \mathcal{P} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\operatorname{Re} \epsilon(u) - 1}{u - \omega} du. \end{aligned} \quad (6)$$

Nazwa bierze się stąd, że zależność ϵ od ω prowadzi do zjawiska zwanego dyspersją – zmiany kształtu czoła fali świetlnej rozchodzącej się w ośrodku materialnym. Część rzeczywista ϵ bezpośrednio określa to zjawisko, podczas gdy część urojona jest związana z absorpcją światła. Obie te części można zatem zmierzyć i, jak można się było spodziewać, dane doświadczalne potwierdzają prawdziwość związków (6).



Kontur całkowania we wzorze (5) na płaszczyźnie ω

Z drugiej strony twierdzenie Titchmarsh'a [7] mówi, że jeżeli funkcja $F(z)$ spełnia relacje typu (6), to jej transformata Fouriera znika na ujemnej półosi rzeczywistej. Zatem nie dość, że fizyczny warunek przyczynowości prowadzi do określonych własności analitycznych pewnej funkcji, z których wynikają doświadczalnie weryfikowalne związki między rzeczywistą i urojoną częścią tej funkcji na osi rzeczywistej, to jeszcze z doświadczalnie weryfikowalnych związków między dwiema wielkościami fizycznymi, jeśli przyjmiemy je za części rzeczywistą i urojoną pewnej funkcji analitycznej na osi rzeczywistej, wynika szczególna

cecha transformaty Fouriera tej funkcji, cecha, która właśnie oznacza przyczynowość!

Rozpraszanie cząstek i zespolona energia

W połowie lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku fizyka subatomowych składników materii zwanych cząstkami elementarnymi zgromadziła ogromną liczbę obserwacji doświadczalnych, których nie można było wyjaśnić na podstawie fundamentalnej teorii mikroświata – kwantowej teorii pola (KTP). I nie chodziło tu o to, że były one sprzeczne z KTP – po prostu równania KTP można było rozwiązać jedynie w przybliżeniu metodą rachunku zaburzeń, która – jak się wydawało – całkowicie zawodziła poza elektromagnetyzm, gdzie (pod nazwą elektrodynamiki kwantowej) dawała doskonałe wyniki.

Jednakże KTP miała jeszcze inną poważną wadę – nie miała naprawdę solidnych podstaw matematycznych. Teoria ta była właściwie „książką kucharską”, zbiorem przepisów, jak sobie radzić z obiektami, które nie miały jasnego sensu matematycznego, tak aby otrzymać wzory zawierające wielkości wiążące się z obserwacjami dokonywanymi w laboratorium. Choć KTP pojawiła się jako logiczne rozszerzenie idei mechaniki kwantowej (która odniosła fantastyczne sukcesy w objaśnianiu świata atomowego) na obszar zjawisk, w których energia i masa są jedną wielkością fizyczną i gdzie tak łatwa jest kreacja i anihilacja fizycznych cząstek, z wolna narastała wobec niej podejrzliwość. Jej los zdawała się pieczętować niezdolność radzenia sobie z napływającymi coraz obficiej obserwacjami dotyczącymi cząstek elementarnych.

W tej rozpaczliwej sytuacji przypomniano sobie, że 25 lat wcześniej Kramers i Kronig potrafili wyprowadzić swoje związki dyspersyjne za pomocą analizy funkcji zmiennej zespolonej, przyjmując jako jedyne założenie tak fundamentalną własność fizyczną jak przyczynowość.

Najprostszym procesem badanym w fizyce cząstek elementarnych jest rozpraszanie elastyczne dwóch cząstek bezspinowych. Przymiotnik „elastyczne” oznacza, że te same dwie cząstki, które ulegają rozproszeniu, pojawiają się na końcu tego procesu i że w omawianym procesie nie powstają żadne inne cząstki.

Stany cząstek można scharakteryzować przez ich czteropędy – trzy składowe wektorów czasoprzestrzennych są zwykłymi pędami, a czwarta (a raczej zerowa w użytym przeze mnie dalej zapisie) jest energią. Oznaczmy czteropędy cząstek przed rozproszeniem przez p_1 oraz p_2 , a po rozproszeniu – przez p_3 oraz p_4 . Kwadraty tych czteropędów to po prostu masy cząstek podniesione do kwadratu – przypomnijmy, że czasoprzestrzeń ma szczególną metrykę:

$$p_i^2 = p_{i,0}^2 - p_{i,1}^2 - p_{i,2}^2 - p_{i,3}^2 = E_i^2 - \mathbf{p}_i^2 = m_i^2, \quad i = 1, \dots, 4.$$

Całkowity czteropęd układu

$$P = p_1 + p_2 = p_3 + p_4, \quad p_i = (E_i, \mathbf{p}_i), \\ i = 1, \dots, 4$$

jest zachowany; zachowana jest także całkowita energia. W szczególnym układzie odniesienia, zwanym układem środka masy, całkowity pęd jest równy zeru, a zatem kwadrat energii s jest w tym układzie równy P^2 . Innym czterowektorem, który odgrywa ważną rolę w procesie rozpraszania, jest przekaz czteropędu q (ważny jest również jego kwadrat t – skalar):

$$q = p_1 - p_3 = -p_2 + p_4, \quad t = q^2.$$

W przypadku rozpraszania cząstek o identycznych masach m kwadrat przekazu pędu jest w prosty sposób związany z kątem rozproszenia θ i „kwadratem” energii:

$$t = -\frac{1}{2}(1 - \cos \theta)(s - 4m^2)$$

i jest ujemny, gdy kwadrat energii relatywistycznej jest większy od $4m^2$.

W przypadku procesów, którymi się tu zajmujemy, istotną wielkością jest amplituda rozpraszania $A(s, t)$. Kwadrat modułu amplitudy rozpraszania jest, pomijając pewne czynniki kinematyczne, przekrojem czynnym na rozpraszanie, czyli, z grubsza rzecz biorąc, prawdopodobieństwem zarejestrowania rozproszonej cząstki wzdłuż kierunku określonego przez dany przekaz pędu, gdy rozpraszanie następuje przy danej energii.

Przy użyciu bardzo ogólnych wzorów na amplitudę rozpraszania, wynikających z KTP, i tak ścisłego aparatu matematycznego, jak to było wówczas możliwe, udało się ponownie wykazać, że z relatywistycznej przyczynowości (tzn. niemożności istnienia jakiegokolwiek związku między zdarzeniami tak odległymi od siebie, że nie mogą być ze sobą powiązane sygnałami poruszającymi się z prędkością mniejszą lub równą prędkości światła) wynikają pewne szczególne własności analityczne amplitudy rozpraszania na płaszczyźnie zespolonej energii (patrz np. [8] i podane tam odnośniki).

Fascynujący związek między warunkiem fizycznym – przyczynowością – i abstrakcyjną własnością matematyczną – analitycznością – wykazano prawie ściśle jedynie dla amplitudy rozpraszania do przodu, tzn. dla $t = 0$. Własności analityczne pozwalają w takim przypadku, przy użyciu twierdzeń z teorii funkcji zespolonych, napisać związki dyspersyjne dla amplitudy rozpraszania w następującej postaci:

$$A(s, 0) = \frac{1}{\pi} \int_{4m^2}^{\infty} \frac{\text{Im } A(s', 0) ds'}{s' - s - i\epsilon} \\ + \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^0 \frac{\text{Im } A(s', 0) ds'}{s' - s - i\epsilon}. \quad (7)$$

Wyraz $-i\epsilon$ oznacza, że całkowanie przebiega tuż nad osią rzeczywistą. To przedstawienie całkowite $A(s, 0)$

jako funkcji zmiennej zespolonej s oznacza, że funkcja ta ma bardzo nieprzyjemne osobliwości (tzn. punkty, w których nie jest analityczna) dla $s = 4m^2$ oraz $s = 0$ (a także być może dla $s = \infty$), zwane punktami rozgałęzienia. Są one nieprzyjemne, bo czynią funkcję wielowartościową – jeżeli obejdziemy taki punkt wzdłuż krzywej zamkniętej, to w punkcie, z którego wystartowaliśmy, otrzymamy po powrocie inną wartość funkcji. Nie mogę tu rozwodzić się nad tą okropną (a dla mnie fascynującą) właściwością płaszczyzny zespolonej, powiem więc tylko, że funkcje wielowartościowe można przekształcić w jednowartościowe przez usunięcie z płaszczyzny zespolonej linii łączących punkty rozgałęzienia – linie takie noszą nazwę cięć. Patrząc na (7) widzimy, że funkcja $A(s, 0)$ nie jest określona na półprostych $(-\infty, 0)$ oraz $(4m^2, \infty)$ – są to cięcia. Z drugiej strony funkcja ta ma dobrze określone granice, gdy s zbliża się do tych półosi z kierunków urojonych. Granica przy zbliżaniu się od góry dla $s \in (4m^2, \infty)$ jest po prostu fizyczną amplitudą rozpraszania, ponieważ takie wartości s odpowiadają fizycznemu procesowi rozpraszania. Z drugiej strony granica od dołu dla $s \in (-\infty, 0)$ odpowiada amplitudzie rozpraszania w innym procesie, związanym z tym, który rozważamy, tzw. symetrią skrzyżowania – tę właściwość amplitudy rozpraszania sugeruje KTP. W połączeniu z unitarnością – czyli z grubsza mówiąc warunkiem, że prawdopodobieństwo, iż cokolwiek się wydarzy (oczywiście w kontekście rozpraszania), wynosi jeden – znów prowadzi to do wniosków, które można zweryfikować doświadczalnie. Był to wielki sukces, ponieważ wcześniej nie było możliwe dokonanie żadnych przewidywań dotyczących zjawisk związanych z nowymi w stosunku do elektromagnetyzmu typami oddziaływań.

Ów wielki sukces najprostszych związków dyspersyjnych skłonił wielu fizyków do badania analitycznej struktury amplitudy rozpraszania, jaką sugeruje rachunek zaburzeń – mimo iż prowadzi on do rozbieżnych rozwinięć. Struktura ta okazała się bardzo bogata, z wieloma punktami rozgałęzienia na osi rzeczywistej (gdzie amplituda ma sens fizyczny), których położenie zależy od mas rozpraszanych cząstek, i biegunów dla energii odpowiadających ewentualnym stanom związanym tych cząstek. Ponadto, jak wyżej wspomniano, z symetrii skrzyżowania wynikają bezpośrednie związki między wartościami amplitudy rozpraszania na krawędziach różnych cięć. Przyczynowość sprawia, że amplituda rozpraszania jest analityczna na całej zespolonej płaszczyźnie energii przy odpowiednim cięciu wzdłuż osi rzeczywistej, ale wkrótce zdano sobie sprawę, że muszą istnieć bieguny na płatach niefizycznych. Do tych niefizycznych obszarów możemy się dostać dzięki jednej z fantastycznych własności funkcji analitycznych, która polega na tym, że mogą one zostać przedłużone analitycznie. Scharakteryzuję tutaj tę własność w skrócie jako cechę, dzięki której funkcja może być określona na całej swojej dziedzinie, gdy jest określona na choćby najmniejszym jej kawałku. Słowo

„dziedzina” może oznaczać także inne „kopie” (zwane płacami Riemanna) płaszczyzny zespolonej – jeżeli istnieją punkty rozgałęzienia – dostępne drogą analitycznego przedłużenia funkcji, tak aby przejść przez cięcia. W fizyce cząstek elementarnych płaty, na których energia ma sens fizyczny, nazywane są płacami fizycznymi, te zaś, do których można dotrzeć drogą analitycznego przedłużenia amplitudy poprzez cięcia, noszą nazwę płatów niefizycznych. Chciałbym, aby następujący podstawowy fakt był jasny: założenie analityczności amplitudy rozpraszania jako funkcji zespolonej energii oznacza, że jej wartości na tych odcinkach osi rzeczywistej, na których wartości energii odpowiadają fizycznemu procesowi rozpraszania, określają amplitudę rozpraszania na wszystkich jej płacach Riemanna. W szczególności, dla wielu rodzajów procesów rozpraszania amplituda musi mieć bieguny na pierwszym płacie niefizycznym. Bieguny te są przejawami „rezonansów” – doświadczalnie obserwowanych wzrostów przekroju czynnego, które w rozwiązywalnych modelach rozpraszania (np. w przypadku nierelatywistycznego rozpraszania opisanego przez równanie Schrödingera) związane są z krótkotrwałymi, quasi-związanymi stanami rozpraszanych cząstek, a zatem również w opisie relatywistycznym są związane z istnieniem krótko żyjących, nietrwałych cząstek.

Opierając się na sugestiiach wynikających z rozwinięcia amplitudy rozpraszania uzyskanego przy użyciu rachunku zaburzeń, wysunięto postulat zapisania zarówno w płaszczyźnie zespolonego s , jak i t tzw. podwójnych związków dyspersyjnych, z których wynikły pewne doświadczalnie sprawdzalne – i sprawdzone! – wnioski.

Trajektorie Reggego – zespolony moment pędu

Jeszcze inna zadziwiająca idea została wysunięta przez Reggego [9]. Rozwodził on rozwinięcie nierelatywistycznej amplitudy rozpraszania na fale cząstkowe:

$$A(q^2, t) = f(q^2, \cos \theta) = \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) A_l(q^2) P_l(\cos \theta), \quad (8)$$

gdzie teraz q oznacza pęd rozpraszanych cząstek w układzie środka masy, symbol P_l – wielomiany Legendre’a, a $A_l(q^2)$ są amplitudami fal cząstkowych, opisującymi rozpraszanie przy określonym (orbitalnym) momencie pędu. Suma przebiega tylko całkowite wartości l , ponieważ w mechanice kwantowej moment pędu jest skwantowany, tzn. może przybierać jedynie wartości należące do dyskretnego, przeliczalnego zbioru. Regge wpadł jednak na pomysł, aby przedstawić moment pędu na płaszczyźnie zespolonej!

Badał on nierelatywistyczne rozpraszanie w przypadku klasy „rozsądnych” potencjałów (superpozycji potencjałów Yukawy) i udało mu się wykazać, że $A_l(q^2)$ jest meromorficzną funkcją l na półpłaszczyźnie $\text{Re } l > -1/2$, gdzie funkcja ta zanika wykładniczo

dla $|l| \rightarrow \infty$. Korzystając z tego i zapisując rozwinięcie (8) jako całkę:

$$f(q^2, \cos \theta) = \frac{i}{2} \int_C (2l+1) A_l(q^2) \frac{P_l(-\cos \theta)}{\sin(\pi l)} dl,$$

gdzie kontur C okrąży dodatnią półoś w kierunku ruchu wskazówek zegara (tak że kontur ten jest równoważny sumie małych okręgów wokół wszystkich dodatnich liczb całkowitych), zdeformował następnie kontur C , przesuując jego końce z $\infty \pm i\epsilon$ do $-\frac{1}{2} \pm i\infty$. W rezultacie otrzymał wyrażenie

$$f(q^2, \cos \theta) = \frac{i}{2} \int_{-\frac{1}{2}-i\infty}^{-\frac{1}{2}+i\infty} (2l+1) A_l(q^2) \frac{P_l(-\cos \theta)}{\sin(\pi l)} dl - \pi \sum_{n=1}^N \frac{[2\alpha_n(q^2) + 1] \beta_n(q^2)}{\sin[\pi \alpha_n(q^2)]} P_{\alpha_n(q^2)}(-\cos \theta),$$

gdzie suma przebiega wszystkie bieguny (zwane od tamtej pory biegunami Reggego) $A_l(q^2)$ w półpłaszczyźnie $\text{Re } l > -1/2$.

Najbardziej ekscytujące w tych rozważaniach było to, że dla $q^2 < 0$ („pod progiem”) wszystkie te bieguny leżą na osi rzeczywistej i odpowiadają dokładnie stanom związanym potencjału przy energiach, dla których $\alpha_n(q^2)$ równe jest liczbie całkowitej określającej moment pędu danego stanu związanego! Gdy q^2 przekracza próg (staje się dodatnie), $\alpha_n(q^2)$ przesuwa się na płaszczyznę zespoloną i gdy dla jakiegoś $q = q_r$ jego część rzeczywista przechodzi przez liczbę całkowitą, amplituda rozpraszania ma postać

$$\frac{a}{(q^2 - q_r^2)b + i \text{Im } \alpha_n(q_r^2)}$$

charakterystyczną dla rezonansu. W ten sposób stany związane i rezonanse były pogrupowane w tzw. trajektorie Reggego wychodzące z tego samego $\alpha_n(q^2)$.

Natychmiast wysunięto hipotezę, że relatywistyczna amplituda rozpraszania zachowuje się tak samo (lub analogicznie) w płaszczyźnie zespolonego momentu pędu. Choć wiele faktycznych rezonansów zostało pogrupowanych w trajektorie Reggego, inne wnioski nie zostały potwierdzone doświadczalnie, co przypisano hipotetycznemu istnieniu punktów rozgałęzienia amplitudy rozpraszania w płaszczyźnie zespolonego momentu pędu. Gdy takie punkty rozgałęzienia uwzględniono w teorii, straciła ona swą piękną prostotę i w znacznym stopniu ograniczyło to możliwości dokonywania na jej podstawie przewidywań. Z tego powodu jej atrakcyjność zmalała i choć nadal uważa się, że faktycznie stany związane i rezonanse tworzą rodziny leżące na trajektoriach Reggego, to nie przywiązuje się do tego zbyt wielkiego znaczenia.

Zadziwiające spostrzeżenie, że elementy analitycznej struktury amplitudy rozpraszania jako funkcji zespolonej energii i przekazu pędu mają bezpośredni sens fizyczny, podsunęło niektórym fizykom myśl, że same własności analityczne amplitudy rozpraszania zgodne

z podstawowymi założeniami, które muszą być spełnione w procesach fizycznych (jak symetria skrzyżowania czy unitarność) mogłyby stanowić właściwy zbiór założeń dla konstrukcji kompletnej teorii zjawisk dotyczących cząstek elementarnych. Ten punkt widzenia wyszedł później z mody w związku ze spektakularnymi sukcesami KTP, która przybrała kształt teorii pola z cechowaniem nieabelowym. Niemniej wniosek, że funkcje opisujące fizyczne obserwacje za pośrednictwem fizycznie mierzalnych parametrów trzeba badać w obszarze zespolonych wartości tych parametrów, gdyż właściwości analityczne takich funkcji mają bezpośredni związek z obserwowanymi zjawiskami fizycznymi, jest obecnie głęboko zakorzeniony w świadomości fizyków.

Tłumaczył Andrzej Pindor

Resource Centre for Academic Technology
University of Toronto
Kanada

Literatura

- [1] A.I. Markuszewicz, „Podstawowe pojęcia analizy matematycznej w pracach Eulera”, w: *Leonhard Euler* (Akad. Nauk ZSRR, Moskwa 1959, w jęz. rosyjskim).
- [2] A. Tissot (1852); wg P. Appell, *Traité de mécanique rationnelle*, t. 1 (Paris, 1932).
- [3] Bernhard Riemann's *gesammelte mathematische Werke und wissenschaftlicher Nachlass*, red. H. Weber (Dover Publications, New York 1953).
- [4] H. Weber, *Die partiellen Differential-Gleichungen der mathematischen Physik nach Riemann's Vorlesungen* (Friedrich Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1901).
- [5] J.D. Jackson, *Elektrodynamika klasyczna* (PWN, Warszawa 1987).
- [6] G. Białkowski, wiadomość prywatna.
- [7] E.C. Titchmarsh, *Introduction to the Theory of Fourier Integrals* (Oxford University Press, London 1948).
- [8] S. Gasiorowicz, *Elementary Particle Physics* (John Wiley and Sons, New York 1966).
- [9] T. Regge, *Nuovo Cimento* **14**, 951 (1959).

PTF



Oddział Częstochowski

W uzupełnieniu informacji o seminariach Częstochowskiego Oddziału PTF (*PF* **56**, 283 (2005)) miło mi powiadomić Czytelników *Postępów*, że jesienią ubiegłego roku rozpoczęło działalność seminarium Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Jana Długosza w Częstochowie, składającego się z Instytutu Fizyki, Instytutu Matematyki i Informatyki, Instytutu Chemii i Ochrony Środowiska oraz Instytutu Edukacji Technicznej. Powstało ono w ten sposób, że dr Bernard Marciniak, prodziekan ds. nauki, fizykochemik, który wziął udział w kilku seminariach PTF zorganizowanych w roku 2005 przez autora tej notatki, „kupił” ich ideę i postanowił rozszerzyć je na cały Wydział.

Na pierwszym seminarium (21.10.2005 r.) prof. Łukasz A. Turski w wykładzie „Cztery wymiary: Poincaré, Picasso, Einstein, Minkowski” rozwinął kwestię związku przedstawiania świata w malarstwie abstrakcyjnym z geometrią nieeuklidesową (patrz *PF* **56**, 269 (2005)). Auditorium pękało w szwach. Oprócz pracowników i studentów AJD wśród słuchaczy byli uczniowie z Liceum im.

Juliusza Słowackiego (ze swą niezawodną nauczycielką fizyki, mgr Katarzyną Tazbir); część z nich siedziała na schodach lub stała pod ścianami. Na drugim seminarium (9.12.2005 r.), które zamknęło Światowy Rok Fizyki 2005 w Częstochowie, prof. Kazimierz Rzązewski wygłosił wykład „O bardzo zimnym gazie”, dotyczący jednego z odkryć Einsteina: kondensacji bozonów. Tym razem licealiści zawczasu zajęli cały balkon audytorium. Wykładowca objaśnił słuchaczom, co to jest kondensacja Bosego–Einsteina, opowiedział, jak dopiero w połowie lat dwudziestych XX w. udało się pokonać trudności z jej realizacją doświadczalną, i wyjaśnił, dlaczego tylu fizyków zajmuje się tym zjawiskiem. „Na bis” prof. Rzązewski omówił Nagrody Nobla z fizyki przyznane w roku 2005 za prace z dziedziny optyki (patrz *PF* **57**, z. 1 (2006)).

Fizyków może też zainteresować informacja, że na czwartym z kolei seminarium (13.1.2006 r.) prof. Walter Wojciechowski z Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej wygłosił wykład z dziedziny chemii kwantowej „Właściwości magnetyczne jednorodniowych związków kompleksowych jonów pierwiastków d-elektronowych o symetrii oktaedrycznej”.

Wojciech Gruhn

Maciej Pindor (1941–2003)

Macieja Pindora znaleziono martwego w sobotę 5 lipca 2003 roku na leśnej drodze prowadzącej z willi z pokojami gościnnymi do budynku oddziału fizyki teoretycznej Obserwatorium Astronomicznego w Nici. Ustalono, że zgon nastąpił ok. godziny 13 wskutek ataku serca. Maciek miał 62 lata.

Maciek: życie, rodzina, znój

Dwaj bliźniacy, Andrzej i Maciej, ujrzeni świat w Warszawie 17 maja 1941 r. Już w liceum na Sieleckiej interesowali się naukami ścisłymi, co nie ograniczało się wyłącznie do udziału w różnych olimpiadach. Pasjonowali się wtedy książkami Lema i kosmosem do tego stopnia, że zaczęli w trójkę, z Erykiem Piaseckim, budować i odpalać rakiety. Działo się to na Czerniakowskiej. Na szczęście w nikogo nie trafili. Wszyscy trzej wstąpili potem na fizykę na Uniwersytecie Warszawskim, na Hożą, po czym obaj bliźniacy wybrali fizykę teoretyczną. Równolegle, tak Andrzej jak i Maciek, zostali wirtuozami komputerowych metod obliczeniowych. Maciek obronił pracę magisterską z teorii cząstek elementarnych w 1963 r. i od września dostał już pracę asystenta na ówczesnym Wydziale Matematyki i Fizyki, a potem, po różnych promocjach, wyładował jako specjalista od rachunków numerycznych odpowiedzialny za centrum obliczeniowe w Instytucie Fizyki Teoretycznej UW. Rozpoczął pracę nad doktoratem pod kierunkiem Grzegorza Białkowskiego. Żył skromnie, jak większość ludzi w owych czasach. Ożenił się w 1971 r. z Zosią; ze związku tego przyszło na świat troje dzieci: Błażej, Anastazja i Łucja. Kochał je bardzo.

Poznałem go w roku 1975 i w pewnym sensie przyczyniłem się do wielu zmian w jego życiu. Organizowałem w owym roku międzynarodową konferencję na temat aproksymacji Padégo i jej zastosowań w fizyce. Miałem fundusze, by zaprosić wiele osób ze wschodniej Europy, ale, niestety, nikt nie odpowiadał na moje zaproszenia. Zniechęcony już trochę tą sytuacją, zadzwoniłem do Grzegorza i... okazało się, że ma doktora, który odpowiada dokładnie tematowi konferencji. I tak Maciek rozpoczął międzynarodową karierę. Trzeba przypomnieć, że w tamtych czasach przebiecie zachodnich dewiz na złotówki było wprost fantastyczne. Maciek zrobił się bardzo oszczędny (zresztą i tak już taki był) i po kilku wyjazdach do Niemiec, Francji oraz Włoch mógł sobie pozwolić na zakup mieszkania, samochodu i wygodniejszy tryb życia. Wygodniejszy? Chyba przesadzam. Ciężko pracował po tych „zagranicach”, oszczędzał i oszczędzał, nie pozwalając sobie na żadne ekscesy (z wyjątkiem wody mineralnej Vichy St. Yorre i pójścia od czasu do czasu do

opery). Jadał i ubierał się marnie, aż mi było czasami za niego wstyd. Tęsknił za rodziną i dziećmi, których nierzadko nie widział całymi miesiącami.

Między rokiem 1980 a 1996 spędził w sumie za granicą prawie cztery lata. Maciek był bardzo dyskretny, zwłaszcza gdy chodziło o jego sprawy osobiste, a więc dopiero po fakcie dowiedzieliśmy się, że ich małżeństwo z Zosią się rozpadło. W Marsylii Maciek narzekał na wrzód żołądka, mówił, że to nerwowe. Udało mi się go zmusić do przeprowadzenia badań. Co ciekawe, choć znał naszego przyjaciela i sąsiada, renomowanego kardiologa, nigdy nie wspomniał, że ma jakieś problemy z sercem. Dowiedzieliśmy się o nich dopiero po jego nagłej śmierci.



W gronie kolegów – fizyków matematycznych, Warszawa (1984); od lewej: Maciej Pindor, Wojciech Siemaszko z Politechniki Rzeszowskiej (w 1985 r. współorganizator międzynarodowej konferencji w Łańcucie), Igor Aleksandrowicz Szewczuk, dziś profesor matematyki na Uniwersytecie Szewczenki w Kijowie, oraz autor wspomnienia

Ale powróćmy do wspomnień. I znów tak się złożyło, że byłem odpowiedzialny za dalsze wydarzenia w jego życiu. W latach 1989–97 organizowałem corocznie pod Krakowem z prof. Wiesławem Pleśniakiem z UJ, z udziałem AGH i przy poparciu Ambasady Francuskiej, tzw. Tygodnie Języka Francuskiego. Maciek miał oczywiście stałe zaproszenie, a ponieważ bardzo lubił góry, a jednocześnie potrzebował pewnego odprężenia od problemów dnia powszedniego, chętnie godził się przyjeżdżać. Tam też poznał Krysię Rakoczy, przyszłą żonę, która dała mu odrobinę radości w ostatnich latach jego życia. Subtelnie i z dużą dozą uczucia zastąpił jej córce Joasi ojca. Niestety, spadł na jego barki nowy problem, tym razem związany z moralnym zobowiązaniem rodzinnym: chora matka. Zamieszkał z nią w jej małej kawalerce, by nie zostawić jej samej. Przynosił sobie tradycyjne drugie śniadanie do

instytutu, a potem, około godz. 19, wracał na obiad, który przygotowywała mu mama. Raz na miesiąc wybierał się do Krakowa, do żony, z którą lubił zagubić się w górach, w jej szałasie w Gorcach. Andrzej, który od roku 1982 osiadł w Kanadzie, przyjeżdżał raz w roku do Warszawy, aby zaopiekować się matką, co pozwalało Maćkowi na dwa tygodnie wyjechać do Francji, do Nicei lub Marsylii, odetchnąć i popracować.

5 lipca 2003 r. przyjechałem z Marsylii do Nicei na urodziny mojej córki, na których miał być Maciek. Znał ją bardzo dobrze... Podobno nie cierpiał.

Maciek wśród ludzi

Maciek był człowiekiem o ciekawej osobowości. Lojalny, pełen dobroci i ciepła, wyrozumiały w stosunku do innych. Nigdy na nikogo nie powiedział złego słowa, a jeśli usłyszał coś nieprzychylnego o kimś znajomym, to od razu starał się wytłumaczyć jego postępowanie. Cechowało go poczucie humoru, optymizm, ciekawość, radość życia. Był, jak już wspomniałem, bardzo oszczędny dla siebie samego, ale jednocześnie lubił obdarowywać innych tym, co sprawiało im radość. Był też niesamowicie ostrożny, tak za kierownicą auta jak i przy komputerze, gdzie często zmieniał hasło, mieszając w nim duże i małe litery z cyframi i zdrobniałymi imionami dzieci. Gdy przyjeżdżałem do Polski, zawsze witał mnie na lotnisku i zawsze prosiłem go o trzy gazety, żeby zorientować się, co się dzieje w kraju: *Rzeczpospolitą*, *Politykę* i *Nie*. Strasznie się oburzał i... przynosił mi tylko dwie.



Maciej Pindor na korytarzu IFT UW na Hożej

Był zawsze bardzo uczynny i jeśli mógł, to robił wszystko, by zadośćuczynić każdej prośbie. Jeszcze za komuny, kiedy w Polsce robiono w sposób tradycyjny

wspaniałe camemberty, a we Francji można było dostać tylko fabryczne, bez smaku, poprosiłem Maćka, żeby przywiózł mi z dziesięć sztuk. Biedak wziął je w ręczny bagaż do samolotu i pod koniec lotu wszyscy się odwracali w jego stronę z wyrzutem w spojrzeniu. Robił jak mógł dobrą minę do złej gry i dopiero na lotnisku wziął nogi za pas. Następnym razem włożył już sery do walizki. Sam był czytany i zorientowany w wydarzeniach kulturalnych i politycznych. Dbał więc także o moje wykształcenie i obdarzał mnie interesującą literaturą, która po upadku komuny zaczęła się ukazywać w Polsce. Dzięki niemu nigdy nie pozostawałem w tyle, jeśli chodzi o wydarzenia kulturalne w kraju.

Maciek ubóstwiał opery. Nie mógł mi wybaczyć pewnego razu, że nie zarezerwowałem mu biletu na koncert Pavarottiego w Marsylii, bo gdy przyjechał, wszystkie bilety były już wyprzedane.

Maciek i wydarzenia polityczne

Już w marcu 1968 r. Maciek wpadł w oko milicji. Jak wspomina Andrzej: „Jeżeli chodzi o Macieja zaangażowanie polityczne, to datowało się ono dużo wcześniej niż koniec lat 70. Był też czynny w marcu 1968 r., choć nie znam szczegółów, bo w roku akademickim 1967/68 przebywałem w Anglii. Maciej mi nic o tym nie mówił jak wróciłem, ale wczesną wiosną roku 1969, gdy mieszkaliśmy razem, mieliśmy nalot milicji i dokładną rewizję mieszkania. Milicja miała jednak bardzo słabe rozeznanie, bo była bardzo zaskoczona, że – jak raportował przez telefon swemu przełożonemu jeden z milicjantów przeprowadzających rewizję – »w mieszkaniu jest dwóch takich samych«, i początkowo nie bardzo wiedziała, co robić. Po rewizji zabrali Macieja na przesłuchanie, a kiedy wrócił, pokazał mi, że jednak miał w mieszkaniu jakieś trefne materiały i ulotki, ale dobrze schowane”.

Tak się złożyło, że w latach 1976–80 grono przyjaciół Maćka i Zosi, z którymi łączyły ich od dawna wspólne wyprawy turystyczne, wspólne studia na fizyce, a potem bliskie sąsiedztwo, znalazło się w nurcie nowych wydarzeń politycznych rodzącej się zorganizowanej opozycji demokratycznej. Do tego kręgu towarzyskiego należeli współzałożyciele KOR-u, Ludka i Henryk Wujcowie oraz Grażyna i Andrzej Celińscy. Pindorowie, jako oficjalnie „niezaangażowani”, uchodzili początkowo uwadze SB i ich mieszkanie stało się świetnym miejscem przechowywania niebezpiecznych materiałów. Tak było aż do dnia, kiedy Zosia nieopatrznie zadzwoniła do Ludki, że coś dla niej ma. Tylko tego brakowało – kilku drabów wpadło do Wujców i przewróciło mieszkanie do góry nogami, a potem skierowało się do Pindorów. Henio Wujec, o niczym nie wiedząc, wracając z miasta skierował się do Pindorów, by faktycznie im coś przynieść – była to choinka! No, ale od tej pory mieszkanie Pindorów było już pod obserwacją SB i nie uniknęło nowych rewizji. Nie znie-

chęciło to ich jednak i nie przerwało ich kontaktów z opozycją.

Koledzy z „Hożej” (Maria Krawczyk, Julian Srebrny) wspominają, że w końcu lat 70. Maciek aktywnie działał na rzecz demokratyzacji uniwersyteckiej organizacji Związku Nauczycielstwa Polskiego. W roku 1980 wstąpił do NSZZ „Solidarność” i w wyniku pierwszych regularnych wyborów wszedł w skład Komisji Wydziałowej. Potem był stan wojenny i osoby działające w podziemiu starały się wiedzieć jak najmniej o sobie wzajemnie, wiadomo jednak, że Maciek był zaangażowany w działalność konspiracyjną, ale poza terenem UW. Po legalizacji „Solidarności” w roku 1989 pozostawał jej aktywnym członkiem aż do śmierci, m.in. kilkakrotnie był wydziałowym delegatem na walne zebrania na UW.

Maciek wykładowca

W pracy dydaktycznej Maciek był równie rzetelny jak we wszystkim, co robił. Przez wiele lat prowadził wykład i ćwiczenia z metod numerycznych oraz seminarium z nowości komputerowych. Wielką radość sprawiało mu przekazywanie wiedzy i kontakt z młodym pokoleniem. O tym, jakim był wykładowcą, najlepiej może świadczyć fakt, iż jednego roku w anonimowej ankiecie studenckiej został uznany za najlepszego wykładowcę na Wydziale Fizyki UW. Studenci docenili nie tylko szeroką wiedzę Maćka, ale także jego zaangażowanie, rzetelność i ogromne poczucie humoru. Oto kilka wypowiedzi: „Z przyjemnością chodziłam na wykłady dr. Pindora, ponieważ jest on prawdziwym pasjonatem metod numerycznych. Każdemu życzyłabym takiego zapału w przekazywaniu wiedzy”, albo inna: „Obserwowanie i słuchanie wykładowcy, który z takim zapałem opowiada o przedmiocie, który go pasjonuje, jest prawdziwą przyjemnością. Muszę przyznać, że zapal ten jest zaraźliwy”. Rozwijając jakiś temat, Maciek mówił coraz głośniej. Wyraziła to humorystycznie wypowiedź studencka: „Doktor Pindor strasznie krzyczy, mógłby się trochę powstrzymać”. Moi studenci w Tulonie także bardzo sobie cenili jakość ćwiczeń, które prowadził z nimi w sali komputerowej.

Maciek i nauka

Dla Maćka praca naukowa była bezinteresowną pasją. Myślał twórczo i niekonwencjonalnie. Był fizykiem teoretykiem, lecz stał się specjalistą od tego, co ogólnie zwie się metodami matematycznymi fizyki. Poznałem go, jak już wspomniałem, jako użytkownika aproksymacji Padégo (AP). By zrozumieć wkład Maćka do tej dziedziny, należy tu dać kilka wyjaśnień. Funkcje AP to funkcje wymierne P_m/Q_n (m oraz n oznaczają stopnie wielomianów) przybliżające funkcje zmiennej zespolonej przedstawione w postaci szeregu potęgowego w ten sposób, że ich rozwinięcie zgadza się z szeregiem wyjściowym do rzędu $(m + n)$. AP „wybierają” automatycznie cięcia, nakładając na

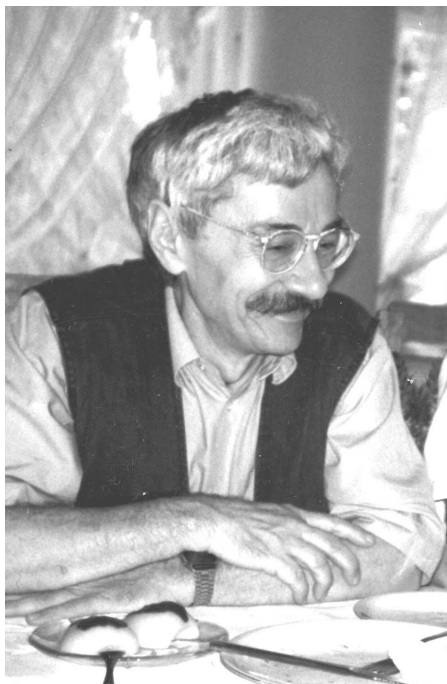
nie kolejno zera i bieguny. Znanym faktem jest, że cięcie dla funkcji Stieltjesa $\int_0^{1/R} (1 + tz)^{-1} d\mu(t)$ jest nośnikiem miary $d\mu$ na osi rzeczywistej $[-\infty, -R]$, i te zera oraz bieguny, które przeplatają się na tym cięciu, związane są z zerami wielomianów ortogonalnych, którymi są liczniki i mianowniki AP po pewnej zamianie zmiennej. Już w swojej rozprawie doktorskiej „Zastosowanie aproksymant Padégo do badania formfaktora mezonu π w modelu $\lambda\phi^4$ ” (promotor G. Białkowski), którą obronił w 1977 r., Maciek zauważył nieznana do tej pory własność AP, a mianowicie wybieranie przez nie w płaszczyźnie zespolonej nietypowych cięć, w formie łuków, a nie odcinków prostych.

Maćka cechowało krytyczne spojrzenie na każdą pracę. Zawsze zauważał coś nowego. Na przykład, w tym okresie pracowano nad analizą algorytmów iteracyjnych do wyznaczania AP minimalizujących błąd obliczeniowy. Maciek zauważył, że algorytm znanego eksperta od AP, George’a Allana Bakera Jr., może być uzupełniony algorytmem symetrycznym, co zasadniczo upraszcza obliczanie wszystkich AP, czyli tzw. tablicy Padégo. Ten algorytm nosi teraz nazwę algorytmu Bakera–Pindora. Innym razem, będąc w Marsylii, Maciek zwrócił uwagę na pewien mankament w artykule Brezinskiego na temat aproksymant typu Padégo (osłabiona definicja AP). Tak powstał nasz artykuł na ten temat.

Bardzo płodne było ostatnie dziesięciolecie. Jeden temat rozwinął się wprost wybuchowo... dzięki naszemu lenistwu. Nie wiedzieliśmy, co robić, więc zaproponowałem Maćkowi sprawdzenie starych, sprzed 30 lat, numerycznych obserwacji Marcela Froissarta z Collège de France na temat wpływu losowych zaburzeń współczynników szeregu potęgowego na zera i bieguny AP. Froissart zauważył, że nadmierne zera i bieguny tworzą charakterystyczne pary, zwane dziś dubletami Froissarta, rozłożone chaotycznie w okolicy koła jednostkowego. Ten fakt udowodniłem już w 1988 r. razem z pewnym probabilistą, ale dalej nie udało mi się rozwinąć teorii. Froissart dodawał do współczynników zespolone zaburzenie, losowo wybrane w kole jednostkowym. Nam nie chciało się tak męczyć i dodaliśmy zaburzenie rzeczywiste wybrane losowo w przedziale $[-1, +1]$ z rozkładu normalnego. Poza tym obliczyliśmy AP $[3/4]$ dla prostego szeregu geometrycznego zaburzonego wieloma różnymi zespołami losowymi (3 zera, 4 bieguny dające 3 dublety i jeden „prawdziwy” biegun w okolicy punktu $z = 1$). I co zauważyliśmy? To, że statystycznie te dublety układają się w pobliżu pierwiastków z jedynki! Podnieceni rzuciliśmy się do roboty i tak powstała cała seria prac na temat wpływu zaburzeń na AP i na wymierne zaburzenia interpolacyjne. Do dziś jednak nie wiadomo, jak to jest naprawdę z tą statystyczną pozycją dubletów w okolicach pierwiastków jedynki.

Wpływem szumu na interpolację Maciek zajmował się już z Jean-Danielem Fournier z Nicei, który gościł potem często na Hożej. Razem z nim Maciek

pokierował pracą doktorską Bénédicte Dujardin (obroniła ją 20 grudnia 2005 r.), którą także przyjmował w Warszawie. Można dodać, jako anegdotkę, że nasz przyjaciel Daniel Bessis, fizyk teoretyk, który ok. roku 1970 „przywiózł” AP z CERN-u do Saclay, pracujący ostatnio w Atlancie w USA, bardzo się zainteresował naszymi pracami na temat dubletów Froissarta. Dzwonił do mnie nieraz w nocy, nie zważając na przesunięcie czasu, by się dowiedzieć, co nowego w tej dziedzinie zrobiliśmy z Maćkiem. W końcu przyleciał z Ameryki, by spotkać się z nami w Nicei, podczas kolejnego pobytu Maćka u Jean-Daniela. Przyznał się potem, że zaproponował i wygrał kontrakt z NASA na temat filtrowania szumu z sygnału za pomocą AP i z tego żył.



Maciej Pindor, 2 czerwca 1992 r.

Drugi temat to wielopunktowe AP. Wpadliśmy z Maćkiem w pułapkę tego tematu zastawioną przez Joachima Telegę i Staszka Tokarzewskiego z IPPT. Pułapka była ponętna, bo wyniki numeryczne tej ekipy były zadziwiająco ciekawe, a brakowało im dowodów matematycznych. Wyczyściliśmy więc z Maćkiem i kolegami z IPPT teorię dwu- (0 oraz ∞), a potem i wielopunktowych AP. Przy okazji zrobiliśmy bardzo ciekawą pracę, podając wzór na miarę funkcji Stieltjesa g (w zależności od miary funkcji f) znajdującej się w mianowniku przy odwróceniu funkcji Stieltjesa f : $f(z) = f(0)/[1 + zg(z)]$. Był to ważny, otwarty problem, który postawiłem wiele lat temu, aż wreszcie Maciek znalazł drogę do jego rozwiązania. Uważaliśmy, że ten artykuł jest jednym z najlepszych osiągnięć matematycznych naszej kariery. I tu niespodzianka: został odrzucony przez recenzenta, pod niezrozumiałym pretekstem. Jest to jeden z trzech ciekawych ar-

tykułów, które nam odrzucono. Drugi, bardzo techniczny, analizował kumulację błędów operacji arytmetycznych w wysokiej precyzji i wskazywał granice osiągalnej dokładności. Recenzent wyraźnie nic nie rozumiał i stwierdził, że nasz problem rozwiązał w kilka minut prostym programem w pakiecie Mathematica. Trzeci odrzucony artykuł to finezyjna, automatyczna metoda obliczania oscylujących całek, związana z pewnym problemem z dziedziny elektromagnetyzmu. Tym razem recenzent-fizyk stwierdził, że jest to matematyka, a matematyk na odwrót.

To był zresztą problem Maćka – dla powierzchownych recenzentów siedział na dwóch stołkach i gdy nie chcieli brać odpowiedzialności za swą decyzję, sadzali go na obcy im stół. Tak właśnie warszawscy numerycy odmówili mu otwarcia przewodu habilitacyjnego, a szkoda.

Maciek pomógł mi w zorganizowaniu dwóch konferencji międzynarodowych w Polsce na temat przybliżeń wymiernych i ich zastosowań: pierwszej, w Warszawie w 1981 r., drugiej w Łańcucie w roku 1985 (materiały tej ostatniej wydano jako t. 1237 serii Springer Verlag „Lecture Notes in Mathematics”).

Wspominałem dotychczas o wkładzie Maćka do teorii aproksymacji i do metod obliczeniowych, gdyż ten wkład dokładnie znam. Maciek współpracował poza tym intensywnie z wieloma fizykami: w Warszawie z Białkowskim, Koczoniem, Sobolewskim, Ryszardem i Piotrem Rączkami, Bogdanowiczem. Bardzo przeżywał zgon Białkowskiego, potem Ryszarda Rączki. W Bielefeld współpracował z Fleischerem, w Paryżu z Bessisem, w Bolonii z Turchettim, w Marsylii z Fernandezem, no i w końcu, w Nicei, z Jean-Daniелеm Fournier. Płodem tych kontaktów było wiele prac, ale nie jestem w stanie ich zliczyć, gdyż sam Maciek nie zwracał uwagi na sprawy minione i cytował w swoich życiorysach tylko ok. 40 wybranych artykułów. Trzy wykłady, przygotowane na Letnią Szkołę „Analiza harmoniczna i aproksymacja wymierna”, która odbyła się we wrześniu 2003 r. w Porquerolles, ukażą się w zbiorowym wydaniu w serii Springer Verlag „Lecture Notes in Control and Information Science” (tłumaczenie jednego z nich znajduje się w tym zeszycie *Postępów* – red.).

★ ★ ★

Maciek, nie mogę Ci wybaczyć, że zaniedbałeś swoje zdrowie, poświęcając się dla innych. Robiłeś sobie nawet wyrzuty, wyskakując bardzo rzadko do Krakowa, do żony, Krysi, by odetchnąć od codziennych spraw w górach, po których tak lubiłeś łązić. Góry były dla was skrajem raj, ale tak rzadko. Nie mogę się pogodzić z Twoim odejściem.

Jacek Gilewicz

Université du Sud Toulon-Var
oraz Centre de Physique Théorique-CNRS Luminy
Marsylia

Oblicza fizyki – między fascynacją a niepokojem. Rola fizyki w rozwoju naszej cywilizacji i kultury

W ramach obchodów Światowego Roku Fizyki 2005 w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego odbyła się 2 grudnia 2005 r. dyskusja panelowa „Oblicza fizyki – między fascynacją a niepokojem. Rola fizyki w rozwoju naszej cywilizacji i kultury”. Zorganizował ją Komitet Obchodów ŚRF 2005, powołany przy IF UŚ i przy Oddziale Katowickim PTF. Przewodniczącym Komitetu miał zaszczyt być autor tego sprawozdania. W dyskusji wzięli udział wybitni uczeni i artyści polscy – wymieniam tylko niektórych w kolejności alfabetycznej, pomijając z braku miejsca tytuły, specjalności i pełnione funkcje: Stanisław Bajtlik, Wiesław Banyś, Ewa Benko, Witold Cęckiewicz, Zbigniew Gąsior, Michał Heller, Janusz Janeczek, Andrzej Jasiński, Kazimierz Jeleń, Wiesław Kamiński, Wojciech Kilar, Adam Proń, Tadeusz Sławek, Ryszard Tadeusiewicz, Stanisław Woś, Andrzej Kajetan Wróblewski, Krzysztof Zanussi, Jerzy Zioło i Elżbieta Zipper. Byli przedstawiciele nauk matematycznych, przyrodniczych, medycznych i humanistycznych, teologii, sztuk pięknych. Gościliśmy łącznie ok. 350 osób z całej Polski. Naszym celem było ukazanie przedstawicielom innych nauk oraz sztuk, a także całemu społeczeństwu oraz władzom, roli fizyki jako fundamentu naszej cywilizacji i kultury. Chcieliśmy przedstawić rozmaite oblicza fizyki, która nie tylko fascynuje, lecz także może wywoływać niepokój.

Sesji przedpołudniowej przewodniczył autor tego sprawozdania, który powitał zebranych oraz wygłosił także słowo wstępne „Przedmiot fizyki”. W tej sesji wygłoszono następujące wykłady: „Einstein i fizyka 100 lat temu” (Andrzej Kajetan Wróblewski, Uniwersytet Warszawski), „Czas człowieka i czas Kosmosu” (Michał Heller, Watykańskie Obserwatorium Astronomiczne, Castel Gandolfo), „Droga od fizyki do przemian kulturalnych na przykładzie rozwoju elektroniki” (Ryszard Tadeusiewicz, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie) oraz „»Jako w niebie, tako i na Ziemi« – astronomiczne dowody na uniwersalność praw przyrody” (Stanisław Bajtlik, Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika w Warszawie)

W sesji popołudniowej, której przewodniczył Maciej Sablik z Uniwersytetu Śląskiego, wygłoszono także cztery wykłady: „Świat materialny a świat duchowy. Kino między zwierciadłem a snem” (Krzysztof Zanussi, UŚ), „Geofizyka podróż do wnętrza Ziemi” (Janusz Janeczek, UŚ), „Wpływ fizyki na rozwój nanochemii i nanotechnologii” (Adam Proń, Commissariat à l’Energie Atomique, Grenoble, oraz Politechnika Warszawska) i „Małe jest wielkie, czyli o nanoukładach” (Elżbieta Zipper, UŚ).

W podsumowującej obie sesje dyskusji, którą poprowadzili wspólnie Tadeusz Sławek (UŚ) i Andrzej K. Wróblewski, głos zabrali m.in.: Witold Cęckiewicz (architekt), Zbigniew Gąsior (kardiolog), Stanisław Woś (kar-

diochirurg), Jerzy Mioduszewski (matematyk) i Wiesław Sztumski (filozof). Pełne teksty wszystkich wystąpień będą wydane w postaci książki przez Wydawnictwo Naukowe PWN.

Zaczęliśmy – my, fizycy, uczestnicy tej dyskusji, i my, fizycy na całym świecie – być może już trochę zasypywać rów pojęciowy między fizykami a resztą społeczeństwa, wynikający m.in. z tego, że jest ono wciąż za mało poinformowane o znaczeniu i osiągnięciach fizyki oraz o tym, jak głęboko nasze życie i egzystencja są zanurzone w morzu pojęć fizyki i urządzeń technicznych wytworzonych w oparciu o jej idee. Aby jednak udało się nam zasypać ten rów całkowicie, Światowy Rok Fizyki powinien trwać dla nas, fizyków, zawsze. Fizycy nigdy nie powinni ustawać w wysiłkach prowadzących do wyjaśnienia i spopularyzowania społeczeństwu tego wszystkiego, co należy – przynajmniej z dziedziny fizyki – wyjaśnić i spopularyzować. Poniżej przytaczam tezy do dyskusji zaproponowane przeze mnie na około pół roku przed jej datą.

1) Definicja cywilizacji i kultury. Bliskość znaczeń obu tych pojęć. Na czym polega ich rozwój? Cywilizacja jako kultura materialna. Kultura jako cywilizacja ducha.

2) Czym jest fizyka? Przedmiot fizyki. Hierarchia praw fizyki. Fundamentalne prawa fizyki. Teoria i eksperyment. Eksperymenty myślowe. Kanon (współczesnej) wiedzy fizycznej. Niekompatybilność dwóch fundamentalnych teorii: mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności. GPS – najbardziej zdumiewający przyrząd naszych czasów, którego działanie wymaga precyzyjnego zastosowania obu tych teorii, a także szczególnej teorii względności! Przekaz wiedzy (fizycznej) jest tak samo ważny jak sama wiedza. W związku z tym właściwa dydaktyka na każdym szczeblu edukacji (popularyzacji) jest nie do przecenienia.

3) Etyczny wymiar zastosowań fizyki. Liczne idee i wynalazki fizyki mogą być użyte zarówno dla dobra człowieka, jak i jego zagłady, podobnie jak jeden z najstarszych wynalazków – nóż – może służyć nie tylko do krojenia chleba w celu podzielenia się nim z bliźnim, lecz także do wbicia bliźniemu w plecy. W poczynaniach zatem fizyków (i wszelkich uczonych) potrzebna jest etyka.

4) Fizyka a nauki przyrodnicze. Nauki przyrodnicze, w szczególności medycyna, jako działy fizyki. Tak pojęta fizyka stanowi najbardziej ogólną naukę o przyrodzie. Metody fizyczne badania genomu i proteomu. Metody fizyczne badania morfologii, skorupy i wnętrza Ziemi.

5) Fizyka a nauki techniczne. Fizyka fundamentem nauk technicznych. Nauki techniczne fundamentem naszej cywilizacji. Kultura przenika całą tę konstrukcję i wyrosta ponad nią.

6) Fizyka a kosmologia. Wielki Wybuch i ekspansja Wszechświata. Astrofizyka. Teoria kosmologicznej inflacji. Teoria strun i Wszechświat przed Wielkim Wybuchem. Wszechświaty równoległe. „Atomy” czasu i przestrzeni.

7) Fizyka a filozofia. Filozofia przyrody. Rola matematyki w opisie i rozumieniu przyrody. Człowiek jako podmiot i przedmiot fizyki (nauki). Zdolności poznawcze człowieka a ewolucja. Istniejący obiektywnie świat. Zasada antropiczna i podobne koncepcje. Pięć cytatów (z wielu możliwych) jako punkty odniesienia: Jest pięć tysięcy pytań gdzie, siedem tysięcy pytań jak i sto tysięcy pytań dlaczego (Rudyard Kipling). Dla nich, powiedziałem, prawda nie byłaby ni-

czym innym, tylko cieniami obrazów (Platon, *Rzeczpospolita*), Jest tylko jedno dobro, mianowicie wiedza, i tylko jedno zło, mianowicie ignorancja (Sokrates), Tej małej części ignorancji, którą porządkujemy i klasyfikujemy, nadajemy imię wiedzy (Ambrose Bierce), Wiem, że nic nie wiem (Sokrates).

8) Fizyka (nauka) a wiara (religia). Przedmiot fizyki i przedmiot wiary są różne. Dwa cytaty (z wielu możliwych) jako punkty odniesienia: Nauka bez religii jest ułomna, religia zaś bez nauki ślepa (Albert Einstein), Wiara i rozum są jak dwa skrzydła, na których duch ludzki unosi się ku kontemplacji prawdy (Jan Paweł II).

9) Fizyka a sztuka. Fizyka jako opis stanów Przyrody. Sztuka jako przedstawienie stanów Ducha. Symetria i jej łamanie w Przyrodzie i w Sztuce.

10) Uczony a artysta. Co ich łączy? Co ich odróżnia? Co mają sobie nawzajem do zaoferowania?

11) Różnice i podobieństwa sensu poszukiwań twórczych. Różnice i podobieństwa sensu poszukiwań twórczych w fizyce oraz innych naukach przyrodniczych, a także w naukach technicznych, w naukach humanistycznych i w sztuce.

12) Zastosowania aparatu myślowego fizyki w innych dziedzinach. Na przykład w socjologii, ekonomii (ekonofizyka), grach rynkowych etc.

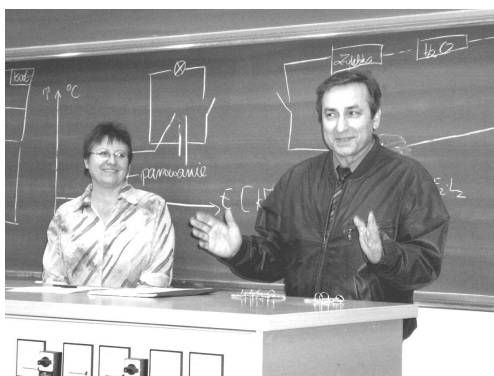
Jerzy Warczewski
Instytut Fizyki UŚ
Katowice

PTF



Oddział Zielonogórski

10 stycznia 2006 r. odbyło się zebranie Zarządu Oddziału Zielonogórskiego PTF, na którym przyjęto nowych członków oraz podsumowano działalność Oddziału w roku 2005. Na podkreślenie zasługuje aktywne popularyzowanie fizyki wśród uczniów szkół województwa lubuskiego. Niemalymi sukcesami na tym polu może się poszczycić Koło Nauczycieli Oddziału, które w ramach obchodów Światowego Roku Fizyki 2005 zorganizowało kilka imprez adresowanych do uczniów.



Ewa Królczyk, przewodnicząca Koła Nauczycieli, i Piotr Rozmej, dyrektor IF UZ (fot. Adam Drzewiecki)

W marcu 2005 r. w Gimnazjum nr 2 w Żaganiu przeprowadzono konkurs matematyczno-fizyczny („Kepleriadę”), którego tematyka nawiązywała do naukowego dorobku Johannesesa Keplera. W kwietniu z inicjatywy Koła i pod patronatem Instytutu Fizyki Uniwersytetu Zielonogórskiego oraz Zarządu Oddziału zorganizowano w Gimnazjum w Nowogrodzie Bobrzańskim seminarium poświęcone Marii Skłodowskiej-Curie. W maju w Gimnazjum nr 1 w Zielonej Górze odbył się finał „Szkolnego Mini-Nobla”.

Również w maju w Gimnazjum nr 2 w Żarach odbyła się debata „Fizyka w kuchni”. Wzięli w niej udział uczniowie gimnazjów z całego województwa. Poszcze-

gólne szkoły przedstawiały zagadnienia z zakresu fizyki w kuchni w formie plakatów, modeli, scenek teatralnych, pokazów doświadczeń i projektów multimedialnych. Debata związana była z IV edycją Wojewódzkiego Konkursu Fizycznego, który w roku 2005 nosił tytuł „Zjawiska i procesy fizyczne zachodzące w kuchni”. Konkurs miał trzy etapy. Dwa pierwsze odbyły się w szkołach pod nadzorem nauczycieli fizyki. Etap I obejmował rozwiązanie dwóch zadań problemowych, etap II polegał na przygotowaniu zadania praktycznego wybranego przez ucznia. Etap III (finał) odbył się 26 listopada w budynku IF UZ. W pierwszej części uczniowie rozwiązywali zadania rachunkowe, problemowe i doświadczalne, związane z tematem konkursu, a w części drugiej przedstawiali swoje prace z II etapu.



Zwycięzcy konkursu „Zjawiska i procesy fizyczne zachodzące w kuchni” Paweł Rzemieniecki z Gimnazjum nr 1 w Zielonej Górze (z prawej, uczeń Ewy Królczyk) oraz Przemysław Niewiarowski z Gimnazjum w Czerwieńsku (uczeń Magdaleny Grysiwicz) (fot. Adam Drzewiecki)

Konkurs sprawił dużo radości uczestnikom i organizatorom. Mamy nadzieję, że przyczyni się też do popularyzacji wiedzy fizycznej wśród młodzieży i pozwolił jej dostrzec, że fizykę można polubić. Zdjęcia z przebiegu etapu finałowego można obejrzeć na stronie internetowej naszego Oddziału (www.if.uz.zgora.pl/~ptf/index.php?page=galeria#kf2005) – zapraszamy do jej odwiedzenia.

Joanna Borgensztajn

5 prac, które zmieniły oblicze fizyki

Albert Einstein: *5 prac, które zmieniły oblicze fizyki*, wstęp Roger Penrose, komentarze John Stachel, tłumaczył Piotr Amsterdamski, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, 2005, s. 192.

Książka zawiera polskie tłumaczenie pięciu prac Alberta Einsteina, które powstały w „cudownym roku” 1905, a którego stulecie obchodzone było niedawno jako Światowy Rok Fizyki. Zgodnie z informacją zawartą na odwrocie strony tytułowej, polskie wydanie powstało na podstawie opracowania zatytułowanego *Einstein's Miraculous Year – Five Papers That Changed the Face of Physics*, wydanego przez Princeton University Press w 1998 r. Tych pięć prac to: „Nowa metoda wyznaczania rozmiarów molekuł” (rozprawa doktorska Einsteina), „O ruchu cząstek zawieszonych w cieczach w spoczynku, wynikającym z molekularno-kinetycznej teorii ciepła”, „O elektrodynamice ciał w ruchu”, „Czy bezwładność ciała zależy od zawartej w nim energii?” i „O heurystycznym punkcie widzenia w sprawie emisji i przemiany światła”. Prace zostały umieszczone w książce w przedstawionej powyżej kolejności zgodnie – jak jest o tym mowa we wstępie (s. 25) – z ich oddaleniem od fizyki klasycznej. Wstęp zawiera także krótki przegląd prac Einsteina opublikowanych przed 1905 r.

Rozprawa doktorska Einsteina poświęcona była wyznaczaniu rozmiarów molekuł z użyciem metod klasycznej hydrodynamiki i teorii dyfuzji. Praca druga dotyczy w istocie ruchów Browna, chociaż termin ten nie występuje w tytule. Otrzymane w tej pracy wyniki zostały potwierdzone doświadczalnie, co w tamtym czasie miało istotne znaczenie dla przekonania sceptyków, że atomy są rzeczywistością fizyczną, a nie tylko sposobem opisu niektórych zjawisk zachodzących np. w cieczach. Interesujące jest także to, że termin „ruchy Browna” nie występuje w tytule, a w tekście pracy został użyty tylko raz. W krótkim wstępie Einstein napisał: „Niewykluczone, że omawiane tu ruchy są identyczne z tzw. molekularnymi ruchami Browna, ale dostępne mi dane na ich temat są tak nieprecyzyjne, iż nie mogłem w tej sprawie sformułować opinii”.

Słynna praca „O elektrodynamice ciał w ruchu” zawiera sformułowanie szczególnej teorii względności. Podzielona jest ona na dwie główne części: kinematyczną i elektrodynamiczną. Pierwsza część zawiera analizę równoczesności, rozważania dotyczące względności długości i czasu, jak również wyprowadzenie transformacji Lorentza z jej konsekwencjami (twierdzenie o dodawaniu prędkości). Część elektrodynamiczna dotyczy równań elektrodynamiki, własności transformacyjnych pola elektromagnetycznego i wniosków stąd wynikających (np. zasady Dopplera czy aberracji). W krótkiej czwartej pracy wyprowadzony został związek $E = mc^2$, uważany za najśłynniejszy wzór na świecie, chociaż nie pojawia się on w pracy w tej postaci. W końcowej części artykułu można

natomiast znaleźć zdanie: „Jeśli ciało emituje energię L w postaci promieniowania, to jego masa maleje o L/V^2 ” (Einstein używał oznaczenia V dla prędkości światła), i dalej: „Masa ciała stanowi miarę zawartej w nim energii; gdy energia zmienia się o L , masa zmienia się w ten sam sposób o $L/(9 \times 10^{20})$, jeśli energię mierzyć w ergach, a masę w gramach”.

Piąta praca, zawierająca hipotezę kwantów światła, jest jedyną, którą Einstein uważał za rewolucyjną. Jest ona obecnie wymieniana przede wszystkim jako ta praca, w której znalazło się wyjaśnienie wyników pomiarów zjawiska fotoelektrycznego, ale jej treść jest dużo obszerniejsza i dotyczy w dużej mierze promieniowania ciała czarnego, w tym analizy entropii promieniowania. Z tej analizy wysnuty został wniosek, że promieniowanie zachowuje się tak, jakby składało się z kwantów energii o wartości $h\nu$ (we współczesnej notacji). Wyjaśnienie na tej podstawie zjawiska fotoelektrycznego zawarte jest w przedostatnim rozdziale pracy zatytułowanym „O wytwarzaniu promieniowania katodowego przez oświetlenie ciał stałych”.

Każda z pięciu prac zamieszczonych w książce jest poprzedzona obszernym komentarzem autorstwa Johna Stachela, natomiast wstęp do całości napisany został przez sir Rogera Penrose’a. Komentarze zawierają przegląd ówczesnego stanu wiedzy na temat zjawisk analizowanych w pracy, jak również wiele informacji dotyczących historii powstawania pracy. Czytając artykuły naukowe, zwykle nie zastanawiamy się nad tym, jak zrodził się pomysł, na podstawie którego artykuł powstał, jaki był tok myślenia autora oraz ile i jakie wątpliwości trzeba było przezwyciężyć, zanim artykuł w ocenie autora nadawał się do publikacji. Wielką zaletą książki jest to, że komentarze Johna Stachela poświęcone są nie tylko omówieniu merytorycznego tła artykułów Einsteina, ale zawierają także fragmenty korespondencji, którą Einstein prowadził w czasie pracy nad nimi, co w pewnym stopniu pozwala czytelnikowi dowiedzieć się, jaką drogą Einstein dochodził do swoich odkryć. Przywykliśmy również, dość nieracjonalnie, uważać geniusza za nieomylnego, tymczasem Einsteinowi także przytrafiały się całkiem zwykłe błędy rachunkowe. Można dowiedzieć się o tym np. z komentarza do pierwszej pracy, gdzie na s. 49 przytoczony jest fragment listu Einsteina do Ludwiga Hopfa mówiący o możliwości występowania błędów w równaniach. Dowiadujemy się dalej, że Hopf rzeczywiście znalazł błąd, co nie udało się Einsteinowi pomimo skrupulatnego sprawdzenia pracy. Błąd ten był o tyle istotny, że bez jego wykrycia i poprawienia przewidywane rozmiary molekuł nie zgadzały się z wynikami pomiarów. Zarówno wstęp jak i komentarze, a także same prace opatrzone zostały licznymi przypisami redakcyjnymi zawierającymi odnośniki do literatury źródłowej, takiej jak biografie czy prace zebrane Einsteina.

Nie jest łatwo zaklasyfikować tę książkę w sposób jednoznaczny do którejś z kategorii typu podręcznik, monografia itp., ale być może taka klasyfikacja nie jest w tym

przypadku potrzebna. Jest to niewątpliwie opracowanie z zakresu historii fizyki, chociaż o dosyć szczególnym charakterze. Zawiera bowiem, oprócz materiału o częściowo historycznym charakterze (wstęp i komentarze), także pełne teksty owych wymienionych pięciu prac. Opracowania z zakresu historii fizyki nie przytaczają zwykle pełnych tekstów prac, koncentrując się raczej na tym, jak (mówiąc w bardzo dużym uproszczeniu) prace te powstały. Książkę *5 prac, które zmieniły oblicze fizyki* można także w pewnym sensie uznać za monografię, chociaż również jako monografia ma ona dość szczególny charakter, traktuje bowiem o pięciu publikacjach, wprowadzając jednego autora, ale dotyczących za to bardzo zróżnicowanej tematyki. Pomimo różnorodności tematyki fizycznej pięciu prac umieszczonych w książce, najbliższe prawdy będzie zapewne określenie jej jako monografii – monografii einsteinowskiego „cudownego roku” 1905.

Dla fizyka przeczytanie tych pięciu prac w oryginale jest lekturą fascynującą. Wydaje się nam zwykle, że z grubsza rzecz biorąc wiemy, co zawierają te spośród wymienionych artykułów, które wspomniane są najczęściej – mam tu na myśli „O elektrodynamice ciał w ruchu” i „O heurystycznym punkcie widzenia w sprawie emisji i przemiany światła”. Na przykład, wyprowadzenie transformacji Lorentza zawarte w pierwszej wymienionej w poprzednim zdaniu pracy jest istotnie różne od tego, jakie można zwykle znaleźć we współczesnych podręcznikach elektrodynamiki. W artykule tym nie znajdziemy jeszcze jawnie współzmienniczego sformułowania elektrodynamiki w notacji tensorowej, w przeciwieństwie do późniejszej pozycji książkowej dotyczącej teorii względności *The Meaning of Relativity*¹, której pierwsze wydanie pojawiło się w 1922 r. W powszechnym przekonaniu Einstein postrzegany jest przede wszystkim jako twórca teorii względności, tymczasem on sam za „prawdziwie rewolucyjną” uważał pracę zawierającą hipotezę o kwantowej naturze promieniowania. Z komentarza do pierwszej pracy możemy się także dowiedzieć, że to ona, a nie np. praca dotycząca szczególnej teorii względności, należy do najczęściej cytowanych prac Einsteina.

Wstęp i komentarze do poszczególnych artykułów umieszczonych w książce mają w dużej mierze charakter popularny i na pewno będą dostępne dla szerszego grona czytelników interesujących się fizyką i historią fizyki, czy, ogólniej, historią nauki. Z oczywistych względów lektura oryginalnych prac Einsteina wymaga znacznie głębszej znajomości fizyki, w zasadzie na poziomie studiów wyższych lub na poziomie starszych lat tych studiów.

Książka *5 prac, które zmieniły oblicze fizyki* stanowi niezwykle cenną pozycję, a Wydawnictwom Uniwersytetu Warszawskiego należą się wyrazy uznania za opublikowanie jej polskojęzycznej wersji. Pragnę także podkreślić bardzo dobre tłumaczenie z angielskiego. Jest to na pewno książka, która nigdy nie straci na aktualności,

a czytelnikom przybliży postać Alberta Einsteina jako nie tylko odkrywcy związku $E = mc^2$.

Adam Bechler

Instytut Fizyki
Uniwersytet Szczeciński

Fizyka środowiska

Egbert Boeker, Rienk van Grondelle: *Fizyka środowiska*, tłum. Konrad Bajer, Aleksandra Kopystyńska, Tomasz Szoplik, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002, s. 518.

Należy z radością powitać pojawienie się pierwszego na polskim rynku wydawniczym podręcznika akademickiego fizyki środowiska. Jest to tłumaczenie II wydania oryginalnej, anglojęzycznej wersji tego podręcznika autorstwa dwóch fizyków holenderskich, Egberta Boekera i Rienka van Grondelle, wydanej w oficynie John Wiley & Sons w 1999 r. Na międzynarodowym rynku wydawniczym był to drugi z kolei podręcznik z tej dziedziny. (Pierwszy, zatytułowany *Principles of Environmental Physics*, autorstwa Johna L. Monteitha i Mike'a H. Unswortha, został wydany w roku 1973 przez wydawnictwo E. Arnold, było też jego drugie, poprawione wydanie w 1990 r., z dodrukiem w 1995 r.). Według zamieszczonych w przedmowie słów Autorów, „fizyka środowiska oznacza coś więcej niż badanie zjawisk fizycznych występujących w środowisku: składają się na nią pewne postacie fizyki atmosfery, fizyki gleby oraz wiele zagadnień fizyki stosowanej i fizyki technicznej”. Ambicją Autorów było pokazanie, że fizyka może odegrać ważną rolę w analizowaniu złożonych problemów środowiska.

Mimo iż od dłuższego czasu prowadzi się w Polsce na kilku wyższych uczelniach kształcenie w dziedzinie fizyki bądź chemii środowiska, brakowało dotąd na rynku krajowym odpowiedniego podręcznika poświęconego tym ważnym i szybko rozwijającym się dziedzinom. Omawiany podręcznik wypełnia tę lukę. Jest to w zasadzie podręcznik przeznaczony dla studentów ostatnich lat studiów, mających dobrą znajomość fizyki ogólnej i metod matematycznych. Z wybranych rozdziałów mogą jednak z powodzeniem korzystać również młodszy studenci. Recenzowany podręcznik liczy 8 rozdziałów, trzy dodatki oraz skorowidz. Każdy rozdział kończy się zbiorem zadań bądź problemów do rozwiązania przez studentów. Podręcznik, choć dość obszerny (liczy 518 stron), z oczywistych względów nie wyczerpuje wszystkich zagadnień fizycznych wiążących się z problematyką środowiska. Jest to raczej, jak sami Autorzy stwierdzają, ich subiektywny wybór. W książce znalazły się takie zagadnienia jak: fizyka transportu promieniowania w atmosferze i wiążący się z tym problem bilansu energetycznego układu Ziemia–atmosfera i jego wpływu na klimat (rozdz. 1–3), szeroko potraktowana problematyka energii w środowisku w odniesieniu do potrzeb człowieka (rozdz. 4), problemy

¹ A. Einstein, *The Meaning of Relativity*, fifth edition, 1955, Princeton University Press. Polskie tłumaczenie: *Istota teorii względności*, tłum. Andrzej Trautman, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1962.

transportu masy, energii i pędu w środowisku (rozdz. 5) oraz problematyka hałasu (rozdz. 6). Jest też dość obszerny rozdział dotyczący metod analitycznych w badaniach środowiska, ograniczony jednak tylko do wybranych metod spektroskopowych (rozdz. 7). Podręcznik zamyka rozdz. 8, poświęcony społecznym aspektom fizyki środowiska, szkicujący społeczny kontekst i społeczne uzasadnienie dla podejmowania takiej tematyki przez tradycyjną fizykę czy chemię.

Można oczywiście dyskutować o wyborze zagadnień przez Autorów. Recenzentowi zabrakło np. rozdziału o promieniotwórczości w środowisku – to społecznie ważny i dyskutowany temat, który na pewno zasługuje na szersze omówienie. Brakuje zupełnie odniesienia do fizyki oceanów, choć są one jednym z centralnych elementów globalnej ekosfery Ziemi. Warto było również włączyć do rozdz. 7 metody wykorzystujące spektrometrię mas, jedno z podstawowych narzędzi analitycznych w badaniach środowiska.

Polskie tłumaczenie *Fizyki środowiska* wykonane zostało na podstawie drugiego wydania angielskiego, poprawionego i przerobionego przez Autorów z uwzględnieniem doświadczeń w korzystaniu z tego podręcznika przez studentów i wykładowców. Tłumaczenie podręcznika, mimo iż wykonane przez trzy różne osoby, jest jednorodne w stylu i generalnie na wysokim poziomie, z nielicznymi tylko „wpadkami” związanymi najczęściej ze słownictwem specjalistycznym spoza obszaru fizyki. Część drobnych błędów, często natury drukarskiej, uchybienia i nieścisłości zauważone przez autora recenzji podane są poniżej (pełny wykaz redakcja przekazuje wydawcom książki).

- s. 19₁₀: średnia wartość stałej słonecznej za ostatnie 25 lat (bezpośrednie pomiary satelitarne) wynosi 1365 W/m², a nie 1370 W/m².
- s. 24₁: stwierdzenie, iż „wyziewy przemysłowe przewyższają naturalną emisję 1,2 razy”, jest błędne. Strumień antropogeniczny CO₂ do atmosfery, wynoszący ok. 6 Pg węgla rocznie, jest znacznie mniejszy od naturalnych strumieni CO₂ wymienianych co roku między atmosferą i biosferą oraz atmosferą i oceanem (odpowiednio ok. 60 oraz 90 Pg węgla).
- s. 53, rys. 3.3: z podpisu pod rysunkiem wynika, że dane na górnym wykresie pochodzą również z Mauna Loa, co nie jest zgodne z prawdą (pochodzą one z pomiarów stężenia CO₂ w pęcherzykach powietrza wydzielonych z datowanych rdzeni lodowych). Również stwierdzenie w podpisie rys. 3.3 „skale osi obu wykresów zostały uzgodnione” nie jest zgodne z prawdą (skale są różne).
- s. 72, rys. 3.13: w podpisie pod rysunkiem brak wyjaśnienia niektórych występujących na nim symboli literowych (O_H, O_J, O_K, P_J, W₁, W₂). Zero skali czasowej, zgodnie z podpisem pod nią, powinno być umieszczone po prawej stronie kolejnych rysunków. Ponadto należałoby sprecyzować, jakiemu wiekowi kalendarzowemu zostało przypisane zero skali czasowej. Podpis pod rysunkiem zawiera błędne lub nieaktualne informacje.

W starych osadach morskich nie bada się pyłków kwiatowych (informacje klimatyczne pochodzą m.in. z badań składu izotopowego skorupki otwornic węglanowych zawartych w tych osadach). Rekonstrukcja zmian temperatury powietrza na Grenlandii dla ostatnich stu lat, pokazana na dolnym rysunku i wykonana na podstawie badań składu izotopowego lodu, jest bardzo dyskusyjna w świetle obecnego stanu wiedzy o czynnikach wpływających na skład izotopowy lodu w tym rejonie.

- s. 147²: powinno być „energia geotermiczna, czyli ciepło pochodzące głównie z radioaktywnych rozpadów zachodzących w skorupie ziemskiej” (rozpad promieniotwórczy nie jest jedynym źródłem strumienia ciepła docierającego do powierzchni Ziemi).
- s. 152⁷: zgodnie z rys. 3.1, do powierzchni Ziemi dociera tylko ok. 47% promieniowania słonecznego, tzn. maksymalnie ok. 540 W/m², a nie 900 W/m².
- s. 152₆: jako temperaturę widmową Słońca podano 5800 K, a na rys. 2.2 na s. 30 jest 5900 K.
- s. 162, podpis pod rysunkiem 4D.1 oraz s. 166¹⁹: powinno być „uczulany” zamiast „sensybilizowany”.
- s. 205⁴: budowa reaktora ITER znacznie się opóźniła! (aktualne oceny mówią że będzie gotowy ok. 2016 r.).
- s. 227¹: tytuł podrozdziału zamiast „Stupy solne” powinien brzmieć „Wysady solne” (jest to termin powszechnie przyjęty w polskiej terminologii geologicznej).
- s. 265₁₁ oraz 279⁸: kolizja terminów: na s. 265 wielkość κ nazwano „przepuszczalnością ośrodka” (wymiar m⁻¹), natomiast na s. 279 przepuszczalnością ośrodka nazywa się iloczyn przewodności hydraulicznej k i grubości warstwy wodonośnej H (wymiar m²/s).
- s. 283₂ i dalej na s. 284: kolizja oznaczeń w ramach tego samego rozdziału: κ oznacza tutaj stałą podziału zanieczyszczenia między stałą ośrodek i wodę, natomiast na s. 265 κ oznaczało przepuszczalność ośrodka.
- s. 423, rys. 7.12: brak wyjaśnienia symbolu μ na osi rzędnych dolnego rysunku; brak wyjaśnienia akronimów NEXAFS oraz XANES.
- s. 481₈: w elektrowni jądrowej nie produkuje się energii elektrycznej bezpośrednio; produktem „spalania” materiału rozszczepialnego jest również energia cieplna.

Od ukazania się polskiego przekładu *Fizyki środowiska* upłynęły już trzy lata. Jest to czas wystarczający, aby podręcznik akademicki zaczął żyć „własnym życiem”. Sądzę, że tak się stało w tym przypadku. Z własnego doświadczenia, jak również z sygnałów, które docierają do mnie z innych ośrodków akademickich w kraju wnioskuję, że książka jest szeroko wykorzystywana przez wykładowców i studentów wszędzie tam, gdzie omawia się zagadnienia związane z wykorzystywaniem metod i narzędzi fizyki w badaniach środowiska. Podsumowując, jest to na pewno podręcznik godny polecenia.

Kazimierz Różański

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH
Kraków

■ Tomasz Wojtowicz

Urodził się w Katowicach w 1955 r. Studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego ukończył z wyróżnieniem w roku 1980, specjalizując się w fizyce ciała stałego. Jeszcze przed końcem studiów został zatrudniony w Instytucie Fizyki PAN, gdzie pracuje do dzisiaj. Pracę doktorską obronił w 1988 r. (promotor prof. Robert R. Gałązka), a habilitację uzyskał w 2000 r. Tytuł naukowy otrzymał 10 października 2005 r.

Głównym obiektem jego zainteresowań były i są półprzewodniki półmagnetyczne, czyli związki zawierające jony magnetyczne, np. jony Mn, i charakteryzujące się silnym wzmocnieniem własności spinowych. Początkowo były to kryształy lite, a obecnie są to przede wszystkim struktury niskowymiarowe. Na jego działalność naukową największy wpływ mieli profesorowie Andrzej Mycielski, Robert R. Gałązka i Tomasz Dietl.

W latach 1988–90 odbył trzyletni staż naukowy na Uniwersytecie Notre Dame w USA, gdzie prowadził badania niskowymiarowych struktur kwantowych, pracując w grupie prof. Jacka Furdyny. Po powrocie do Polski stanął na czele zespołu, którego zadaniem było uruchomienie technologii epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) półmagnetycznych struktur kwantowych związków II–VI. Realizacja tego zadania, we współpracy m.in. z Jackiem Kossutem oraz Grzegorzem Karczewskim, zakończyła się pełnym sukcesem i pozwoliła doprowadzić poziom technologii i badań struktur kwantowych w IF PAN do najwyższego poziomu światowego.



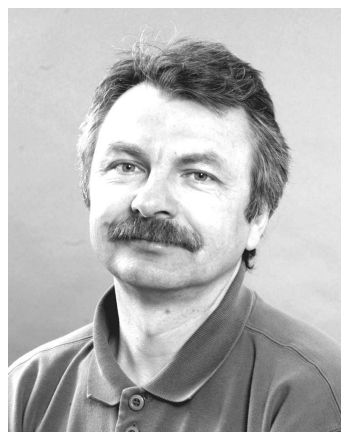
Podczas pracy na Uniwersytecie Notre Dame w latach 2001–04 rozszerzył swoje zainteresowania naukowe na ferromagnetyczne związki III–Mn–V, które mogą stać się podstawą elektroniki przyszłości opartej na wykorzystaniu spinu nośników, tzw. spintroniki.

Jest współautorem ponad 400 prac naukowych oraz 60 referatów zamówionych na międzynarodowych konferencjach.

Żonaty (z Grażyną), ma dwoje dzieci: córkę Annę (1981) i syna Marcina (1985). Jego hobby to bieganie.

■ Paweł Hawrylak

Urodził się we Wrocławiu w 1955 r. Kontakt z nauką i sztuką zaczął na kolanach ojca Henryka, profesora Politechniki Wrocławskiej, i matki Jadwigi, wspaniałego architekta i artysty. Studia magisterskie ukończył w Instytucie Fizyki PWr w 1979 r. pod kierunkiem prof. Jerzego Czerwonki. Doktorat uzyskał na Wydziale Fizyki University of Kentucky w Lexington (USA) w roku 1984 za pracę „Models of stage transformations in intercalated graphite” (opiekun: prof. Kumble R. Subbaswamy). W latach 1984–87 pracował w zespole prof. Johna J. Quinna na Brown University w Providence. Od 1987 r. pracuje w Institute for Microstructural Sciences, National Research Council (NRC) w Ottawie, gdzie obecnie kieruje grupą teorii kwantowej. Tytuł naukowy otrzymał 17 listopada 2005 r.



Jego zainteresowania naukowe to własności skorelowanych elektronów w sztucznych strukturach niskowymiarowych, a zwłaszcza projektowanie nowych zjawisk kolektywnych przy użyciu nanotechnologii. Przykłady takich zjawisk to przewidziana i zaobserwowana kondensacja ekscytonów spinowych w kropkach kwantowych oraz rola ukrytych symetrii w emisji z kropek elektronowo-dziurowych. Jego prace teoretyczne przyczyniły się do konstrukcji tranzystora wykorzystującego spin jednego elektronu i lasera opartego na kropce kwantowej. Obecnie interesuje się nanospintroniką, nanooptyką i informacją kwantową oraz budową komputera kwantowego wykorzystującego spiny pojedynczych elektronów.

Otrzymał nagrodę naukową Fundacji Humboldta (1999), Medal Brockhouse’a Kanadyjskiego Towarzystwa Fizycznego (2002), nagrodę naukową NRC (2002). Od roku 1996 *fellow* Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego, a od 2000 – członek Canadian Institute for Advanced Research. Zasiada w radach redakcyjnych czasopism: *Canadian Journal of Physics*, *Physica E* oraz *Solid State Communications*.

Świat dzieli z żoną Iwoną i dwójką dorosłych dzieci, Agatą i Maćkiem. Jego pasje to fizyka i sport. Utrzymuje silne związki z Polską, zwłaszcza z Wrocławiem.

O genezie *Symfonii o ruchu* Wojciecha Kilara

W pierwszym dniu Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie, tj. 12 września 2005 r., odbył się wieczorem w Filharmonii Narodowej dla jego uczestników uroczysty koncert, na którym usłyszeliśmy prawykonanie symfonii Wojciecha Kilara napisanej dla fizyków z okazji Światowego Roku Fizyki 2005. Wykonawcami byli orkiestra i chór Filharmonii Narodowej pod dyktando Antoniego Wita oraz soliści: Iwona Hossa – sopran i Jarosław Bręk – baryton. Dwa dni po prawykonaniu, czyli 14 września, ci sami artyści wykonali to samo dzieło we Wrocławiu na Międzynarodowym Festiwalu „Vratislavia Cantans”, natomiast po upływie następnych 18 dni, tj. 2 października, symfonia była wykonana przez ten sam zespół artystów znowu w Warszawie na bardzo ekskluzywnym koncercie, inaugurującym Międzynarodowy Konkurs Pianistyczny im. Fryderyka Chopina. Będą zapewne jeszcze inne koncerty w kraju i za granicą. Zaproponowałem, żeby Polskie Towarzystwo Fizyczne zwróciło się do innych towarzystw, aby wpłynęły na „swoje” filharmonie i doprowadziły do wykonania *Symfonii* w swoich krajach. Zresztą żyje ona już i będzie żyć własnym światowym życiem estradowym.

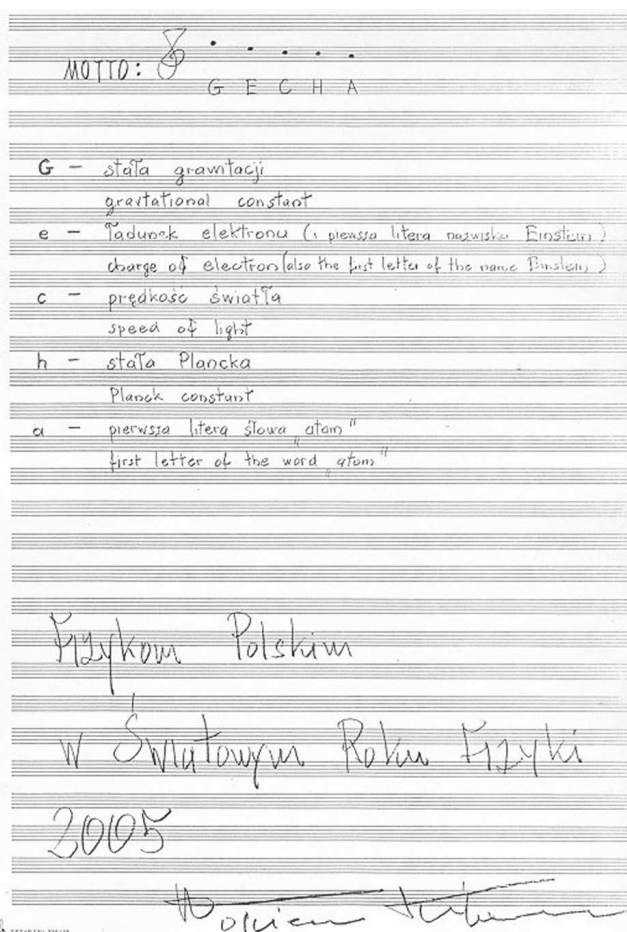
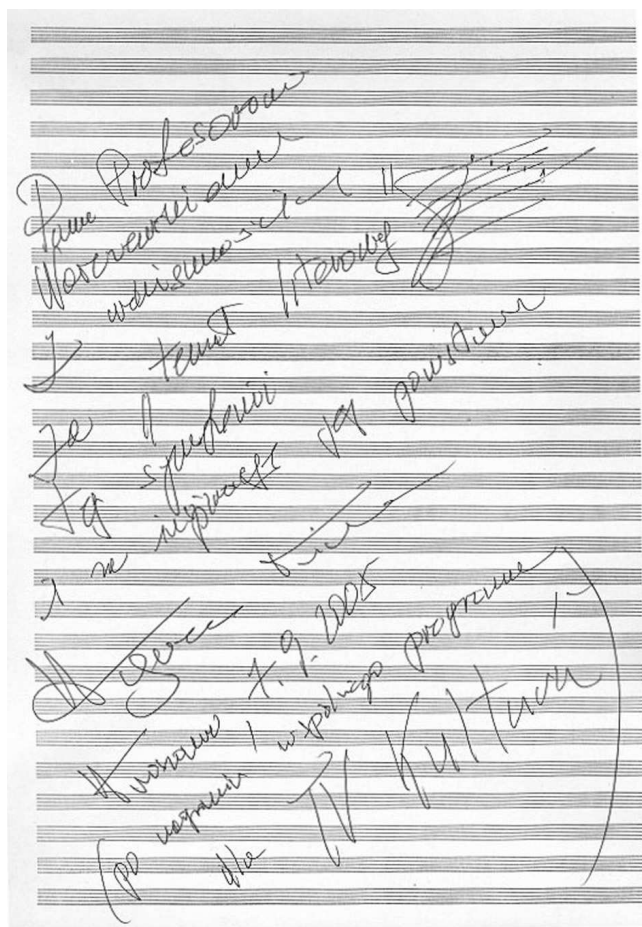
Geneza tego dzieła jest następująca. Na przełomie lutego i marca 2004 r. postanowiłem poprosić Wojciecha Kilara o napisanie utworu z okazji ŚRF 2005. Wybierając się do niego, zdałem sobie sprawę, że nie mogę przyjść z pustymi rękami, więc postanowiłem przynieść mu temat muzyczny oparty na nutach, których symbole literowe są identyczne z oznaczeniami pewnych fundamentalnych stałych i pojęć fizycznych. Chodzi tu o nuty c , h , G , e , a („odpowiedniki” fizyczne: c – prędkość światła, h – stała Plancka, G – stała grawitacji, e – ładunek elementarny i zarazem pierwsza litera nazwiska Einsteina, który był patronem ŚRF 2005, i wreszcie a – pierwsza litera najczęściej używanego przez fizyków słowa, tj. słowa „atom”). Gdy wręczałem Kilarowi komplet tych pięciu nut, to zaznaczyłem, że ich kolejność nie jest zobowiązująca i że może być także inna. Dałem Mistrzowi słowniczek tych symboli, w którym wszystko to wyjaśniłem w przystępny sposób po polsku i po angielsku. Co więcej, wspomniałem mu, że będzie to setna rocznica ukazania się legendarnych publikacji Einsteina, w których położył on podwaliny pod teorię względności, fizykę kwantową oraz teorię ruchów Browna. Gdy powiedziałem Kilarowi, że ta ostatnia wyjaśnia fundamentalną i uniwersalną cechę materii – nieustanny ruch cząstek mikroświata, informacja ta niezwykle go zafascynowała oraz sprawiła, że całą symfonię poświęcił ruchowi i nazwał ją po łacinie *Sinfonia de motu* (Symfonia o ruchu).

Przez cały okres komponowania miałem zaszczyt prowadzić z Wojciechem Kilarą dyskusje i rozmowy trwające przeciętnie jedną godzinę tygodniowo. Artysta powtarzał wielokrotnie, że jest zainspirowany tym pomysłem i informował mnie o postępach w tworzeniu dzieła, aż wreszcie w Niedzielę Palmową, 6 marca 2005 r., za-

dzwonił do mnie i oznajmił, że poprzedniego dnia około południa, „na Anioł Pański”, jak się wyraził, ukończył komponowanie. Symfonię zadedykował: „Fizykom Polskim w Światowym Roku Fizyki 2005 – Wojciech Kilar”. Tu dodam, że w czasie pracy nad tą symfonią Mistrz odmówił co najmniej dwóm prestiżowym propozycjom – skomponowania utworu na rocznicę Powstania Warszawskiego oraz napisania utworu na rocznicę męczeńskiej śmierci ks. Jerzego Popiełuszki, tłumacząc, że pisze symfonię „dla fizyków”. Pragnę podkreślić, że przez cały okres powstawania *Symfonii* Kilar jawił mi się jako człowiek pracujący w najwyższym uniesieniu twórczym – mimo że była to gigantyczna praca, bił od niego blask Człowieka Szczęśliwego.

Sinfonia de motu to czteroczęściowy utwór trwający godzinę. W czwartej części do orkiestry dochodzi chór oraz dwoje solistów, sopran i baryton: wszyscy oni śpiewają do słów Dantego Alighieri z *Boskiej komedii*, natomiast temat muzyczny (owa „muzyka sfer”), o którym wspominałem wyżej, jest w II, III i IV części *Symfonii*. W II części *Symfonii* jest także solo barytonowe, w części III solo sopranowe – obie partie również do słów z *Boskiej komedii*. Wspomnianych wyżej solistów śpiewaków wybrał Antoni Wit, dyrektor i dyrygent Filharmonii Narodowej. Nawiasem mówiąc, kilka miesięcy temu Kilar powiedział mi: – To jest moja Dziewiąta Symfonia. – Oczywiście chodziło mu o to, że podobnie jak w Dziewiątej Symfonii Beethovena, tak i w jego *Symfonii* w finale jest chór i są soliści (tam śpiewają do słów Friedricha Schillera *Ode an die Freude*, a tu do tekstu Dantego, którego tytuł można by sparafrazować po niemiecku jako *Ode an die Liebe*). Jak sądzę, Wojciech Kilar chciał również wyrazić, że jest to dla niego niezwykle ważne dzieło. To właśnie od tekstów Dantego („Chwała temu, kto wszystko w ruch wprawia. . .”) Kilar doszedł też – jak gdyby inną drogą – do fascynacji ruchem, a poza tym Dante pisze o miłości, co Słońce porusza i inne gwiazdy, no i jeszcze jest *luce eterna*, światłość wieczna, za życia i potem także.

Kilar uważa tę *Symfonię* za najbardziej religijny utwór wśród swoich dzieł. Jest rzeczą niezwykle interesującą, że poszedł taką drogą, choć w naszej pierwszej rozmowie, w której zaproponowałem mu napisanie tego utworu, przyniósłszy wspomniany temat muzyczny, oznajmił mi, że przyszedłem we właściwym momencie (jego drogi twórczej), gdyż czuje akurat przesyt komponowaniem muzyki religijnej i patriotycznej, natomiast idea, z którą ja przyszedłem do niego, od razu go zainspirowała; tę ostatnią myśl wypowiadał potem – jak wspominałem – wielokrotnie w czasie całego procesu twórczego, także po ukończeniu komponowania i po pierwszych wykonaniach *Symfonii*. Widać więc, że jego (przewrotny?) geniusz doprowadził go – wbrew pierwotnym odczuciom i intencjom – znowu w obszar filozofii, teologii, religii. Istotnie, głębia tego utworu związana jest – jak się wydaje – z filozoficzno-teologicznym spojrzeniem kompozytora zarówno na swoje dzieło, jak też i na cały świat.



Dla wypełnienia programu na koncercie 12 września był wykonany na moją propozycję – wyrażoną jeszcze na wiosnę 2004 r. – również koncert fortepianowy Kilara. Jako solistę Antoni Wit wybrał od razu wtedy pianistę Waldemara Malickiego. Kilar wyraził też zgodę na moją prośbę, aby na początku każdego dnia Zjazdu Fizyków Polskich był odtwarzany z telebimu – jak gdyby hejnał – wybrany przez niego minutowy fragment *Symfonii*. Dotyczyło to także pierwszego dnia, w którym dopiero wieczorem w Filharmonii Narodowej było oficjalne prawykonanie *Symfonii*. W związku z tym wybrany fragment *Symfonii* był specjalnie nagrany i sfilmowany w przeddzień podczas próby; orkiestra FN nie była wtedy we frakach, ale chyba to nie szkodzi.

Pragnę dodać, że w kanale TVP Kultura wyemitowano w niedzielę 18 września 2005 r. w godz. 17–23 pro-

gram, którego gospodarzem był Wojciech Kilar, a ja miałem zaszczyt być jedynym gościem. W programie tym, który nagraliśmy 7 września w studio TVP w Warszawie, była także nasza 45-minutowa rozmowa na temat *Symfonii*.

Załączone ilustracje przedstawiają drugą i trzecią stronę podarowanej mi kopii rękopisu *Symfonii*. Druga zatem strona zawiera podziękowanie za inspirację, trzecia zaś strona tej kopii zawiera m.in. „słowniczek” polsko-angielski symboli literowych nut i stałych fizycznych, który przekazałem kompozytorowi przy pierwszym spotkaniu, a także przytoczoną już dedykację.

Jerzy Warczewski
Instytut Fizyki UŚ
Katowice

■ EPS

Prezesem Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (EPS) jest w bieżącej kadencji Ove Poulsen (Politechnika w Aarhus, Dania), wiceprezesem – Martin C.E. Huber (Instytut Paula Scherrera, Szwajcaria). Komitet Wykonawczy liczy 7 osób, jest w nim m.in. Maciej Kolwas (IF PAN). Wśród członków zarządów poszczególnych oddziałów, sekcji i grup międzyoddziałowych są następujący polscy fizycy: Henryk Szymczak (IF PAN) – Komisja Stosunków Wschód–Zachód; Izabela Sosnowska (UW) – przewodnicząca Europejskiej Komisji Mobilności Studentów Fizyki; Andrzej Kasiński (CAMK) – Sekcja Fizyki Grawitacji Oddziału Astrofizyki; Janusz Sylwester (CBK PAN) – Sekcja Fizyki Słońca Oddziału Astrofizyki; Krzysztof Pachucki (UW) – EGAS; Czesław Szymtkowski (UG) – Sekcja Zderzeń Elektronowych i Atomowych EGAS; Tomasz Dietl (IF PAN) – Sekcja Niskich Temperatur Oddziału Materii Skondensowanej; Marek Szymoński (UJ) – Sekcja Powierzchni i Międzypowierzchni Oddziału Materii Skondensowanej; Ireneusz Strzałkowski (PW) – Sekcja Uniwersytecka Oddziału Kształcenia; Jan Dunin-Borkowski – Sekcja Nauczania Przeduniwersyteckiego Oddziału Kształcenia; Stefan Pokorski (UW) – Oddział Fizyki Wysokich Energii i Cząstek; Ziemowid Sujkowski (IPJ) – Oddział Fizyki Jądrowej; Marek Cieplak (IF PAN) – Oddział Fizyki w Naukach Przyrodniczych; Jerzy Wołowski (IFPiLM) – Oddział Fizyki Plazmy; Marian Bubak (AGH) – Oddział Fizyki Obliczeniowej; Andrzej K. Wróblewski (UW) – Grupa Historii Fizyki.

Europhys. News 36, nr 6 (2005)

B. W.

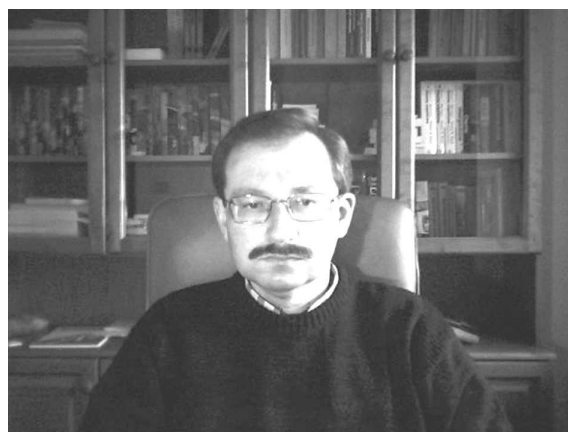
■ Nagrody Premiera za rozprawy habilitacyjne

Nagrody Prezesa Rady Ministrów za prace habilitacyjne w roku 2004 otrzymali dr hab. Piotr Bożek (Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków) i dr hab. Mariusz Przybycień (Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej).



Piotr Bożek

Rozprawa Piotra Bożka „Metody spektralne i propagacja poza powłoką masy dla materii jądrowej” dotyczy fizyki układów wielu ciał. Autor rozwinął metody teoretyczne i przeprowadził obliczenia numeryczne, które jeszcze do niedawna uchodziły za niewykonalne. Zastosował metodę samouzgodnionej macierzy T i otrzymał bardzo dobre wyniki dla układów silnie oddziałujących fermionów. Dodatkową zaletą jego metody jest możliwość wykonywania obliczeń przy użyciu komputerów osobistych średniej klasy. Laureat zbadał właściwości nukleonów w ośrodku o średniej gęstości oraz wyznaczył zarówno energię stanu podstawowego jak i właściwości cząstek w takim ośrodku. Niezmiernie ważnym osiągnięciem Laureata było zbadanie właściwości stanu nadciekłego materii jądrowej i przedstawienie obliczeń dla skorelowanych nukleonów tego stanu. Jako pierwszy wykazał, że jedno z możliwych uogólnień macierzy T na fazę nadciekłą prowadzi do energii własnej o zerowej szerokości jednocząstkowej w przedziale wokół poziomu Fermiego. Ważną cechą tego uogólnionego podejścia jest istnienie odpowiedniego funkcjonatu generującego, co ma znaczenie dla spójności termodynamicznej obliczeń. Wyjaśnił też, skąd się bierze bardzo silne zmniejszenie szczeliny energetycznej w fazie nadciekłej – jest ono spowodowane korelacjami wielocząstkowymi. Przedstawił również efektywne równanie typu BCS, które bardzo dobrze opisuje to zmniejszenie. Ostatnio wraz z fizykami z Uniwersytetu w Tybindze pracuje nad rozszerzeniem formalizmu na wzbudzenia typu cząstka–dziura i nad wyjaśnieniem mechanizmu nasycenia jądrowego w podejściu samouzgodnionym. Nagrodzone prace Bożka mają duże znaczenie dla fizyki jądrowej, fizyki fazy skondensowanej, fizyki plazmy oraz astrofizyki. Laureat mieszka wraz z żoną i dwójką dzieci pod Krakowem. W wolnych chwilach zajmuje się pracą w ogrodzie, zimą jeździ na nartach.



Mariusz Przybycień

Nagrodzona rozprawa Mariusza Przybycieńa jest tytułowana „Study of the Photon Structure at LEP” i dotyczy wyznaczania struktury elektromagnetycznej oraz

hadronowej fotonów rzeczywistych i wirtualnych przez pomiary procesów rozpraszania elektronów i pozytonów w zderzaczu LEP w CERN-ie. Autor uczestniczył w eksperymencie OPAL, w znacznej mierze przyczyniając się do uzyskania omawianych wyników. Pomiary struktury elektromagnetycznej fotonu przy zderzaczu LEP zostały przeprowadzone w celu jej porównania ze strukturą wcześniej wyznaczoną teoretycznie na podstawie elektrodynamiki kwantowej. Nie zaobserwowano żadnych odchyśleń od teorii, co wzmocniło przekonanie o poprawności wybranych procedur doświadczalnych. Tę samą metodę doświadczalną zastosowano do zbadania struktury hadronowej fotonu. W obszarze średnich Q^2 udało się zawęzić liczbę dopuszczalnych modeli do dwóch, zaś w obszarze bardzo dużych Q^2 zaobserwowano wyraźne odchylenia od teorii. Laureat przedstawił w rozprawie swoje wyniki i porównał z wynikami innych pomiarów prowadzonych przez inne grupy badawcze przy LEP-ie i innych zderzaczach e^+e^- . Widać świetną zgodność w tych samych zakresach kinematycznych. Prawdziwie pionierskim osiągnięciem Mariusza Przybycia było wyznaczenie funkcji struktury elektronu na podstawie wykonanych pomiarów. Wydaje się, że funkcja struktury elektronu może stać się praktycznym narzędziem badawczym. W rozprawie rozważono ponadto bardzo ważny z punktu widzenia teorii oddziaływań silnych proces zderzenia dwóch fotonów wirtualnych. Umożliwia to testowanie hipotezy o rozwoju kaskad partonowych. Wydaje się, że metoda jest skuteczna i będzie mogła być zastosowana w przyszłych akceleratorach. Mariusz Przybycień ma 39 lat i pracuje na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Jest absolwentem tego wydziału oraz fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Jagiellońskim. Studia doktoranckie na Wydziale Matematyki i Fizyki UJ zakończył obroną pracy „Measurement of parton diffractive structure function at HERA using the ZEUS detector”, która została wyróżniona przez Radę Wydziału.

Małgorzata Nowina Konopka

■ Nagroda Popielawskiego i Modraka

Z inicjatywy grona przyjaciół przedwcześnie zmarłych wybitnych fizykochemików utworzona została Nagroda im. Jana Popielawskiego i Piotra Modraka. Ufundowała ją Fundacja BRE-Banku w Warszawie. Celem Nagrody jest upamiętnienie osiągnięć naukowych, organizacyjnych i dydaktycznych zmarłych uczonych oraz promocja w Instytucie Chemii Fizycznej PAN badań teoretycznych przez nich uprawianych. W roku jubileuszu 50-lecia Instytutu Kapituła przyznała Nagrodę za rok 2005 Robertowi Nowakowskiemu w uznaniu wybitnych osiągnięć naukowych w badaniach dyfuzji, samoorganizacji warstw adsorbatu, reorganizacji powierzchni indukowanej adsorbentem i reakcji powierzchniowych. Poprzednio Nagrodę otrzymali: Jerzy Górecki (2000), Andrzej Lech Kawczyński (2002) i Bogdan Nowakowski (2004).

Dr inż. Robert Nowakowski rozpoczął pracę w IChF PAN w 1986 r. po ukończeniu studiów na Wydziale Fi-

zyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. W roku 1992 otrzymał stopień doktora nauk chemicznych na podstawie rozprawy – wykonanej pod kierunkiem prof. Janusza Lipkowskiego – na temat optymalizacji rozdzieleń w wysokosprawnej chromatografii cieczowej metodą symulacji komputerowej. Rozprawa ta została wyróżniona przez Radę Naukową IChF. Od roku 1994 aktywność badawcza Roberta Nowakowskiego skupia się wokół nowoczesnych metod mikroskopii tunelowej (STM) i mikroskopii sił atomowych (AFM). Od roku 2000 jest pracownikiem zorganizowanego przez prof. Popielawskiego Zakładu Dynamiki Chemicznej, obecnie kierowanego przez prof. Ryszarda Dusia. Dr Nowakowski uruchomił w IChF pierwszy w kraju komercyjny mikroskop STM/AFM. Aktywnie uczestniczy w organizacji i badaniach Pracowni Mikroskopii. W roku 2005 zakończył z sukcesem przewód habilitacyjny przed Radą Wydziału Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Wrocławskiego.

Zainteresowania Roberta Nowakowskiego skierowane są na obserwację *in situ* przebiegu różnorodnych procesów powierzchniowych i reakcji przebiegających na powierzchniach metali, w tym procesów prowadzących do samoorganizacji cienkich warstw cząsteczek organicznych na metalach, procesów tworzenia i rozkładu stopów metali, a obecnie – procesu tworzenia i rozkładu wodorków metali. W większości przypadków procesy te obserwowane są z rozdzielczością cząsteczkową lub mezoskopową i dostarczają cennych informacji o przebiegu procesów oraz zjawisk im towarzyszących. Na przykład, badania *in situ* dyfuzji cząsteczek półprzewodnika organicznego na metalach unaocniają towarzyszącą tej dyfuzji reorganizację atomów podłoża metalicznego. Ten wynik doświadczalny ma ścisły związek z pracami teoretycznymi prof. Popielawskiego nad szybkością reakcji i procesów transportowych w nierównowagowych układach chemicznych. Zainteresowania dr. Nowakowskiego obejmują również układy biologiczne. Laureat był stypendystą Fundacji Humboldta i The Royal Society. Fundacja Humboldta obdarowała go mikroskopem tunelowym, który jest wykorzystywany w Pracowni Mikroskopii. Laureat jest autorem 47 publikacji w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

Aleksander Jabłoński

■ Laughlin podnosi poziom koreańskiej uczelni

Robert Laughlin (Nagroda Nobla 1998 za teorię ułamkowego zjawiska Halla), który od paru lat jest rektorem jednego z najlepszych południowokoreańskich uniwersytetów – Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), rozpoczął energiczną kampanię, aby uczynić z tej uczelni instytucję na światowym poziomie, nie gorszą niż MIT. Pragnie doprowadzić do zwiększenia liczby studentów, a także do prowadzenia wykładów w języku angielskim (miał duże trudności, żeby namówić do tego koreańskich profesorów, dopóki nie zagwarantował im premii językowej). Udało mu się zapewnić finansowanie rozwoju uczelni. Ministerstwo edukacji Korei Płd. utworzyło specjalny fundusz wynoszący 20 miliardów

wonów (ok. 19 mln dolarów) rocznie przez najbliższych 5 lat. Jest to wprawdzie tylko ok. 10% dotychczasowego budżetu KAIST, lecz umożliwi przeprowadzenie proponowanych przez Laughlina zmian, przede wszystkim doprowadzenie do tego, aby w 2010 r. już wszystkie zajęcia dla studentów wyższych lat odbywały się po angielsku.

Laughlin ma jednak duże trudności z przekonywaniem koreańskich profesorów do współzawodnictwa w występowaniu o granty. Nie udało mu się też zapewnić dostatecznego wsparcia wielkich firm przemysłowych, np. Samsung Electronics. Energiczne dążenie do osiągnięcia tych celów nie jest przychylnie widziane przez starszych profesorów.

Science **311**, nr 5759 (2006)

B. W.

■ Jeszcze o ujemnym załamaniu

Pisaliśmy już o tym, że współczynnik załamania może być ujemny nie tylko w teorii (jak przewidział Wiktor Wiesiełago), lecz i w praktyce, co jednak wymaga sztucznych, niewystępujących w przyrodzie materiałów (Kronika 4/04). Do niedawna ujemne załamanie obserwowano tylko w tzw. metamateriałach (strukturach okresowych w postaci sieci bardzo małych obiektów, np. drucików oraz pierścieni) oraz kryształach fotonowych (dwu- lub trójwymiarowych sieciach materiałów dielektrycznych lub metalicznych).

W końcu 2005 r. międzynarodowy zespół fizyków – Andrei Pimenov i Alois Loidl z Uniwersytetu w Augsburgu, Piotr Przysławski z Instytutu Fizyki PAN w Warszawie i Bogdan Dabrowski z Northern Illinois University – wykazał doświadczalnie, że ujemne załamanie występuje także w supersieci złożonej z cienkich warstw ferromagnetyka i nadprzewodnika. Współczynnik załamania jest ujemny, gdy ujemna jest zarówno przenikalność elektryczna, jak i magnetyczna substancji. W badanym układzie warstwy nadprzewodnika wysokotemperaturowego YBCO ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$) mają ujemną przenikalność elektryczną, a nieprzewodzące warstwy ferromagnetyka LSMO ($\text{La}_{0.89}\text{Sr}_{0.11}\text{MnO}_3$) wykazują ujemną przenikalność magnetyczną w polu magnetycznym odpowiadającym rezonansowi ferromagnetycznemu.

Pomiary rezonansowe przy częstotliwości 90 MHz i w polu o indukcji ok. 3,1 T, w których mierzono przepuszczalność próbki i przesunięcie fazowe, umożliwiły autorom pracy wyznaczenie współczynnika załamania substancji i stwierdzenie, że jest on ujemny w pobliżu rezonansu. Rezonansowy charakter obserwowanych zjawisk ma tę zaletę, że znak współczynnika załamania supersieci można zmieniać, zmieniając indukcję pola magnetycznego, w którym substancja jest umieszczona.

Omawiane doświadczenie wykonano w stosunkowo silnym polu magnetycznym i w niskiej temperaturze (10 K). Autorzy mają nadzieję, że wymóg silnego pola da się usunąć przez zastąpienie ferromagnetyka antyferromagnetykiem, a wymóg niskiej temperatury – przez zastąpienie nadprzewodnika metalem o ujemnej przenikalności elektrycznej.

Omawianą pracę przedstawiono w witrynie Physics-Web jako nowość grudnia 2005 r. Supersieci LSMO/YBCO zostały wykonane w Warszawie – Piotrowi Przysławskiemu gratulujemy dotychczasowych sukcesów i życzymy dalszych.

Phys. Rev. Lett. **95**, 247009 (2005)

M. Ł.

■ Fononowe zjawisko Halla

Akustyczny odpowiednik elektrycznego zjawiska Halla został niedawno zaobserwowany przez fizyków z laboratoriów magnetycznych w Grenoble i Tuluzie. W elektrycznym zjawisku Halla pole magnetyczne przyłożone prostopadle do kierunku przepływu prądu elektrycznego powoduje, wskutek działania siły Lorentza, powstawanie napięcia elektrycznego prostopadłego do kierunków pola magnetycznego i prądu. Dotychczas panowało przekonanie, że analogiczne zjawisko nie powinno powstawać w przypadku fononowego przewodnictwa cieplnego, gdyż nie ma tu transportu ładunków związanego z rozchodzeniem się fononów. Przepływ ciepła może jednak zależeć nie tylko od przepływu swobodnych elektronów, lecz również od przemieszczania się fononów. Takie poprzeczne fononowe przewodnictwo cieplne stwierdzono w paramagnetycznym związku $\text{Tb}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$. Próbkę w temperaturze 5 K ogrzewano z jednego boku. Przyłożone pole magnetyczne kilku tesli spowodowało powstanie różnicy temperatury obu boków próbki, wprawdzie niewielkiej (ok. jednej tysięcznej stopnia), ale mierzalnej.

Phys. Rev. Letters **95**, 155901 (2006)

B. W.

■ Nowa jednostka?

Steven Weinberg (Nagroda Nobla 1979 za fundamentalny wkład w tworzenie jednolitej teorii oddziaływań słabych i silnych) zaproponował w liście do redakcji czasopisma *Physics World*, aby wielkość 10^{51} erg nazwać 1 be-the na cześć zmarłego w ubiegłym roku wielkiego fizyka Hansa Bethego. Wielkość ta jest powszechnie używana w astrofizyce (w badaniach supernowych), notabene jednej z dziedzin, w których Bethe pracował.

Propozycję Weinberga popiera Ian Mills, przewodniczący komisji ds. jednostek Międzynarodowego Komitetu Miar.

Phys. World **19**, nr 2 (2006)

B. W.

■ Więcej elektrowni jądrowych

Wysiłki zmierzające ku zmniejszeniu zawartości dwutlenku węgla w atmosferze, nacisk grup przemysłowych budujących cywilne reaktory jądrowe, a także ostatnio obawy co do płynności dostarczania energii związane z przerwami dostaw gazu z Rosji spowodowały wzrost zainteresowania uruchamianiem nowych elektrowni jądrowych.

Planuje się w ciągu najbliższych pięciu lat budowę lub unowocześnienie kilkunastu reaktorów w różnych krajach Unii Europejskiej (m.in. Wielkiej Brytanii), Indiach, Iranie, Kanadzie, Chinach, Pakistanie, Rosji, Republice

Południowej Afryki i USA. Około 16% energii elektrycznej na świecie pochodzi z reaktorów. Bierze się też pod uwagę, że ok. 80% pracujących reaktorów przemysłowych ma już ponad 15 lat. Nowe urządzenia pozwolą zastąpić stare. Nie są jednak jeszcze sprecyzowane plany bezpiecznego składowania zużytego paliwa.

Phys. Today **59**, nr 2 (2006)

B. W.

■ Prawie wszystko o IFJ

Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie, założony przez prof. Henryka Niewodniczańskiego, obchodził w roku 2005 swoje 50-lecie. Obszerny opis tych uroczystości, pióra Małgorzaty Nowiny Konopki, zamieściliśmy w poprzednim zeszycie.

Z okazji tego jubileuszu IFJ wydał obszerny tom (ponad 700 stron) wspomnień: *50 lat Instytutu Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk*. Redaktorem książki jest Andrzej Hrynkiewicz (dyrektor IFJ w latach 1969–76) wspierany przez kilkunastuosobowy Komitet Redakcyjny. Sponsorzy wydawnictwa to Polska Akademia Umiejętności, Komitet Fizyki PAN i Państwowa Agencja Atomistyki, a także dzieci Henryka Niewodniczańskiego – Justyna Blinowska oraz Jerzy i Tomasz Niewodniczańscy.

Książka to bogato ilustrowany zbiór nieraz bardzo osobistych wspomnień pracowników Instytutu, przeważnie kierowników grup badawczych. Można z niej dowiedzieć się niemal wszystkiego o IFJ: jak prof. Niewodniczański inicjował po wojnie badania w dziedzinie fizyki jądrowej na Uniwersytecie Jagiellońskim, jak powziął myśl stworzenia pozauniwersyteckiego ośrodka tych badań, jak tę myśl z wielkim rozmachem zrealizował. Znajdziemy też krótką biografię Profesora. Jego postać przewija się również we wspomnieniach starszych pracowników IFJ, można więc dowiedzieć się wiele o cechach jego charakteru. Dowiadujemy się o trudnościach przy podejmowaniu badań w różnych działach fizyki jądrowej czy jej zastosowań, ale też wiele o satysfakcji z osiągnięć. Nie pominięto kontaktów i współpracy z innymi, zagranicznymi ośrodkami.

Owocna działalność instytutu badawczego wymaga nie tylko dobrze zaplanowanych i prowadzonych na wysokim poziomie badań naukowych, lecz także posunięć politycznych (mamy np. rozdział o stosunkach IFJ z Komitetem Wojewódzkim PZPR) i sprawnie współpracującego zaplecza technicznego i administracyjnego. I o tym też znajdziemy w książce wiele relacji.

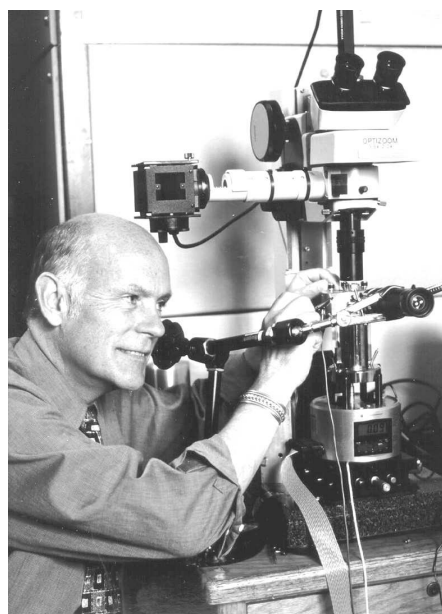
Są wreszcie wspomnienia o kilkunastu zmarłych pracownikach, których osiągnięcia naukowe walczyły przyczyniły się do uzyskania przez IFJ dzisiejszego wysokiego statusu.

B. W.

■ Richard Smalley (1943–2005)

28 października 2005 r. zmarł w Houston Richard Erret Smalley, współodkrywcą nowej postaci węgla – cząsteczek C_{60} .

Urodzony 6 czerwca 1943 r. w stanie Ohio, Smalley studiował chemię na University of Michigan, doktorat uzyskał na Princeton University. W roku 1960 został profesorem fizyki Uniwersytetu Rice'a w Teksasie. W 1985 r. odwiedził go tam Harry Kroto, by wspólnie prowadzić doświadczenia nad odparowywaniem grafitu za pomocą lasera. Analiza wyników wykazała, że wytworzyły się nadzwyczaj trwałe cząsteczki węgla o 60 atomach. Smalley doszedł do wniosku, że muszą one tworzyć struktury dwudziestościanu ściętego o ścianach w postaci 12 pięciokątów i 20 sześciokątów foremnych, podobne do piłki futbolowej. Struktury te nazwał Smalley *buckminsterfullerenes*, gdyż przypominały kopułę konstrukcji amerykańskiego architekta Williama Buckminster Fullera. Później przyjęło się nazywać je fulerenami. W tych pierwszych pracach brał również udział Robert Curl, student Smalleya. Ich odkrycie zapoczątkowało zupełnie nową dziedzinę – fizykochemię fulerenów. Smalley, Kroto i Curl otrzymali za to w 1996 r. Nagrodę Nobla z chemii.



Richard Smalley

W późniejszych latach głównym zainteresowaniem Smalleya stała się nanotechnologia. Uważał, że jej rozwój powinien doprowadzić do znacznego obniżenia kosztów uzyskiwania energii ze źródeł niekonwencjonalnych.

Phys. World **18**, nr 12 (2005)

B. W.

Nauki Przyrodnicze na Scenie 2

W dniach 22–23 września 2006 r. na Wydziale Fizyki UAM w Poznaniu odbędzie się Ogólnopolski Festiwal „Nauki Przyrodnicze na Scenie 2”. Jest on kontynuacją festiwali ogólnopolskich „Fizyka na Scenie” i „Nauki Przyrodnicze na Scenie 1” oraz festiwali europejskich „Physics on Stage” i „Science on Stage 1”.

Europejski Festiwal „Science on Stage 2” (SOS 2) odbędzie się w dniach 2–6 kwietnia 2007 r. w Grenoble. Jest on organizowany jest przez EIROforum (European Intergovernmental Research Organisations Forum), powstałą w 2002 r. grupę siedmiu wielkich laboratoriów naukowych UE, którą tworzą:

- CERN (Europejskie Centrum Badań Jądrowych),
- ESA (Europejska Agencja Kosmiczna),
- ESO (Europejskie Obserwatoria Południowe),
- EMBL (Europejskie Laboratorium Biologii Molekularnej),
- EFDA (Europejskie Stowarzyszenie Rozwoju Syntezy Termojądrowej),
- ESRF (Europejskie Laboratorium Promieniowania Synchrotronowego),
- ILL (Instytut Lauego–Langevina).

Zaangażowanie się tych laboratoriów w organizację festiwalu skierowanego głównie do nauczycieli i uczniów świadczy o wadze, jaką przywiązują one do popularyzacji nauk przyrodniczych wśród młodego pokolenia.

Festiwal SOS 2 stanowi dla nauczycieli i uczniów polskich szkół ponadpodstawowych wielką szansę skorzystania z oferty współpracy z grupą EIROforum i nauczycielami przedmiotów przyrodniczych z całej Europy w upowszechnianiu osiągnięć nauk przyrodniczych.

Wiodącym tematem poznańskiego festiwalu i festiwalu SOS 2 jest pokazanie związków fizyki z innymi naukami przyrodniczymi i ich wpływu na nowe technologie.

Do udziału w Ogólnopolskim Festiwalu „Nauki Przyrodnicze na Scenie 2” zapraszamy nauczycieli i uczniów szkół ponadpodstawowych, dydaktyków fizyki z wyższych uczelni oraz popularyzatorów fizyki i nauk przyrodniczych z całej Polski. Zgłoszenia należy dokonać do 3 czerwca 2006 r. na karcie zgłoszeń, która wkrótce pojawi się na stronie internetowej festiwalu – <http://main.amu.edu.pl/~fizscena> – na której można też znaleźć pełną informację o festiwalu.

Występy oceniane będą w trzech kategoriach:

- demonstracje zjawisk,
- działania artystyczne związane z fizyką i naukami przyrodniczymi (przedstawienia teatralne, fotografie, rysunki, wiersze itp.),
- pokazy multimedialne z zakresu nauk przyrodniczych (strony internetowe, prezentacje, animacje).

VI OGÓLNOPOLSKI KONKURS NA DOŚWIADCZENIE POKAZOWE Z FIZYKI

Pokazowe doświadczenia stanowią jeden z filarów dobrego kształcenia w zakresie fizyki na każdym poziomie nauczania. Twórców takich demonstracji, od ucznia gimnazjum do profesora uniwersytetu, zapraszamy do konkursu organizowanego przez Oddział Krakowski Polskiego Towarzystwa Fizycznego przy współudziale Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH oraz Instytutu Fizyki UJ. W ocenie projektów liczyć się będzie nowatorstwo pomysłu, wartość dydaktyczna i sposób wykonania.

Termin nadsyłania zgłoszeń upływa dnia 20 czerwca 2006 r. Finał Konkursu odbędzie się w Krakowie 28 września, w czasie trwania Jarmarku Fizycznego 2006.

Zgłoszenia kierować pocztą elektroniczną lub zwykłą na adres: prof. Andrzej Zięba, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; zieba@novell.ftj.agh.edu.pl.

Na stronie www.ptf.agh.edu.pl/konkurs dostępne są wiadomości bieżące oraz informacja o poprzednich edycjach Konkursu.

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2006 r. wynosi 36,00 zł za pół roku, 72,00 zł za rok. Prenumeratę przyjmują:

I. „RUCH” S.A.

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

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

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

II. ZARZĄD GŁÓWNY PTF

Wpłaty należy dokonać na konto Zarządu Głównego PTF w PKO BP IX O/Warszawa nr 19 1020 1097 0000 7802 0001 3128 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową pod wskazany adres.

III. ODDZIAŁY PTF

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

Dostępne są również zeszyty archiwalne – prosimy o kontakt z redakcją.

INFORMACJE DLA AUTORÓW

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

REKLAMA W POSTĘPACH FIZYKI

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

POSTĘPY FIZYKI (ADVANCES IN PHYSICS)

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

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

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

NOWE KSIĄŻKI

- Owen Gingerich, James MacLachlan, *Mikołaj Kopernik – gdy Ziemia stała się planetą*, z jęz. angielskiego tłum. Jarosław Włodarczyk; Wyd. Wyższa Szkoła Humanistyczna, Pułtusk 2005, s. 141.
- Bożena Jasińska, *Badanie ośrodków porowatych metodą anihilacji pozytonów*, Wyd. UMCS, Lublin 2005, s. 130.
- Bernard Ziętek, *Optoelektronika*, wyd. rozszerzone i poprawione; Wyd. UMK, Toruń 2005, s. 615.
- Jarosław Włodarczyk, *Księżyc w nauce XVII wieku*, Wyd. UW, Warszawa 2005, s. 175.
- Abraham Pais, *Tu żył Albert Einstein*, z jęz. angielskiego tłum. Marek Krośniak; Prószyński i S-ka, Warszawa 2005.
- Donald A. McQuarrie, *Matematyka dla przyrodników i inżynierów*, z jęz. angielskiego tłum. Anna Zatorska-Goldstein i Paweł Goldstein; PWN, Warszawa 2006, t. III, s. 274.

POSTĘPY FIZYKI W INTERNECIE

Zapraszamy do odwiedzania naszej strony internetowej

<http://postepy.fuw.edu.pl>, gdzie można znaleźć:

- szczegółowe spisy treści wszystkich zeszytów wydanych od 1993 r.,
- archiwum zawierające spisy treści *PF* z lat 1949–1992,
- materiały dodatkowe, uzupełniające treść niektórych artykułów,
- materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku w 1999 r. i XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich w Toruniu w 2001 r.
- WYBRANE ARTYKUŁY W FORMACIE PDF, w tym wykłady noblowskie z lat 2001–04.

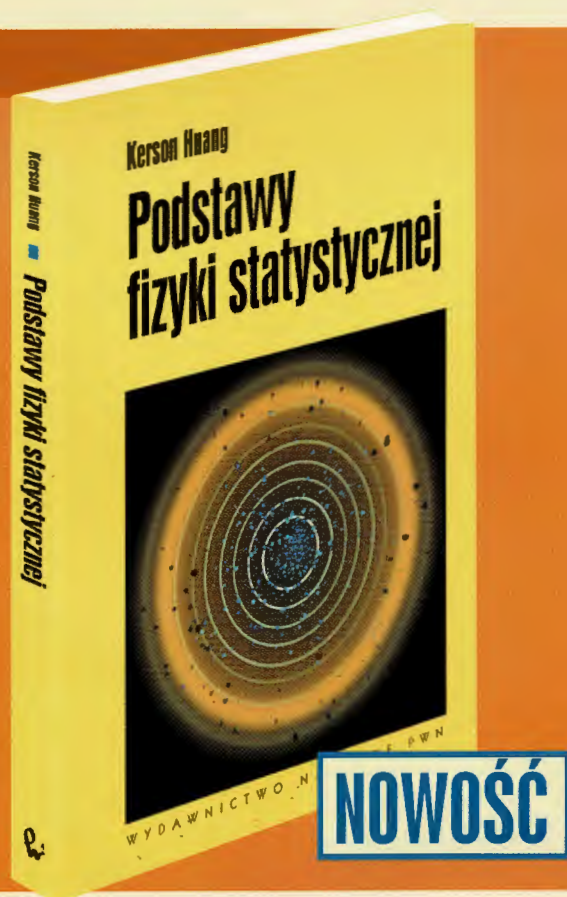
WKRÓTCE W POSTĘPACH

Teksty wybranych wykładów z XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie w 2005 roku, w tym:

- Ryszard Tanaś – *Kwantowe splątanie dwóch atomów*
- Elżbieta Zipper – *Niezwykłe własności nanorurek węglowych*
- Michał Heller – *Einstein, Wszechświat i my*
- Tadeusz Domański – *Nadprzewodniki: nowe fakty i teorie*
- Zdzisław Burda – *Fizyka i zarządzanie ryzykiem finansowym*

Podstawy fizyki statystycznej

Kerson Huang



Fizyka statystyczna w ujęciu doświadczonego dydaktyka!

Książka powstała jako zapis wykładu z fizyki statystycznej, prowadzonej przez Autora, dzięki czemu jej konstrukcja ma bardzo dużą wartość dydaktyczną. Każdy rozdział zawiera zwięzłą, ale dokładną prezentację danego zagadnienia, a na końcu zadania i problemy do rozwiązania pozwalające na ugruntowanie zdobytej wiedzy i pełne jej zrozumienie. Niewątpliwą zaletą jest zamieszczony na końcu dodatek matematyczny, w którym podane są zagadnienia matematyczne, leżące u podstaw prowadzonych w książce dowodów oraz wykaz literatury.

- Dla studentów wydziałów fizyki, astronomii, inżynierii materiałowej, chemii, wykładowców i pracowników naukowych.

Podręcznik zawiera podstawowe wiadomości z fizyki statystycznej wyłożone w bardzo przystępny sposób.

W kolejnych rozdziałach opisano:

- zagadnienia związane z termodynamiką
- kinetyczną teorię gazów doskonałych
- gaz Fermiego i gaz Bosego
- rozkład kanoniczny i wielki rozkład kanoniczny
- procesy stochastyczne
- zjawiska transportu
- kondensację Bosego-Einsteina
- nadciekłość i szum.

blaty optyczne
systemy antywibracyjne
ScienceDesk (TM)
profile konstrukcyjne
układy klatkowe
optomechanika



sprzęgacze światłowodowe
stoliki przesuwne
układy 3,4,5,6-osiowe
sterowniki mikro -
i nanoprzepływu
siłowniki:
piezo, mikrostep i mieszane
rozdzielczość do 20 nm
zakres ruchu do 400 mm



detektory
mierniki mocy
kamery CCD
spektrometry
polarymetry
interferometry przestrajalne
czopery optyczne
generatory opóźnień
oświetlacze halogenowe
układy testowania optyki
OpticStudio (TM)



soczewki, zwierciadła i filtry
diody laserowe
lasery He-Ne
światłowodowy i akcesoria
włókna aktywne
fotoniczne układy
pasywne i aktywne
lasery diodowe i
światłowodowe
sterowniki laserów i TEC
lasery femtosekundowe
przestrajalne lasery VIS i IR
źródła białe
wielokanałowe źródła WDM
wzmacniacze optyczne IR



Eurotek International Sp. z o. o. (od 1992 r.)
Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
Tel./faks: (22) 843 79 40 / 843 61 43,
inbox@eurotek.com.pl