

POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



Andrzej Graja

Organiczne ogniwa słoneczne

Józef Spałek

Kot czy kod Schrödingera?

Na marginesie rocznicy fundamentalnego odkrycia

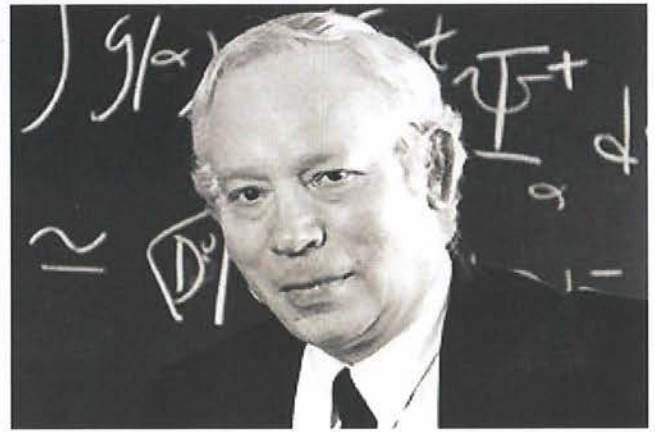
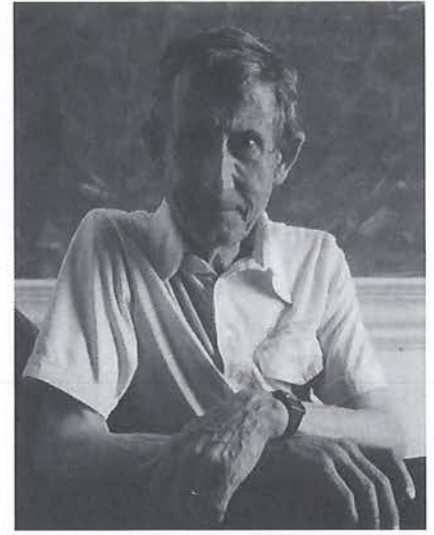
Ludwik Kowalski

Spór stulecia: kontrowersja wokół zimnej fuzji

Stwórca lubi fizyków

Z profesorem Iwo Białynickim-Birulą
rozmawiał Piotr Tomczak





R E K L A M A

Skraplarka helu w Twoim Laboratorium

**Czy ciekły hel jest zbyt drogi?
Czy podczas pracy tracisz to cenne medium?**

Porozmawiaj z nami, Mamy dobre rozwiązanie!

Ciekły hel w każdej chwili z ATL (Advanced Technology Liquefier)

Podstawowe cechy systemu:

- W pełni przenośny
- Łatwy w użyciu
- Zautomatyzowany proces odzysku helu
- Wydajność do 22 litrów ciekłego helu dziennie
- Niskie zużycie energii



Recycling helu

- Modułowy system odzysku helu dostosowany do potrzeb użytkownika
- Gromadzenie, przechowywanie i oczyszczanie helu



Informacje dla autorów. Czekamy na przystępnie napisane artykuły przeglądowe i monograficzne. Układ pracy (tytuł, autor, afiliacja, streszczenie po polsku, tytuł angielski, streszczenie po angielsku, słowa kluczowe polskie i angielskie, tekst, odnośniki literaturowe, podpisy pod ilustracjami itd.) powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły w ostatnich zeszytach). Prace złożone w systemie TEX (Microsoft Office, OpenOffice) z ilustracjami o rozdzielczości co najmniej 300 dpi w osobnych plikach prosimy nadsyłać e-mailem pod adresem postepy@amu.edu.pl albo ptomczak@amu.edu.pl. Prace są recenzowane. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania tekstów, ich opracowywania oraz niezbędnych zmian terminologicznych. Autorzy powinni wykonać korektę autorską złożonego artykułu. Publikowanie w *Postęпах Fizyki* wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem utworu autorskiego na stronie *Postępów Fizyki* na podstawie licencji Creative Commons.

Prenumeratę dla osób/institucji niebędących członkami PTF prowadzi Ruch (<http://www.prenumerata.ruch.com.pl>).

Avances in Physics founded in 1949 is the magazine of the Polish Physical Society, addressed to the Polish community of physicists. Published bimonthly in Polish. For a subscription information visit www.prenumerata.ruch.com.pl.

Okladka:

1. Korona Słońca. Zdjęcie wykonane przez profesora Miloslava Druckmüllera na Atolu Tatakoto (Polinezja Francuska, 11 lipca 2012 roku). Published with Permission. © Miloslav Druckmüller, Martin Dietzel, Shadia Habbal, Vojtech Rusin.
2. Od góry od lewej: Murray Gell-Mann i Richard P. Feynman, Julian Schwinger, Freeman Dyson, Leopold Infeld, Wojciech Rubinowicz, Steven Weinberg.
4. Zaćmienie Słońca. Zdjęcie wykonane 20 maja 2012 w Red Bluff w Californii. Autor: Brocken Inaglory (wikimedia).



LOT-QuantumDesign Polska
www.lot-qd.pl

☎ +48 32 248 20 48, ✉ info@lot-qd.pl



RADA REDAKCYJNA

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

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

REDAKCJA

Józef Barnaś
Maria Marciniak (sekretarz redakcji)
Piotr Tomczak (redaktor naczelny)

ADRES REDAKCJI

Wydział Fizyki UAM
ul. Umultowska 85
61-614 Poznań
postepy@amu.edu.pl

KORRESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Anna Go (Białystok)
Aleksandra Wronkowska (Bydgoszcz)
Wojciech Gruhn (Częstochowa)
Tomasz Jarosław Wąsowicz (Gdańsk)
Roman Bukowski (Gliwice)
Beata Kozłowska (Katowice)
Aldona Kubala-Kukuś (Kielce)
Małgorzata Nowina Konopka (Kraków)
Elżbieta Jartych (Lublin)
Michał Szanecki (Łódź)
Halina Pięta (Opole)
Maria Połomska (Poznań)
Małgorzata Pociąg (Rzeszów)
Anna Kamińska (Słupsk)
Janusz Typek (Szczecin)
Winicjusz Drozdowski (Toruń)
Aleksandra Miłosz (Warszawa)
Bernard Jancewicz (Wrocław)
Lidia Najder-Kozdrowska (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE**ZARZĄD GŁÓWNY**

Wiesław A. Kamiński (prezes), Bohdan Grząd-
kowski (sekretarz generalny), Piotr Rączka
(skarbnik), Mariusz P. Dąbrowski, Jacek P. Goc,
Zofia Gołąb-Meyer, Jerzy Warczewski (członko-
wie wykonawczy), Jacek M. Baranowski, Maria
Dobkowska, Henryk Figiel, Bernard Jancewicz,
Stefan Kruszewski, Andrzej Ślebarski, Andrzej
Zięba, Elżbieta Zipper (członkowie)

ADRES ZARZĄDU

ul. Hoża 69,
00-681 Warszawa,
tel. (22) 621 26 68

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW

Krzysztof Szymański (Białystok), Stefan Krus-
zewski (Bydgoszcz), Ewa Mandowska (Czę-
stochowa), Jarosław Rybicki (Gdańsk), Marcin
Miczek (Gliwice), Wiktor Zipper (Katowice),
Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Krzysztof
Fiałkowski (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Tade-
usz Wibig (Łódź), Stanisław Waga (Opole), Ali-
na Dudkowiak (Poznań), Marian Kuźma (Rze-
szów), Włodimir Tomin (Słupsk), Mariusz Dą-
browski (Szczecin), Janusz Szatkowski (Toruń),
Mirosław Karpierz (Warszawa), Antoni Mituś
(Wrocław), Cao Long Van (Zielona Góra)

Czasopismo ukazuje się od 1949 roku

Dofinansowanie wszystkich zeszytów w roku 2013:
Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Korekta: Barbara Kostrzewska (*bystreoko.pl*)

Skład i łamanie: TeXtura (*dtp-art.pl*)

Druk i oprawa: Moś i Luczak, Poznań

Nakład: 800 egzemplarzy

ISSN 0032-5430

Szanowni Państwo, drodzy Czytelnicy Postępów Fizyki

Jest to piąty numer *Postępów Fizyki*, który przygotowałem dla Pań-
stwa. Rozpoczynając, byłem pełen entuzjazmu, jednak w miarę upły-
wu czasu opóźnienie w wydawaniu kolejnych numerów zwiększało
się: okazało się, że zadanie, którego się podjąłem, ma dwa oblicza.
Otóż z jednej strony jestem zmuszony odmawiać publikowania, na-
tomiasz z drugiej strony przypominać potencjalnym autorom o tym,
że kiedyś zgodzili się coś napisać dla *Postępów*.

Byłbym niepoprawnym idealistą, gdybym sądził, że redakcja bę-
dzie zasypywana znakomitymi tekstami. Niemniej skala wstrzemięź-
liwości jest zastanawiająca.

Na początku zwróciłem się z prośbą do Korespondentów, aby in-
formowali o ciekawych wydarzeniach w swoich ośrodkach. Nieste-
ty, kronika jest nadal bardzo uboga. Powtórnie więc zachęcam Kore-
spondentów do współredagowania *Postępów* – kronika będzie kiedyś
miejszem cennych informacji o naszym środowisku.

W bieżącym numerze znajdą Państwo, między innymi, inspiro-
wujący wywiad z profesorem Iwo Białynickim-Birulą. Pod koniec pro-
fesor stwierdza: „choć przed wojną PTF nie miało pieniędzy, to jego
ranga była ogromna”. Czy możliwy jest powrót do takiej sytuacji? Za-
praszam do lektury.

Piotr Tomczak

Organiczne ogniwa słoneczne 2

A. Graja

**Kot czy kod Schrödingera? Na marginesie rocznicy
fundamentalnego odkrycia 12**

J. Spałek

Spór stulecia: kontrowersja wokół zimnej fuzji 17

L. Kowalski

Stwórca lubi fizyków – rozmowa z profesorem

Iwo Białynickim-Birulą 21

Rozmawiał P. Tomczak

**Jubileusz profesora Krzysztofa Parlińskiego – 2-tomowa
monografia, konferencja, przyjaciele 28**

M. Nowina Konopka

Wspomnienie o Zyguncie Ajduku 32

S. Pokorski

**Profesor Michael Kasha: fizykochemik, biofizyk i muzyk –
człowiek renesansu 39**

J. Heldt

Koło fortuny 44

A. Go

Nominacje profesorskie 45**Recenzja książki Theory of Nuclear Fission 48**

M. Budzyński

Organiczne ogniwa słoneczne

Andrzej Graja

Instytut Fizyki Molekularnej PAN, Poznań

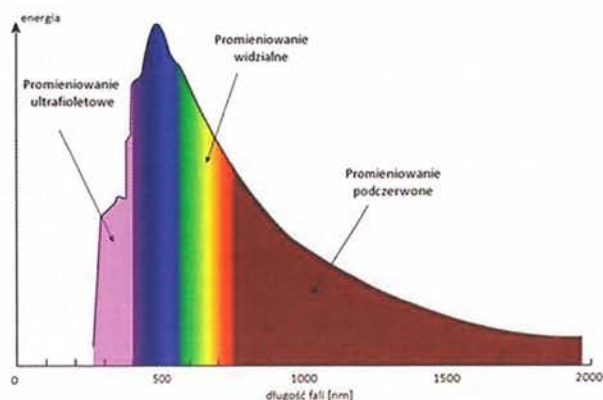
Streszczenie. Opracowanie nowych, dogodnych metod syntezy materiałów fotoaktywnych i zastosowanie najnowszych rozwiązań technologicznych pozwala na wytwarzanie coraz efektywniejszych organicznych ogniw słonecznych. Niniejszy artykuł przeglądowy prezentuje istotne problemy organicznych ogniw słonecznych. Omówiono w nim m.in. krótką historię organicznych komórek słonecznych, podstawy fizyczne ich działania, budowę ogniw słonecznych, morfologię heterozłącz, najważniejsze materiały fotoaktywne i perspektywy energetyki solarnej. Celem tego artykułu jest też pokazanie, jak znajomość struktury materiałów przyczynia się do lepszego zrozumienia działania ogniw i jak wiąże się ona z budowaniem efektywniejszych urządzeń przetwarzających światło w energię elektryczną.

Wstęp

Międzynarodowa Agencja Energii w roku 2011 opublikowała oświadczenie stwierdzające, że „wykorzystanie niewyczerpywalnej i czystej energii słonecznej będzie miało ogromne i długoterminowe korzyści. Zapewni to bezpieczeństwo energetyczne krajów wykorzystujących lokalne, niewyczerpywalne i przede wszystkim niezależne od importu zasoby, wzmocni ich stabilność, zmniejszy zanieczyszczenie, zminimalizuje koszty łagodzenia zmian klimatycznych i obniży ceny tradycyjnych paliw. Te zalety energii słonecznej mają charakter globalny” [1]. Takie stanowisko Agencji jest w pełni zrozumiałe i uzasadnione, jeśli uzmysłowimy sobie, jak wielkie zasoby energii tkwią w Słońcu i jak niewielki ich procent jest wykorzystywany w energetyce.

Promieniowanie słoneczne obejmuje szeroki zakres widmowy – od promieni X aż po fale radiowe. 44% energii emitowanej przez Słońce przypada na zakres widzialny (380–780 nm) promieniowania elektromagnetycznego (ryc. 1). Powyżej atmosfery ziemskiej średnia gęstość mocy promieniowania słonecznego przypadającego na jednostkę powierzchni jest bliska $1,361 \text{ kW/m}^2$ [2], natomiast na powierzchni Ziemi maleje ona do około $1,12\text{--}1 \text{ kW/m}^2$. Jest to równoważ-

ne energii $19,52 \text{ kcal/m}^2$ albo $81,672 \text{ kJ/m}^2$ dostarczanej powierzchni Ziemi w każdej minucie. Całkowita energia słoneczna absorbowana przez atmosferę ziemską, oceany oraz lądy wynosi około $3,85 \cdot 10^{24} \text{ J}$ rocznie [3]. O tym, jak wielka jest to energia, może świadczyć to, że jest ona dwukrotnie większa niż energia kiedykolwiek wytworzona przez świat metodami konwencjonalnymi [3].



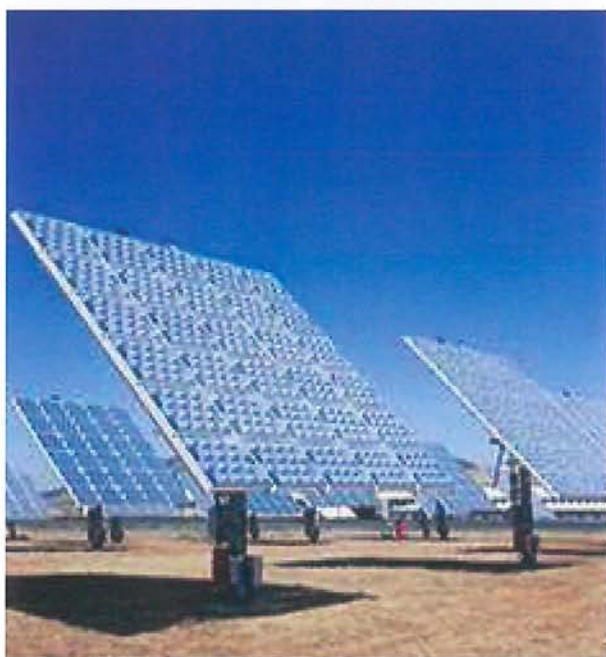
Ryc. 1. Widmo promieniowania słonecznego (źródło: Internet)

Z naszego punktu widzenia ważne jest, że 1 m^2 powierzchni ziemskiej otrzymuje średnio ze Słońca będącego w zenicie 527 W promieniowania podczerwonego, 445 W promieniowania widzialnego i około

32 W ultrafioletu. Promieniowanie słoneczne jest podstawowym źródłem energii niezbędnej w fotosyntezie, a więc w procesie fundamentalnym dla wszelkich istot żyjących na Ziemi i mających w swych komórkach chlorofil lub podobny związek zdolny do przemiany energii światła w inną formę. Najczęściej substratami fotosyntezy są dwutlenek węgla i woda, produktem – węglowodany i tlen, a źródłem energii – Słońce. Innymi słowy, fotosynteza polega na przemianie energii światła w energię chemiczną.

1. Pierwsze ogniwa słoneczne

Fotosynteza – ten z pozoru prosty proces przemiany energii z jednej formy w drugą – zainspirowała badaczy, którzy już w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku próbowali wykorzystać energię światła emitowanego przez Słońce do wytwarzania energii elektrycznej na większą skalę. Pierwszego, ale jakże ważnego odkrycia przybliżającego współczesne wykorzystanie efektu fotowoltaicznego do wytwarzania energii elektrycznej dokonali naukowcy z Bell Laboratories w roku 1953. Gerard Pearson wraz z Calvinem Fullerem, eksperymentując ze specjalnie przygotowanym krzemem, zauważyli, że po naświetleniu próbki światłem słonecznym na elektrodach pojawia się napięcie pięciokrotnie wyższe niż generowane w selenie w podobnych warunkach [4]. Już po roku Bell Laboratories pokazały światu pierwszą nieorganiczną komórkę słoneczną zdolną dawać rozsądną ilość energii. Konstruktorów ogniw słonecznych znajdujemy też w Pentagonie. W roku 1955 rząd amerykański ujawnił zamiar wystrzelenia



Ryc. 2. Typowa farma solarna zbudowana na terenach pustynnych (źródło: Internet)

satelity z prototypem krzemowych ogniw słonecznych [4]. Kilkadziesiąt lat później przeróżne ogniwa i baterie słoneczne stały się liczącymi się tzw. odwracalnymi źródłami energii.

Fotoogniwa słoneczne wytwarzane są z materiałów półprzewodnikowych, najczęściej z krzemu, germanu lub selenu. Zwykle, klasyczne ogniwo słoneczne daje nominalne napięcie ok. 0,5 V – takie ogniwa można łączyć w baterie, w zależności od potrzeb.



Ryc. 3. Farma solarna w Les Mées (Alpes de Haute Provence, Francja) (źródło: Internet)

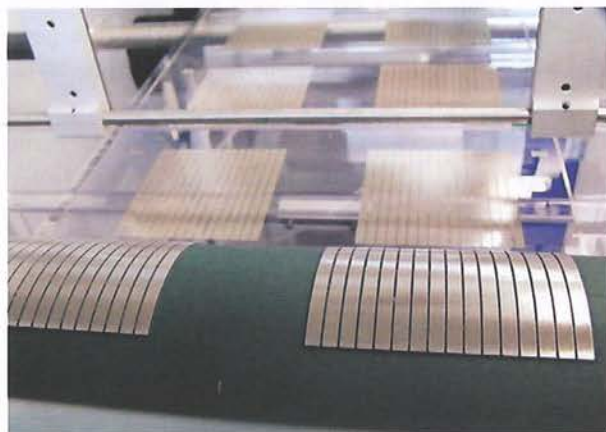
W pierwszej dekadzie bieżącego stulecia nastąpił gwałtowny wzrost produkcji baterii słonecznych. Niekwestionowanym światowym liderem stały się Chiny, które już w roku 2010 wyprodukowały panele słoneczne o łącznej mocy 13 GW; stanowiło to wówczas około połowy globalnej produkcji urządzeń tego typu. W wielu krajach europejskich powstały ogromne farmy solarne wytwarzające energię elektryczną na potrzeby ludności (ryc. 2). Wśród krajów europejskich liderem są Niemcy [5]. Pracuje tam wiele dużych elektrowni słonecznych; farma solarna w Sonftenbergu zbudowana jest z 333 000 paneli wytwarzających prąd elektryczny o mocy około 78 MW. Wiele elektrowni słonecznych pracuje też we Francji. Przykładowo jesienią 2011 roku w Les Mées (Alpes de Haute Provence, ryc. 3) uruchomiono pierwszy etap parku solarnego zbudowanego z 112 000 paneli na powierzchni 70 ha, wytwarzającego 31 MW dla około 12 000 gospodarstw domowych. Docelowo ta inwestycja będzie trzykrotnie większa [5]. Można się spodziewać, że udział energetyki solarnej w światowej produkcji energii elektrycznej będzie szybko rósł, wykorzystując na razie ogniwa nieorganiczne.

2. Dlaczego nieorganiczne ogniwa słoneczne chcemy zastąpić ogniwami organicznymi?

Wspomniane wyżej informacje o ogniwach słonecznych dotyczą układów klasycznych, czyli zbudowa-

nych z półprzewodników nieorganicznych. Baterie słoneczne tego typu dość dobrze „zadomowiły” się w sektorze energetycznym, bo mają niezaprzeczalne zalety w porównaniu z powszechnie używaną technologią wykorzystującą węgiel i inne paliwa kopalne. Poważną wadą tych ostatnich jest ogromne zanieczyszczenie środowiska, nie mówiąc o drobniejszych niewygodach związanych np. z hałasem i zapyleniem wokół elektrowni. Wydajność konwersji światła w energię elektryczną jest zależna od rodzaju baterii, ale zwykle mieści się między 20 a 28%. Tych wad nie mają elektrownie solarne. Ich ogromną zaletą jest praca niezagrażająca czystości środowiska i to na wszystkich etapach procesu – począwszy od produkcji materiałów i paneli słonecznych, a na konwersji energii słonecznej w elektryczną kończąc.

Niestety, wydajność energetyczna najlepszych ogniw organicznych nie przekracza obecnie 11% [6], choć przewiduje się, że w niedalekiej przyszłości może ona wzrosnąć do ok. 15%. Prognozuje się również, że trwałość takich paneli pozwoli na ich dziesięcioletnią nieprzerwaną pracę. Dlaczego więc najlepsze laboratoria świata tak intensywnie pracują nad udoskonaleniem organicznych ogniw słonecznych? Bardzo ważną ich zaletą jest duża łatwość modyfikowania chromoforów używanych do ich wytwarzania. Chromoforami tymi są zazwyczaj pospolite barwniki, np. porfiryne bądź ftalocyjaniny albo odpowiednie polimery. Właściwości tych molekuł można łatwo modyfikować i dostosowywać do potrzeb – albo podstawiając je odpowiednimi podstawnikami, albo zmieniając centralny atom metalu w metaloporfirynach lub metaloftalocyjaninach. Te procedury chemiczne są nie tylko stosunkowo łatwe, ale przede wszystkim tanie i przyjazne środowisku. W przeciwieństwie do półprzewodników nieorganicznych, do syntezy materiałów organicznych nie używa się wysoce szkodliwych związków metali ciężkich. W efekcie



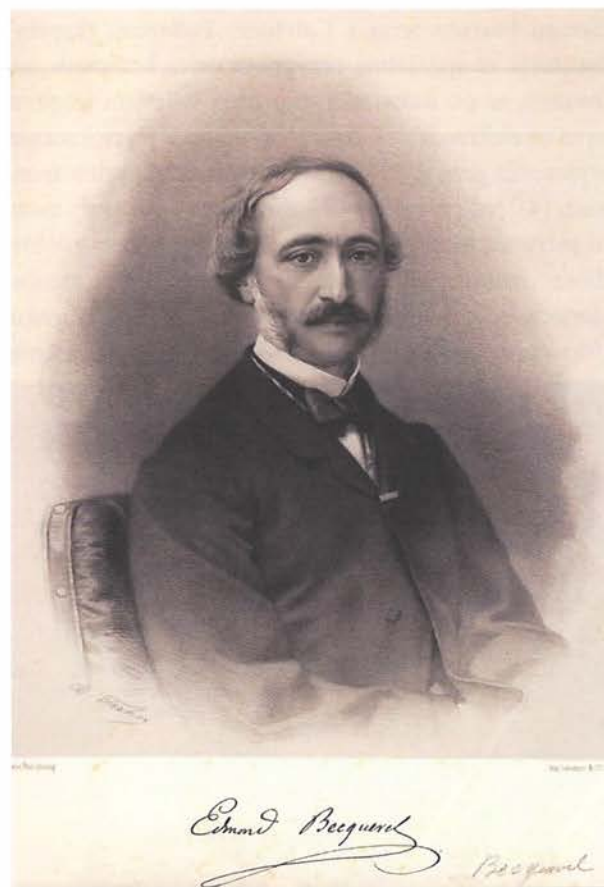
Ryc. 4. „Drukowanie” organicznych ogniw słonecznych na elastycznej folii (źródło: Internet)

organiczne ogniwa i baterie słoneczne są tanie; szacuje się, że koszt ich nie przekracza 1 EUR/1 W wytwarzanej energii elektrycznej. Trzeba dodać, że parametry ogniw organicznych, takie jak napięcie U_{oc} i maksymalny prąd I_{sc} , są zbliżone do tych dla ogniw nieorganicznych.

Największą, wręcz unikalną właściwością organicznych ogniw słonecznych jest możliwość drukowania elastycznych ogniw na urządzeniach podobnych do powszechnie znanych drukarek atramentowych (ryc. 4). Ta łatwa i tania technologia pozwala wytwarzać organiczne ogniwa słoneczne dowolnego kształtu, rozmiaru i na dowolnych, w tym elastycznych podłożach [7, 8].

3. Początki fotowoltaiki organicznej

Efekt fotowoltaiczny po raz pierwszy był obserwowany w selenie przez A. E. Becquerela, który w roku 1839, mając zaledwie 19 lat, eksperymentował w laboratorium swego ojca [9]. Alexandre-Edmond Becquerel (ryc. 5)

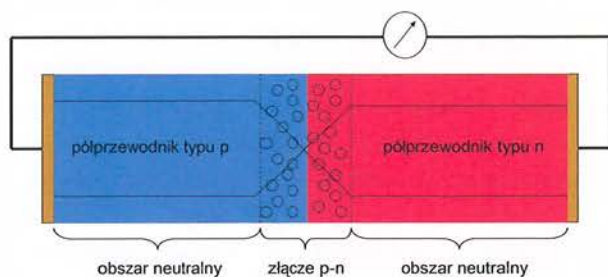


Ryc. 5. Alexandre-Edmond Becquerel (1820–1891)
(źródło: Internet)

był francuskim uczonym, którego badania przyczyniły się do lepszego poznania widma słonecznego; interesował się też optyką, magnetyzmem, fotografią i elek-

trycznością. Szczególnie ważne są jego prace nt. luminescencji i fosforescencji. Jako pierwszy zmierzył temperaturę za pomocą ogniwa termoelektrycznego i odkrył chlorek srebra jako fotoczuły materiał używany w dagerotypii [10].

Po 120 latach, w roku 1959, Kallmann i Pope zaobserwowali efekt fotowoltaiczny w kryształach organicznych – antracenie [11]. Monokryształ tego węglowodoru aromatycznego umieszczono pomiędzy identycznymi elektrodami i oświetlono z jednej strony. Później podobny efekt obserwował Martin Pope wraz ze współpracownikami w układzie tetracen–woda. Wyjaśnienie tych obserwacji, podane przez autorów, okazało się niepełne. Zadowalającą interpretację zjawisk zachodzących w materiałach organicznych pomiędzy symetrycznymi elektrodami podał Gregg na podstawie swych doświadczeń z krystaliczną porfiryką [12]. Zwrócił on również uwagę na istotną różnicę między klasyczną komórką nieorganiczną ze złączem p–n a układem organicznym. W tym pierwszym fonony o energii większej niż szerokość przerwy energetycznej półprzewodnika generują mobilną parę elektron–dziura, dysocjującą na złączu p–n. W konsekwencji nośniki są przestrzennie rozdzielone, a fotoindukowany potencjał chemiczny kieruje je w przeciwnych kierunkach.



Ryc. 6. Nieorganiczne złącze p–n w równowadze termicznej, oświetlone promieniowaniem słonecznym. Zaznaczono elektrony i dziury, a strefy naładowane dodatnio i ujemnie na czerwono i niebiesko, odpowiednio; pokazano też przepływ prądu generowanego światłem

Elektrony trafiają do obszaru n, natomiast dziury do obszaru p. Ponieważ te rozdzielone nośniki są nośnikami nadmiarowymi o nieskończenie długim czasie życia, oświetlone złącze działa jak ogniwo elektryczne [13]. Ogniwo słoneczne zbudowane z półprzewodników organicznych działa na zupełnie innej zasadzie.

4. Fizyczne podstawy działania organicznych ogniw słonecznych

Zjawiska zachodzące w organicznych półprzewodnikach są gorzej opisane i mniej jasne niż w materiałach nieorganicznych [14]. W obydwu półprzewodni-

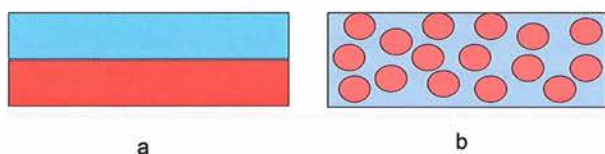
kach absorpcja fotonów powoduje generację ekscytonu. Energia wiązania ekscytonu w materiałach nieorganicznych jest porównywalna z kT (3 meV), natomiast w materiałach organicznych jest rzędu kilkuset meV. Tak więc energia termiczna w półprzewodnikach nieorganicznych, w warunkach normalnych, jest wystarczająca do spontanicznej separacji ładunków i utworzenia ekscytonu, natomiast w półprzewodnikach organicznych zjawisko jest bardziej skomplikowane. Tutaj ekscyton dyfunduje do interfejsu między donorem elektronów i akceptorem z wystarczającym nadmiarem energii, by nastąpiła separacja ładunków na elektron i dziurę. Dwa rozdzielone ładunki mogą migrować do odpowiednich elektrod. Ten mechanizm konwersji energii światła w energię elektryczną ilustruje schematycznie ryc. 6.

Rzeczą podstawową jest, aby szczelina energetyczna ekscytonu, czyli szczelina optyczna między HOMO i LUMO półprzewodnika, była dopasowana do energii fotonów. Jeśli szczelina optyczna albo energia wiązania pary elektron–dziura jest większa niż energia padających fotonów, nie mogą one spowodować fotogeneracji ekscytonów, natomiast gdy energia padającego fotonu jest wyraźnie większa niż szczelina optyczna, nadmiar energii jest tracony na inne procesy, np. na ciepło – w tym przypadku wydajność układu maleje [14, 15].

Czas życia fotogenerowanych ekscytonów jest rzędu zaledwie kilkuset pikosekund. Przy tak krótkim czasie życia ekscytonu, małej ruchliwości ładunków i drodze dyfuzji rzędu 10 nm materiał elektrono-donorowy musi być bardzo blisko akceptora, tak aby separacja ładunków nie była zniweczona w wyniku rekombinacji. Oznacza to, że dla zastosowań fotowoltaicznych miejsce generowania fotoekscytonów musi być odległe zaledwie o kilka nanometrów od interfejsu donor-akceptor, gdzie to ekscyton ulega separacji na elektron i dziurę. Po separacji obydwa ładunki zdążają ku właściwym elektrodom [13, 15]. Podsumowując, w fotoogniwach organicznych sprawdza się jedynie periodyczna, gęsto upakowana nanostruktura.

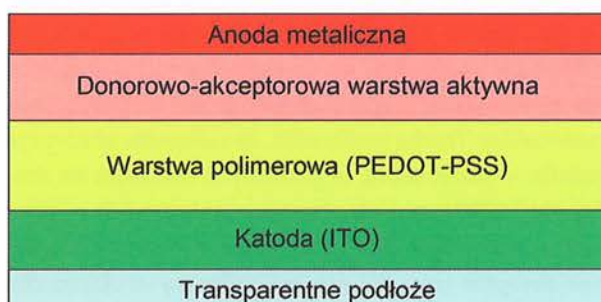
Struktura heterozłącza (ryc. 7) – warstwowa lub objętościowa – ma duże znaczenie dla działania układu. W heterozłączu objętościowym, z powodów wspomnianych wyżej, dąży się do maksymalnego zwiększenia powierzchni międzyfazowej przez rozdrobnienie materiałów. Trzeba podkreślić, że całkowita absorpcja światła w materiałach organicznych zachodzi na drodze około 200 nm, a więc bardzo różni się od drogi swobodnej ekscytonu. Znaczy to, że warstwa podwójna donor-akceptor (ryc. 7a) nie jest najlepszą strukturą dla ogniw słonecznych. W heterozłączu objętościowym (ryc. 7b) rozdrobniony polimer lub barwnik (donor)

jest zmieszany lub chemicznie związany z pochodną fulerenu i tworzy aktywną warstwę o ziarnistej strukturze. Warstwa tego typu ma liczne, zlokalizowane interfejsy, a tym samym stanowi dogodną i wydajną strukturę ogniw słonecznych. Domeny donor-akceptor w aktywnej warstwie nie tylko są interfejsem niezbędnym dla separacji ładunków generowanych światłem, ale również tworzą ścieżkę perkolacyjną dla transportu nośników ładunków do właściwej elektrody. Idealna warstwa fotoaktywna cechuje się więc siecią donoro-akceptorową z domenami donorowymi lub akceptorowymi o optymalnych rozmiarach rzędu kilku nanometrów, mniejszych niż droga dyfuzji ekscytonów. Taka grubość warstwy aktywnej jest kompromisem pomiędzy dostatecznie silną absorpcją światła a długością dyfuzji ekscytonów. Grubsza warstwa absorbuje, co prawda, więcej światła, ale zwiększa się wówczas możliwość rekombinacji ekscytonów podczas ich dłuższej drogi do elektrody. Optymalna grubość warstwy aktywnej oscyluje więc między 100 i 150 nm.



Ryc. 7. Struktura złącza donor-akceptor w typowych ogniwach słonecznych: warstwowa (a) i heterozłączowa (b)

Rycina 8 przedstawia typową strukturę komórki słonecznej: na transparentnej katodzie wykonanej np. z tlenku itrowo-cynowego (ITO) nałożona jest warstwa przewodzącego polimeru, np. poli-etylenodiodoksytiofenu (PEDOT) z poli-styrenosulfonatem (PSS). Warstwa ta pełni kilka funkcji – przewodzi dziury, blokuje ekscytony, wygładza warstwę z ITO, chroni warstwę aktywną przed działaniem tlenu, uniemożliwia dyfuzję materiału katody do warstwy aktywnej i utrudnia tworzenie się niepożądanych pułapek. Na warstwie PEDOT-PSS jest warstwa aktywna absorbująca światło, generująca ekscytony i umożliwiająca dyfuzję nośników. W układach heterozłączowych warstwa ta składa się ze stosownego donora



Ryc. 8. Typowa budowa wielowarstwowej komórki słonecznej

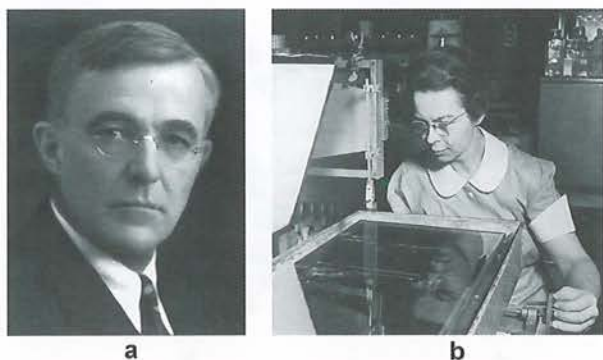
i akceptora, którym najczęściej jest fuleren. Często bardzo cienka warstwa z LiF o grubości 5–10 Å używana jest do oddzielenia warstwy organicznej od metalicznej. Ostatnią, zewnętrzną warstwą jest cienka, metaliczna anoda, wykonana najczęściej z Al (a niekiedy z Ca, Ag lub Au) [16].

5. Cienkie warstwy – orientacja molekuł

Ograniczenia fizyczne w materiałach molekularnych – wynikające z krótkiego czasu życia ekscytonów, małej ruchliwości ładunków i w konsekwencji krótkiego zasięgu dyfuzji ekscytonów – powodują, że ogniwa słoneczne są zazwyczaj układami cienkowarstwowymi. Choć istnieje wiele metod wytwarzania cienkich warstw, to dla materiałów organicznych najodpowiedniejszą jest depozycja monowarstwy molekularnej z powierzchni cieczy na stałe podłoże. Ta technika zwana jest metodą Langmuira–Blodgett (LB) [17] od nazwisk jej twórców, Irvinga Langmuira i Katharine Burr Blodgett. Warstwy LB można utworzyć z amfifilowych cząsteczek o niejednakowej rozpuszczalności w dwóch różnych rozpuszczalnikach. W efekcie na granicy faz cząsteczki takie samorzutnie tworzą monowarstwy, w których jeden koniec cząsteczek jest skierowany na zewnątrz, a drugi do środka. Większość związków amfifilowych używanych w fotowoltaice ma końce hydrofobowe i hydrofilowe. Monowarstwy mają grubość określoną przez rozmiary molekuł; oczywiście, takie pojedyncze warstwy można nakładać na siebie, tworząc w ten sposób wielowarstwę o żądanej grubości. Metoda Langmuira–Blodgett pozwala na nanoszenie na podłoże stałe warstw zbudowanych np. z diad fuleren-barwnik organiczny.

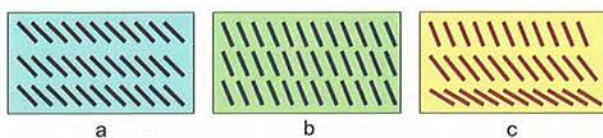
Mówiąc o warstwach LB, wypada wspomnieć o twórcach tej ciekawej, niezwykle użytecznej metody. Profesor Langmuir (ryc. 9a) na początku lat dwudziestych ubiegłego wieku, jako pierwszy na świecie, prowadził systematyczne badania monowarstw molekularnych zaadsorbowanych na powierzchni cieczy; zaproponował też koncepcję podstawowej izotermy adsorpcji, zwanej obecnie izotermą Langmuira. Ważnym jego odkryciem, z którego korzystamy obecnie bardzo intensywnie, jest metoda przenoszenia monowarstw na podłoże stałe. Technika ta została rozwinięta przez jego współpracownicę Katharinę Burr Blodgett (ryc. 9b), która opracowała metodę tworzenia wielowarstw molekularnych, zwanych obecnie warstwami Langmuira–Blodgett. Warto nadmienić, że pani Blodgett jako pierwsza kobieta uzyskała doktorat z fizyki na Uniwersytecie Cambridge w roku 1926.

Właściwości fizyczne cienkich warstw molekularnych różnią się od tych, które wykazują ciała stałe zbudowane z analogicznych cząsteczek. Determinują je



Ryc. 9. Irving Langmuir (1881–1957), laureat nagrody Nobla z roku 1932 (a), i Katharine Burr Blodgett (1898–1979), pierwsza kobieta, która uzyskała doktorat z fizyki na Uniwersytecie Cambridge (b) (źródło: Internet)

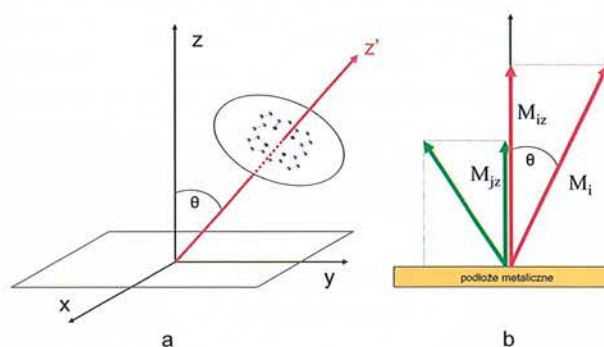
oddziaływania międzymolekularne, które są zasadniczo różne od oddziaływań w materii skondensowanej, np. krystalicznej. W prawidłowo naniesionej warstwie LB molekuly są mniej lub bardziej uporządkowane. To uporządkowanie zależy przede wszystkim od kształtu cząsteczek, ich rozmiarów, a szczególnie od ich anizotropii; istotną rolę odgrywa też odstępstwo cząsteczek od planarności. W zależności od symetrii i budowy molekuł oraz od warunków nanoszenia wielowarstw pojedyncza warstwa może występować w różnych formach polimorficznych. Dla zastosowań fotowoltaicznych, zwłaszcza gdy warstwa zbudowana jest z płaskich cząsteczek organicznych, ważne są odległość między płaszczyznami tych cząsteczek oraz ich orientacja przestrzenna. Typowe sposoby uporządkowania płaskich molekuł w filmie LB ilustrują ryc. 10 a i b. Istotny wpływ na orientację molekuł w warstwie ma jej odległość od powierzchni podłoża. Bardzo często amfifilowe cząsteczki warstwy przy podłożu orientuje się w jego kierunku, co wymusza zmianę ich orientacji (ryc. 10c). Orientacja molekuł w kolejnych warstwach zmienia się stopniowo. Proces wygrzewania warstw może też prowadzić do stanów przejściowych, cechujących się pewnym nieporządkiem.



Ryc. 10. Typowe sposoby uporządkowania płaskich molekuł organicznych w warstwach Langmuir–Blodgett (a, b) oraz ich uporządkowanie w wielowarstwach nałożonych na aktywnym chemicznie podłożu (c)

Różne metody pomiarowe pozwalają na wyznaczenie orientacji płaskich molekuł tworzących warstwę LB, czyli na wyznaczenie kąta Θ między normalną do powierzchni cząsteczki a normalną do płaszczy-

znej podłoża (ryc. 11a). Najprościej można oszacować kąt Θ , wykorzystując metody spektroskopowe. Yoneyama i współpracownicy [18] zaproponowali metodę wykorzystującą anizotropię widma absorpcji elektronowej w zakresie UV-vis, natomiast Arnold i współpracownicy [19], udoskonalając metodykę autorstwa Debe, pokazali, jak z widm odbicia-absorpcji w podczerwieni (ryc. 11b) w świetle spolaryzowanym można oszacować orientację molekuł w warstwach LB. Obie te metody stosuje się z powodzeniem do oceny orientacji płaskich barwników organicznych, np. porfiryn i ftalocyjanin oraz diad fuleren-chromofor organiczny w poznańskich laboratoriach Instytutu Fizyki Molekularnej PAN i Instytutu Fizyki PP (np. [20]).



Ryc. 11. Orientacja płaskiej molekuly w warstwie zdefiniowanej przez kąt Θ (a) oraz szacowanie orientacji molekuł na podłożu metalicznym metodą spektroskopii odbicia-absorpcji w podczerwieni (IRRA) (b)

6. Projektowanie organicznych ogniw słonecznych

Projektując organiczne ogniwa słoneczne, trzeba wziąć pod uwagę co najmniej trzy aspekty: wydajność konwersji energii, czas bezawaryjnej pracy i koszt wytworzenia ogniwa. Dodatkowo wskazane jest, by urządzenia fotowoltaiczne były częściowo transparentne i elastyczne [21]. Nie jest łatwo znaleźć materiały organiczne, które równocześnie spełniają wszystkie najważniejsze kryteria.

Musimy pamiętać przede wszystkim, że materiał elektrono-donorowy, a więc chromofor organiczny lub polimer, musi silnie absorbować światło słoneczne, czyli musi szczególnie intensywnie pochłaniać promieniowanie od bliskiej podczerwieni aż do około 300 nm. Ze względu na krótką drogę dyfuzji ekscytynu w materiałach organicznych rozmiary domen, ziaren czy też grubość interfejsu między warstwą aktywną a akceptorem winny być możliwie małe, nie większe niż około 10 nm. Oprócz tego obydwie fazy, to znaczy elektrono-donorowa i akceptorowa, winny przewodzić prąd elektryczny; dobrze jeśli w elemencie fotowoltaicznym istnieją ścieżki, po których mogą swobodnie płynąć elektrony. Oprócz tego ważna jest asymetria elektrod –

powinny one różnić się pracą wyjścia elektronów, a jedna z nich musi być częściowo transparentna.

Fizykochemia materiałów używanych w urządzeniach fotowoltaicznych narzuca też wymagania w stosunku do ich charakterystycznych cech, które schematycznie podsumowuje ryc. 12. Struktura molekuł, ich właściwości fizykochemiczne, a nawet kształt determinują morfologię filmu i uporządkowanie molekuł w warstwie. Innymi słowy, właściwości fizyczne i chemiczne elementów, z których zbudowana jest warstwa, odpowiedzialne są za samoorganizację warstw. Cechy warstwy umożliwiają lub utrudniają separację ładunków i tym samym określają charakter transportu elektrycznego. Z kolei właściwości elektronowe materiałów, w szczególności wybranych chromoforów, określają ich absorpcję. Wszystkie wspomniane wyżej właściwości materiałów determinują efektywność konwersji światła w energię elektryczną, czyli parametry organicznej komórki słonecznej.

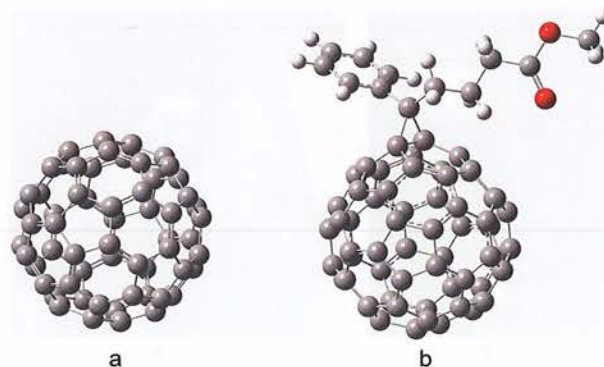


Ryc. 12. Współzależność struktury molekuł, morfologii warstwy i właściwości elektronowych materiałów tworzących urządzenie fotowoltaiczne

7. Wybrane materiały elektrono-akceptorowe i elektrono-donorowe

Przez lata fotowoltaika organiczna była zdominowana przez fuleren C₆₀ (ryc. 13a) i jego pochodne [22–24]. Fuleren jest molekułą wyjątkową. Oprócz niemalże doskonale sferycznego kształtu, zawdzięczanego budowie cząsteczki z pięcio- lub sześcioczłonowych pierścieni węglowych, fuleren ma unikalne właściwości fizyczne i chemiczne. Z naszego punktu widzenia ważne jest to, że elektrony są zdelokalizowane na całej powierzchni sferycznej cząsteczki, ma ona sztywną strukturę aromatycznej sfery π -elektronowej i cechuje się niewielką energią reorientacji.

Niestety, fuleren ma jedną podstawową wadę – jest nierozpuszczalny w większości rozpuszczalników organicznych. Uniemożliwia to chemiczne związanie

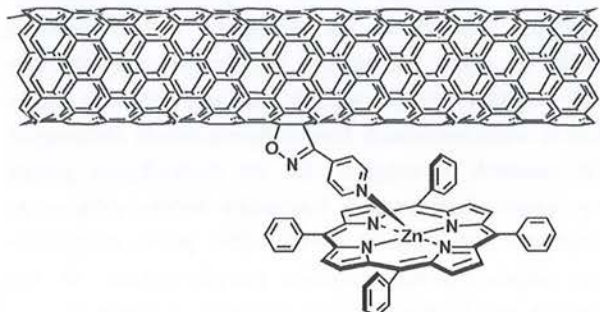


Ryc. 13. Cząsteczka fulerenu C₆₀ (a) oraz jej modyfikacja PCBM (b)

cząsteczek C₆₀ z odpowiednimi chromoforami organicznymi. Aby obejść tę niedogodność, dokonuje się funkcjonalizacji fulerenu przez rozerwanie jednego z wiązań C-C pierścienia fulerenu i związanie go z odpowiednim pierścieniem, np. tiazolowym, tiofenowym lub heksylowym. Najczęściej używanym funkcjonalizowanym fulerenem jest cząsteczka [6,6]-fenylo C₆₁-estru metylowego kwasu masłowego (PCBM) [25] (ryc. 13b). Inne funkcjonalizowane fulereny syntezowali i badali naukowcy z wielu doskonałych laboratoriów, a wśród nich K.-S. Lee i współpracownicy (np. [26, 27]). Ostatnio wielkie zainteresowanie wzbudzają inne formy alotropowe węgla, np. nanorurki węglowe, cebulki węglowe i grafen. Nanorurki mają pewne zalety w porównaniu z fulerenem. Po pierwsze, mają większe powinowactwo elektronowe, co ułatwia ich wiązanie z chromoforem. Po drugie, wykazują większą ruchliwość elektronów, co przekłada się na większy zasięg rekombinacji, a tym samym na możliwość wykorzystywania grubszych warstw aktywnych w ogniwach słonecznych. Nanorurki mają też pewne defekty strukturalne, korzystne w określonych sytuacjach. Koncepcję funkcjonalizacji nanorurki węglowej, polegającą na przyłączeniu pierścienia pirydylowego do ścianki nanorurki i skompleksowaniu tego układu z pochodną porfiryny, zaproponował Guldi [28] – ryc. 14 pokazuje porfiryne cynkową związaną z nanorurką zgodnie z jego koncepcją. Ostatnio również grafen budzi zainteresowanie konstruktorów wysokowydajnych ogniw słonecznych. Po jego funkcjonalizacji może być użyty jako akceptor elektronów, ale najczęściej służy jako bardzo cienka, transparentna elektroda.

Drugą grupą materiałów niezbędnych do budowania organicznych ogniw słonecznych są chromofory spełniające funkcję donora elektronów, np. w diadach typu fuleren-barwnik organiczny. Ich podstawową funkcją jest absorbowanie światła słonecznego w możliwie najszerszym zakresie spektralnym i wykorzystanie go do tworzenia ekscytonów. Jak wspomniano wcześniej, ekscytony, rekombinując, dają niezwiąza-

na parę elektron-dziura i dalej – różnicę potencjałów na elektrodach ogniwa słonecznego. Najszerzej stosowanymi chromoforami są porfiryny, metaloporfiryny, ftalocyjaniny, tiofeny i politiofeny [4]. Ostatnio ogromne zainteresowanie i nadzieje budzą korole [30, 31].

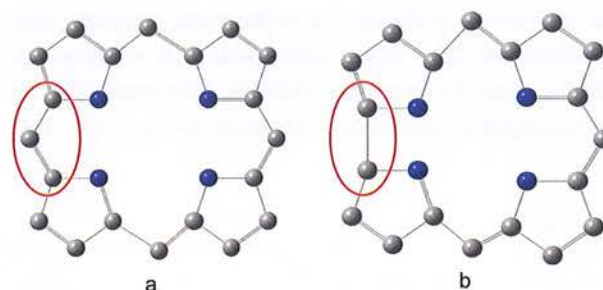


Ryc. 14. Nanorurka węglowa skompleksowana z porfiryne cynkową [28]

Porfiryne i jej różne pochodne oraz molekuly porfiryнопodobne, w tym ftalocyjaniny, odgrywają kluczową rolę w fotowoltaice. Cząsteczka porfiryne występuje w postaci charakterystycznego makrocyklu aromatycznego, zbudowanego z czterech pierścieni pirolowych połączonych mostkami metinowymi (=CH-) (ryc. 15a). Wspomniane pierścienie aromatyczne wraz z mostkami metinowymi tworzą układ sprzężonych wiązań podwójnych, zawierających 18 zdelokalizowanych elektronów. Zarówno płaski pierścień porfiryne, jak i ftalocyjaniny mogą ulec niewielkiej deformacji w wyniku np. chelatowania jonu metalu lub podstawienia grupami peryferyjnymi. Porfiryne charakteryzują się bardzo silną absorpcją promieniowania w zakresie spektralnym 420–450 nm (pasmo Soreta) z absorpcją rzędu 10^5 cm^{-1} oraz sekwencją mniej intensywnych pasm w obszarze 600–800 nm (pasmo Q). Położenia głównych pasm absorpcyjnych porfiryne i cząsteczek porfiryneopochodnych można w pewnym zakresie modyfikować, podstawiając pierścień różnymi podstawnikami. Jeśli zauważyć, że maksimum absorpcji porfiryne leży blisko obszaru najintensywniejszej emisji słonecznej, to nie trudno zrozumieć tak wielkie zainteresowanie badaczy tą klasą barwników. Już dekadę temu Guldi [30] pokazał, że fuleren i porfiryne są idealnymi blokami molekularnymi do projektowania i budowania zintegrowanych, wieloskładnikowych układów modelowych do przetwarzania energii słonecznej. Porfiryne związana z wielką, sferyczną cząsteczką fulerenu działa jak swoista antena absorbująca promieniowanie słoneczne.

Korol jest analogiem porfiryne [31, 32], w którym jeden mostek metinowy zastąpiono wiązaniem C-C (ryc. 15b). Cząsteczka korolu ma szkielet korinowy z trzema mezo-węglami pomiędzy czterema pierście-

niami pirolowymi. W porównaniu z porfiryne korole cechują się niższym potencjałem utleniającym, intensywniejszą absorpcją światła w czerwieni, większą wydajnością kwantową fluorescencji i znacznym przesunięciem Stockesa. Pasmo absorpcji typu



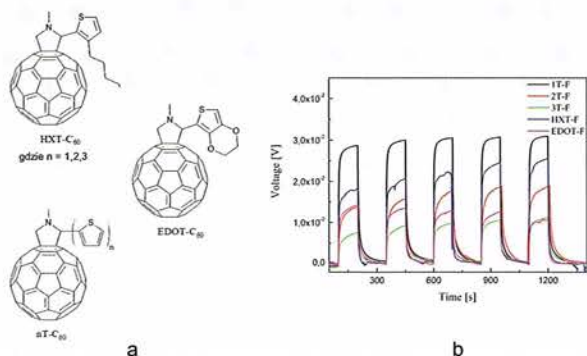
Ryc. 15. Struktura molekularna podstawowej porfiryne (a) i analogicznego korolu (b)

Soreta leży między 400 i 440 nm, a pasma Q są położone w rejonie 500–700 nm, a więc bliżej maksimum emisji słonecznej. Widma absorpcji koroli różnią się od widm podobnych porfiryne jeszcze trzema aspektami: po pierwsze, podstawniki silnie zmieniają widmo korolu niż porfiryne, po drugie, widma koroli silnie zależą od rozpuszczalnika, a po trzecie, widma fluorescencji korolu charakteryzują się silną emisją w rejonie 620–680 nm i wydajnością kwantową fluorescencji dochodzącą do 30% [32]. Ostatnie nasze badania diady jednego z koroli z fulerem (ryc. 15a) pokazały, że gęstość elektronowa w stanie HOMO jest zlokalizowana całkowicie na korolu, podczas gdy w stanie LUMO na fulerencie – świadczy to o elektrono-donorowych właściwościach korolu [33].

Ftalocyjaniny należą do tej samej grupy materiałów co porfiryne i korole. Niepodstawione ftalocyjaniny silnie absorbują światło o długościach fal między 600 i 700 nm, natomiast po podstawieniu odpowiednimi grupami funkcyjnymi maksimum absorpcji przesuwają się ku podczerwieni. Z punktu widzenia pełniejszego wykorzystania emisji słonecznej w ogniwach jest to korzystne, bo połączenie ftalocyjaniny z innym barwnikiem, np. porfirynowym, najsilniej absorbującym promieniowanie żółto-pomarańczowe, pozwala na wydatne zwiększenie efektywności absorbowania energii słonecznej przez układ molekularny.

Kolejną grupą materiałów są polimery. Polimerowe ogniwa słoneczne mają zazwyczaj strukturę objętościową, zawierającą niezliczoną liczbę heterozłącz rozrzuconych równomiernie w całej objętości aktywnego materiału (ryc. 7b). W takim przypadku materiałem donorowym jest polimer, natomiast akceptorowym – fuleren lub jego pochodna. Warstwę aktywną stanowi więc mieszanina dwóch materiałów o przeciw-

stawnych właściwościach elektronowych [34, 35]. Bardzo dużo uwagi badacze poświęcają heterozłączom wykorzystującym politiofeny jako medium absorbujące światło. Spośród politiofenów szeroko stosowany jest poli(3-heksylofien), którego wartość przerwy energetycznej wynosi 1,9 eV. Politiofeny o różnej długości łańcucha i podstawione wybranymi grupami molekularnymi (aby lepiej dostosować ich właściwości fotofizyczne do wymagań układów fotowoltaicznych) są szczególnie obiecujące. Ilustruje to np. ryc. 16a,



Ryc. 16. Struktura molekularna wybranych politiofenów (a) oraz fotogenerowane napięcie w komórce fotowoltaicznej (b)

na której przedstawiono strukturę molekularną pięciu zbadanych w naszym laboratorium diad fuleren-politiofen i generowane przez nie fotonapięcie w komórce fotowoltaicznej (ryc. 16b). Jako warstwy donorowe stosuje się też polimery zawierające ugrupowania winylenowe. Obiecujące są ponadto polimery benzotiazolowe, charakteryzujące się stosunkowo dużą wydajnością konwersji światła w energię elektryczną. Uwaga badaczy skupiona jest też na zmodyfikowanych polimerach i kopolimerach zawierających grupy zarówno tiofenowe, jak i benzotiazolowe i winylenowe. Trzeba dodać, że właściwości takich polimerów zależą nie tylko od rodzaju podstawników, ale też od ich rozkładu wzdłuż łańcucha. Szeroko badane są też złącza na bazie poli(p-fenyleno winyleny), imidazolu bądź azometin. Oczywiście, celem tych wszystkich poszukiwań jest znalezienie polimerów o możliwie dużej wydajności konwersji energii.

8. Czy organiczne ogniwa słoneczne są realną konkurencją dla klasycznych ogniw nieorganicznych?

Na tak sformułowane pytanie trudno dać jednoznaczną odpowiedź. We wstępie wspomniałem, że obecne modele laboratoryjne organicznych ogniw słonecznych mają mniejszą sprawność energetyczną niż układy nieorganiczne, ale to nie przesądza o ich pozycji w świecie fotowoltaiki. Aby rzetelnie ocenić war-

tość organicznych ogniw słonecznych, trzeba zważyć ich zalety i wady. Elementy i urządzenia fotowoltaiczne wytwarzane z materiałów organicznych mają szereg niezaprzeczalnych zalet. Po pierwsze, materiały organiczne są stosunkowo tanie, a ich synteza jest relatywnie łatwa. W procesach technologicznych nie używa się związków metali ciężkich, które są silnie toksyczne. Po drugie, metody chemii organicznej pozwalają na wytworzenie molekuł o właściwościach fizykochemicznych zbliżonych do naszych wymagań. Jest to stosunkowo proste np. przez chelatowanie barwnika heterocyklicznego atomami lub jonami metali albo przez podstawienie odpowiednimi grupami peryferyjnymi. W ten sposób modyfikuje się ich strukturę elektronową, co prowadzi do zmiany szerokości przerwy energetycznej, przesuwania obszaru maksymalnej absorpcji światła, zmiany wydajności fluorescencji, czasu życia stanów wzbudzonych itd. Po trzecie, organiczne ogniwa słoneczne, podobnie jak ich odpowiedniki nieorganiczne, są łatwe do instalowania i wymagają minimalnej obsługi. Mogą one latami pracować bezawaryjnie, pracują cicho, nie zanieczyszczając środowiska, i zajmują mniej miejsca niż turbiny, elektrownie wodne czy też klasyczne bloki energetyki węglowej. Największą ich zaletą jest to, że wytwarzają tanio prąd elektryczny. Niestety, organiczne ogniwa słoneczne mają też wady. Oprócz mniejszej wydajności konwersji energii niż klasyczne, nieorganiczne baterie słoneczne są mniej odporne na uszkodzenia mechaniczne i wykazują gorszą stabilność termiczną i czasową. Nad usunięciem tych wad intensywnie pracują naukowcy w wielu doskonałych laboratoriach. Trzeba podkreślić, że ograniczenia fotowoltaiki organicznej nie wynikają z przyczyn fizycznych, lecz są spowodowane względami materiałowymi, które, jak się wydaje, będzie można rozwiązać. Pomimo wspomnianych wad można się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości organiczne farmy solarne staną się rzeczywistością – wymusi to rynek, który czeka na tanie, odwracalne źródła energii.

Podsumowanie

Z powyższych fragmentarycznych, a niekiedy może i subiektywnych uwag wynika, że w materiałach molekularnych tkwi wielki potencjał. Odpowiednio zaprojektowane układy donorowo-akceptorowe, w tym również struktury polimerowe o różnej budowie chemicznej, zawierające grupy molekularne silnie absorbujące światło, szczególnie z obszaru maksymalnej emisji słonecznej, oraz grupy elektrono-akceptorowe,

charakteryzujące się silnym powinowactwem elektronowym mogą być wykorzystane do budowy nowoczesnych, wysokowydajnych przetworników światła w energię elektryczną. Wydaje się, że przyszłość należeć będzie przede wszystkim do polimerowych, elastycznych ogniw słonecznych wykorzystywanych jako przenośne bądź uzupełniające źródła energii zainstalowane w bezpośredniej bliskości odbiornika. Można sobie wyobrazić takie elastyczne ogniwa jako elementy ubioru, pokrycia namiotów lub żagli, nie mówiąc o dachach lub ścianach budynków. Mogą one spełniać ważną funkcję w oświetlaniu znaków drogowych, napisów informacyjnych i reklam. Niewyobrażalnie szerokie zastosowania mogą znaleźć ogniwa słoneczne w urządzeniach technicznych pracujących w otwartej przestrzeni – pierwszy „słoneczny samolot” napędzany energią słoneczną pokonał niedawno drogę z San Francisco do Phoenix [37] i dalej poszybował do Nowego Yorku.

Literatura

- [1] *Solar Energy Perspectives: Executive Summary*, International Energy Agency, 2011.
- [2] G. Kopp, J. L. Lean, *Geophys. Res. Letters* 38 (2011), n/a, doi:10.1029/2010GL045777.
- [3] J. Perlin, *From Space to Earth: The Story of Solar Electricity*, Harvard University Press, Cambridge 2002.
- [4] S.-S. Sun, N. S. Sarcasitic (red.), *Organic Photovoltaics: Mechanisms, Materials, and Devices*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2005.
- [5] Informacje o działających i projektowanych parkach solarnych zaczerpnięto z Internetu.
- [6] C. Y. Chen, M. Wang, J. Y. Li, N. Pootrakulchote, L. Alibabaei, C. H. Ngocle, J. D. Decoppet, J. H. Tai, C. Gryzel, C. G. Wu, S. M. Zakeeruddin, M. Gryzel, *ACS Nano* 3, 3103 (2009).
- [7] R. Sondergaard, M. Hösel, D. Angmo, T. T. Larsen-Olsen, F. C. Krebs, *Mater. Today* 15, 36 (2012).
- [8] F. C. Krebs, *Polymeric Solar Cells: Materials, Design, Manufacture*, DEStech Publications 2010
- [9] R. Williams, *J. Chem. Phys.* 32, 1505 (1960).
- [10] A. E. Becquerel, *Comp. Rend.* 9, 561 (1839).
- [11] H. Kallmann, M. Pope, *J. Chem. Phys.* 30, 585 (1959).
- [12] B. A. Gregg, M. A. Fox, A. J. Bard, *J. Am. Chem. Soc.* 111, 3024 (1989).
- [13] B. A. Gregg, *J. Phys. Chem. B* 107, 4688 (2003).
- [14] D. Wróbel, A. Graja, *Coor. Chem. Rev.* 255, 2555 (2011).
- [15] H. Hoppe, N. S. Sariciftci, *J. Mater. Res.* 19, 1924 (2004).
- [16] T. L. Benanti, D. Venkataraman, *Photosynth. Res.* 87, 73 (2006).
- [17] A. Ulman, *An Introduction to Ultrathin Organic Films From Langmuir-Blodgett to Self-Assembly*, Academic Press, Inc., San Diego 1991.
- [18] M. Yoneyama, M. Sugi, M. Saito, K. Ikegami, S.-I. Kuroda, S. Iizima, *Jpn. J. Appl. Phys.* 25, 961 (1986).
- [19] R. Arnold, A. Terfort, Ch. Woll, *Langmuir* 17, 4980 (2001).
- [20] B. Barszcz, A. Bogucki, A. Biadasz, B. Bursa, D. Wróbel, A. Graja, *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry* 218, 48 (2011).
- [21] C. J. Brabec, *Solar Energy Mater. Solar Cells* 83, 273 (2004).
- [22] F. Diederich, M. Gómez-López, *Chem. Soc. Rev.* 28, 263 (1999).
- [23] Y. J. He, Y. F. Li, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 1970–1983 (2011).
- [24] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, P. C. Eklund, *Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes*, Academic Press, 1996.
- [25] N. Stingelin-Stutzmann, E. Smits, H. Wondergem, C. Tanse, P. Blom, P. Smith, D. De Leeuw, *Nat. Mater.* 4, 601 (2005).
- [26] E. Y. Park, J. S. Park, T.-D. Kim, K.-S. Lee, H. S. Lim, J. S. Lim, C. Lee, *Org. Electron.* 10, 1028 (2009).
- [27] B. Barszcz, B. Laskowska, A. Graja, E. Y. Park, T.-D. Kim, K.-S. Lee, *Synth. Met.* 159, 2539 (2009).
- [28] D. M. Guldi, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 9, 1400 (2007).
- [29] O. Ito, F. D'Souza, *Molecules* 17, 5816 (2012).
- [30] D. M. Guldi, *Chem. Soc. Rev.* 31, 22 (2002).
- [31] L. Flamigni, D. T. Gryko, *Chem. Soc. Rev.* 38, 1635 (2009).
- [32] A. Graja, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 554, 31 (2012).
- [33] K. Lewandowska, B. Barszcz, J. Wolak, A. Graja, M. Grzybowski, D. T. Gryko, *Dyes & Pigments* 96, 2249 (2013).
- [34] A. Facchetti, *Chem. Mater.* 23, 733 (2011).
- [35] J. Weickert, R. B. Dunbar, H. C. Hesse, W. Wiedermann, L. Schmidt-Mende, *Adv. Mater.* 23, 1810 (2011).
- [36] K. Lewandowska, W. Bednarski, G. Milczarek, S. Wapłak, A. Graja, E. Y. Park, T.-D. Kim, K.-S. Lee, *Synth. Met.* 161, 1640 (2011).
- [37] *Gazeta Wyborcza* z dnia 7 maja 2013 roku.

Prof. dr hab. Andrzej Graja (1940–2013)

W trakcie przygotowywania niniejszego artykułu do druku, 9 listopada 2013 r. po długiej i ciężkiej chorobie zmarł profesor Andrzej Graja. Był on wybitnym specjalistą w zakresie fizyki ciała stałego i spektroskopii molekularnej. Przez całe swoje życie zawodowe związany

był z Instytutem Fizyki Molekularnej PAN. Mimo choroby, do ostatnich chwil starał się pracować, pisał prace i dyskutował o najnowszych wynikach. W jednym z najbliższych numerów *Postępów Fizyki* ukaże się artykuł o życiu i działalności profesora.

Kot czy kod Schrödingera?

Na marginesie rocznicy fundamentalnego odkrycia

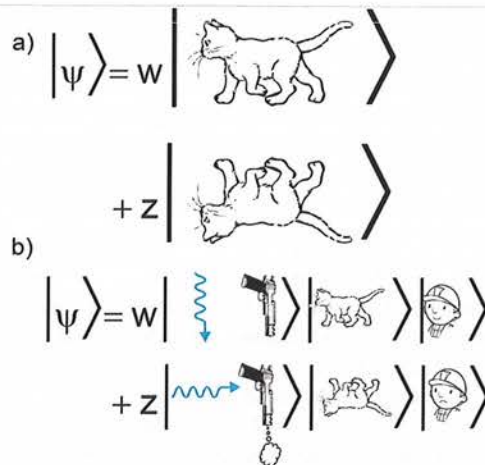
Józef Spalek

Uniwersytet Jagielloński, Kraków

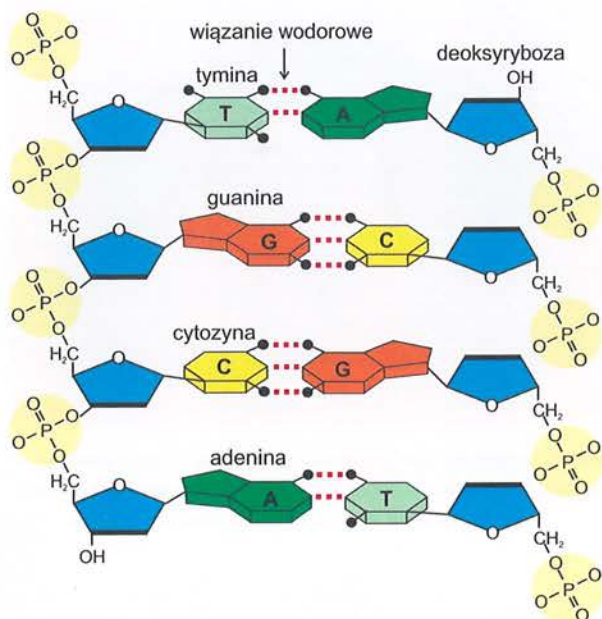
Streszczenie. Erwin Schrödinger był twórcą zarówno skrajnej egzemplifikacji paradoksalności kwantowego stanu na przykładzie kota, będącego w takim samym stopniu żywym i martwym (1935), jak i oryginalnej hipotezy genetycznego dziedziczenia zawartego w kwasach nukleinowych (1943). Ta druga hipoteza powstała 10 lat przed historycznym odkryciem Jamesa Watsona i Francis Cricka struktury DNA, które także wskazało prawdziwość oryginalnej hipotezy Schrödingera, że zapis genetyczny jest zawarty w tej strukturze. Te dwie koncepcje „kota Erwina” i „kodu genetycznego trójkowego” do dnia dzisiejszego wyznaczają, moim zdaniem, granice fizyki.

Wstęp: kod po kocie

Tak się składa, że w ostatnich miesiącach minęła 70. rocznica wykładów Erwina Schrödingera w Trinity College w Dublinie, które zostały opublikowane rok później pod tytułem *What is life?* [1]. Dodatkowo w kwietniu 2013 r. upłynęła 60. rocznica publikacji J. Watsona i J. F. Cricka (kolejność autorów wyznaczył rzut monetą) o rozszyfrowaniu struktury DNA (kwasu deoksyrybonukleinowego) [2]. Francis Crick [3], a także inni fizycy (np. Max Delbrück) podkreślali jednoznacznie wpływ tej małej książeczki Schrödingera na ich decyzję życiową zajęcia się biologią pod wpływem hipotezy Schrödingera, że to kwasy nukleinowe, a nie białka są źródłem przekazu cech dziedzicznych. Na temat historii odkrycia języka struktury kodu genetycznego DNA ukazało się dość dużo pięknych opracowań, por. np. [2–5], które jako amator w tej tematyce pozwolę sobie zacytować, gdyż myślę, iż mogą być one przydatne naszym Czytelnikom, a przynajmniej tym zainteresowanym spektakularnymi osiągnięciami w tej dziedzinie. Zwrócenie uwagi na te rocznice to pierwszy cel tego krótkiego eseju, tym bardziej że „kot Schrödingera” [6] (ryc. 1) jest być może dużo bardziej popularny wśród fizyków niż jego hipoteza kodu genetycznego (ryc. 2), a ta druga koncepcja jest co najmniej równie ważna. Wyznacza bowiem początek biologii i biofizyki molekularnej, a nawet



Ryc. 1. Schematyczny rysunek superpozycji stanów kota żywego i martwego, z prawdopodobieństwem $|w|^2$ i $|z|^2$ odpowiednio (górny rysunek). W gruncie rzeczy te dwa powyższe stany są superpozycją bardziej złożonych stanów (druga linia): jedna część to stan złożony z sygnału próbkującego (np. fotonu), pistoletu naładowanego, obserwatora i kota żywego. Druga część to stan złożony: foton docierający do obserwatora, pistolet po wystrzale i kot martwy – każda z tych części z odpowiednimi amplitudami prawdopodobieństwa w i z . Przy tym drugim rozumieniu stanów kota (b) nie dziwota, iż możemy mieć superpozycję stanów kota, jeżeli tylko ograniczymy się do (podprzestrzeni) stanów kota. Fundamentalnym problemem jest pytanie, dlaczego w prostych sytuacjach fizycznych (np. w eksperymentach z mikrocząstkami) możemy „otoczenie eksperymentalne” całkowicie zignorować przy opisie stanów („uśrednić” po stanach otoczenia). Rysunki powyższe są uproszczoną wersją dyskusji na temat „kota Erwina” w książce: R. Penrose, *Mikroświat, makroświat i ludzki umysł*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, str. 82–84



Ryc. 2. Struktura DNA złożona z dwóch skręconych wokół siebie (kąt skręcenia 30° – 40° między sąsiadami) i biegnących w przeciwnych kierunkach tzw. łańcuchów fosforowych i deoksyrybozy, sprzężonych ze sobą wiązaniami wodorowymi par zasadowych A-T (adenina-tymina) i G-C (guanina-cytozyna). Podwójny łańcuch DNA w komórkach ma do dwóch metrów długości (po rozkręceniu chromosomów). Informacja o syntezie białek jest zakodowana w sekwencji trójek par zasadowych, a każda trójka odpowiada jednemu aminokwasowi przy tej syntezie (jest to tzw. kod genetyczny). Ta informacja jest dla biologa molekularnego tak ważna jak struktura atomowa dla fizyka kwantowego, poza całym procesem replikacji, który zalicza się do konsekwencji tego fundamentalnego odkrycia struktury DNA i zrębów kodu trójkowego

medycyny na poziomie molekularnym, która najprawdopodobniej przekształci się z czasem w biofizyczną medycynę.

Przy okazji tych rocznic zastanawiam się, dlaczego tak bardzo interesuje mnie tematyka, jak powstał kod genetyczny i jak fizyk, uwikłany w przyczynowy charakter równań fizycznych (warunki początkowe trzeba znać nawet w równaniu Schrödingera!), jest w stanie pojąć stacjonarność złożonego procesu replikacji DNA i wszystkich następujących po niej konsekwencjach, aż do podziału komórkowego włącznie. Językiem filozofa przyrody można by powiedzieć, iż staramy się uchwycić emergentny charakter [7] zasadniczego elementu życia, tj. wzrostu i stacjonarności jednocześnie, różnicowania się funkcji komórek czy tkanek, a w konsekwencji także możliwości ewolucji poprzez mutacje, wymuszone czy spontaniczne. Takie cechy dynamiczne układu np. komórkowego, złożonego nie tylko z wielu atomów, ale także ze złożonych molekuł biochemicznych i ewolucji w nich zachodzących, wychodzą zdecydowanie poza fizyczne pojęcie stacjonarności, z jakim mamy do czynienia np. w przypadku stanów ato-

mowych (wiecznie krążące elektrony wokół ich macierzystego jądra) czy nawet w przypadku stanu równowagi układu statystycznego bardzo wielu cząstek. Jest tak chociażby dlatego, iż układy biologiczne, np. komórka, nie tylko wymieniają się energią czy materią z otoczeniem, ale także zachodzą w niej procesy metabolizmu (bardzo zaawansowane reakcje biochemiczne), co z kolei prowadzi w końcu do jej stopniowego zamierania, którą fizycy kwitują dość trywialnym stwierdzeniem, iż ma miejsce „prawo wzrostu entropii”. To za proste, bo chociażby co to jest ewolucja czasowa (aż do podziału komórki) i trwanie następnych generacji?

1. Kot i/lub kod

Z tego typu amatorskimi dywagacjami związane jest pytanie ogólniejsze. A mianowicie, dlaczego w naszych mediach *czczona* jest tak silnie „boska cząstka”, jak Leon Lederman nazwał tzw. bozon Higgsa [8], a te wspańskie okazje dotyczące powyższych zagadnień są fetowane tylko w dobrych popularnych czasopismach zachodnich [9], a w Polsce marginalnie [10]? Stawiam tezę, że powodem tej różnicy jest okoliczność, iż w naszym kraju kształcimy przede wszystkim fizyków i myślimy o fizyce przede wszystkim w oparciu o paradygmat pojedynczych obiektów (cząstek), a zaniebujemy w programach nauczania nawet proste układy kolektywne (nazwijmy je w skrócie „wielocząstkowe”), nie mówiąc już o tzw. układach złożonych [11]. Oczywiście, przyznaje się dość powszechnie, iż fundamentalna koncepcja spontanicznego złamania symetrii we współczesnej kwantowej teorii pól wyszła z fizyki materii skondensowanej. Sztandarowym przykładem jest tutaj np. teoria nadprzewodnictwa Ginzburga–Landaua–Abrikosowa–Gorkowa [12], jako pierwsza potwierdzona doświadczalnie teoria pola typu „ ϕ^4 ” z prostą unitarną (abelową) grupą cechowania i z odpowiednim bozonem Andersona [13]. Ten fakt jest być może doceniany (nie przez wszystkich). Ale nie o to mi chodzi. Chodzi mi o to, że „fundamentalność” i „złożoność” powinna stanowić równorzędne aspekty zarówno w kształceniu fizyków jako przyrodników, jak i w samych badaniach fizycznych, także w naszym kraju, a tak nie jest. Tak powinno być chociażby dlatego, że badania złożoności są nieprawdopodobnie ważne bezpośrednio dla naszego nowoczesnego życia, a co ważniejsze, fizyka (i fizycy) – nie podejmując tej tematyki – będą coraz bardziej marginalizowani i wyobcowani z głównego trendu nauki, może poza takimi spektakularnymi przypadkami jak bozon Higgsa czy hipoteza „ciemnej” materii bądź też nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Układy złożone (więcej niż kilka cząstek) są równie fundamentalne jak fizy-

ka kształtowana przez ostatnie 300 lat (od Newtona, poprzez Maxwella i Einsteina, po rewolucję kwantową). Przy okazji chciałbym dodać, iż naprawdę wspaniała perspektywa konstrukcji komputera kwantowego ucieknie nam, jeśli za badaniami operacji na pojedynczych fotonach czy cząstkach nie pójść fizyczne badania układów bardziej „złożonych” (materialnych), realizujących intensywnie badane (na razie proste) funkcje logiczne dla takich układów. Tutaj można podać przykład teorii informacji Claude’a E. Shannona, która stanowiła raczej początek rewolucji informatycznej, realizowanej przez pierwsze komputery, a zwłaszcza urządzenia telekomunikacyjne, aniżeli jej uwięzienie [14]. Podobnie miało to miejsce z badaniami Watsona i Cricka. Z punktu widzenia technologii fizyka jest taką „teorią”; dobrze byłoby, gdyby nie tylko była czasami przydatna (bo jest!), ale jeszcze sama przy tym się rozwijała przez podejmowanie nowych problemów. Nie da się bowiem odkryć dwa razy równań Maxwella ani równania Diraca. Fizyka zawsze pozbywała się niektórych dziedzin, a brała nowe w ich miejsce. Przykładem jest chociażby wyodrębnienie się elektrotechniki z fizyki elektromagnetyzmu czy tomografii komputerowej z badań NMR. W tym jej piękno i jej siła, aczkolwiek realizacja takiego celu wymaga strasznego uporu i genialności w wymyślaniu coraz nowszych zagadnień, które konfrontujemy z rzeczywistością w sposób ilościowy. Uważam, że współczesna „fundamentalność” jest w równym stopniu zawarta w badaniach złożoności zjawisk takich jak kwantowe przejścia fazowe i towarzyszących im zjawiskach krytycznych, układy silnie skorelowane czy neurofizyka mózgu; ta ostatnia stanowi granicę poznania ilościowego, o czym za chwilę.

2. Kot w kodzie?

Powracając do głównej myśli „kot czy kod?”, należy zwrócić uwagę na jeszcze jedną sprawę o kapitalnym znaczeniu w naszych wysiłkach intelektualnych w zakresie nauk fizyczno-przyrodniczych, a mianowicie na mózg jako układ najbardziej złożony i jednocześnie najbardziej fundamentalny w przyrodzie. Z powodu naszego ograniczenia umysłu do procesów mózgowych nigdy nie zbadamy go (siebie) w sposób kompletny [15]. Mózg jednocześnie jest istotą procesu poznania otaczającego świata i służy do porządkowania całej naszej wiedzy o nim. Czy może stanowić przedłużenie ewolucji („kodu”), czy jest realizacją kodu wyższego rzędu, w którym aspekty „kota” i „kodu” są wzajemnie, nierozzerwalnie splecione [16]? Pewnej ilustracji superpozycji stanów „bytu i niebytu” kota, powiązanego jednocześnie z jego naturą



Ryc. 3. Schematyczne wyobrażenie śpiącego kota z otwartymi oczami jako będącego w superpozycji stanów martwego i żywego (jego ojciec nosił imię Erwin, rys. Barbara Spałek)

genetyczną dostarcza stan śpiącego kota z otwartymi oczami, jak to przedstawiono na ryc. 3.

W książce Schrödingera jest na końcu (i na początku) wiele wspaniałych myśli na ten temat. Nie będę więc tutaj oryginalny, jeśli powiem, że nasze własne ograniczenia umysłowe są najprawdopodobniej granicą poznania świata kwantowego, tak jak wszystkie nasze przyrządy – w swej naturze „klasyczne”. Znakomitą okolicznością jest jednak to, że przy tych wszystkich ograniczeniach umysłu potrafimy wypowiadać się na nasz własny temat, a także klasyfikować złożone zjawiska świata, który obserwujemy, opisujemy i przekształcamy. Czy zatem wystarczy kod Schrödingera–Cricka–Watsona–Gamowa i innych do znalezienia powiązania mózgu z opisem złożonego świata zewnętrznego, czy potrzebny będzie jakiś nowy „superkod”, czy też będzie to jakiś Golem, jakby chciał Stanisław Lem? To znaczy człowiek stanowiący jedność z superkomputerem. W jednym ze swoich wykładów pozwoliłem sobie na dywagację, iż powoli przechodzimy z ery „byt kształtuje świadomość” do epoki „bit kształtuje świadomość”. To drugie prowadzi do bliżej nieokreślonej „samoświadomości”. Czy zatem fundamentalny opis materialny złożoności fizyka bądź biologia przekształca się w istocie w opis informatyczny, ten ostatni z jednoznacznym wyborem z niesłychanej różnorodności mózgu? Przyjęcie takiego punktu widzenia może wymagać radykalnego zerwania z redukcjonizmem jako naczelną zasadą badań fundamentalnych w fizyce („teoria wszystkiego”) [17], a zastąpienia go koncepcją emergentności i konstrukcjonizmu. Nie ma bowiem teorii wszystkiego, istnieją osobne (emergentne) prawdy na każdym następnym etapie złożoności, nieredukowalnej do poprzedniej (biologia to nie część fizyki, mimo że respektuje jej prawa itd.).

Wracając zatem do pytania postanowionego w tytule: „kot czy kod?”, odpowiedź musi być krótka: *both*, ale na zasadzie równorzędności. Realizacja tak postawionego pytania wymaga nie tylko zmiany sposobu kształcenia fizyków w naszym kraju, ale także zmiany istotnych akcentów przy finansowaniu fizyki. A przede wszystkim – zmiany rozumienia fizyki przez tzw. fundamentalistów. Ale to już zupełnie inny temat. Fizyka pojedynczych cząstek nie wyjaśni złożoności [18]. Problem w tym, że na tym nowym etapie nie posiadamy jeszcze jednolitego opisu, gdyż dodajemy w tym opisie wiele nowych cech jakościowych (emergentnych), takich jak złamanie symetrii, dość duża dowolność opisu statystycznego procesów złożonych itd.

Autor składa podziękowania Narodowemu Centrum Nauki (NCN) za finansowanie niezależnych badań w ramach projektu MAESTRO (2012–2017).

Post scriptum

Dla bardziej zainteresowanego Czytelnika zamieściłem poniżej kilka uwag i komentarzy.

- 1) E. Schrödinger, *What is life, with Mind and Matter, and Autobiographical Sketches*, Cambridge University Press, Canto edition, 1996, tłumaczenie polskie *Czym jest życie...*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
- 2) J. D. Watson, F. H. C. Crick, *A Structure of Deoxyribonucleic Acid*, *Nature*, April 25 (1953), 7370–738. Popularne omówienie oraz pierwsze i przeglądowe prace zaangażowanych grup jest zawarte w: J. D. Watson, *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*, G. S. Stent (red.), W. W. Norton & Co., New York 1980, tłum. polskie J. D. Watson, *Podwójna helisa: Historia odkrycia struktury DNA*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1995 – bez dodatków. Wydanie polskie ukazało się najpierw pod błędnym tytułem: *Podwójna spirala*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1975. Dla porównania, oryginalna praca Nielsa Bohra o atomie została wysłana do druku 100 lat temu (5 kwietnia 1913 r.), por. N. Bohr, *Phil. Mag.* 26 (series 6) (1913), 1–25.
- 3) F. Crick, *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery*, Basic Books Inc., New York 1988, tłum. polskie: *Szalona pogoń. W poszukiwaniu tajemnicy życia*, Wyd. MARABUT, Oficyna Wyd. Volumen, 1996.
- 4) J. D. Watson, *Genes, Girls, and Gamow: After the Double Helix*, Vintage Books, New York, 2001.
- Świetnie opowiedziana historia w bardzo pikantny sposób!
- 5) M. Ridley, F. Crick, *Discoverer of the Genetic Code*, Atlas Books, London 2008.
- 6) E. Schrödinger, *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik*, *Naturwissenschaften* 23 (1935), 807–812, 823–828, 844–849. Te trzy artykuły ukazały się po angielsku, m.in. w tomie *Quantum Theory and Measurement*, J. A. Wheeler, W. H. Żurek (red.), Princeton University Press, Princeton 1983, 152–167. Należy wspomnieć, iż w tym samym roku ukazała się praca A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?*, *Phys. Rev.* 47 (1935), 77780. Ta pierwsza praca pokazuje rzeczywistą paradoksalność opisu kwantowego opierającego się na zasadzie superpozycji stanów kwantowych obiektu („obrazie falowym”), która z kolei została pięknie omówiona w podręczniku P. A. M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics*, wyd. czwarte, Clarendon Press, Oxford 1958, szczególnie rozdział I, § 1–5. Ta druga z tej paradoksalności zasady superpozycji wywodzi na przykładzie, iż godzi ona w podstawowe zasady fizyki klasycznej, a mianowicie np. w zasadę przyczynowości. I tak jest, dopóki akceptuje się opis klasyczny, który można nazwać zdroworozsądkowym.
- 7) J. Spałek, *Emergentność w Prawach Przyrody i Hierarchiczna Struktura Nauki*, *Postępy Fizyki* 63 (2012), 8–18.
- 8) L. Lederman, D. Teresi, *Boska cząstka*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2012.
- 9) M. Cobb, *What is life? The physicist who sparked the revolution in biology*, <http://www.guardian.co.uk/science/blog/2013/feb/07/wonders-life-physicist-revolution-biology>.
- 10) *Szyfr życia zawarty w DNA*, www.rp.pl/artukul/98458.html (Rzeczpospolita 28/02/2013), M. Kosobudzka, *DNA nieznanne jak kosmos* (Rzeczpospolita 04/05/2013).
- 11) Pięknym wprowadzeniem do fizyki układów złożonych jest np. wywiad z Ryszardem Kutnerem (UW), *Pytania o współczesną fizykę*, *Fizyka w Szkole* nr 1 (2013) i referencje tam cytowane.
- 12) Dość przystępne omówienie teorii Ginzburga–Landaua–Gorkowa można znaleźć w: K. Fosshim, A. Sudbø, *Superconductivity*, J. Wiley & Sons, Chichester 2004.
- 13) C. M. Varma, *Higgs Boson in Superconductors*, *J. Low Temp. Phys.* 126 (2002), 901–909.
- 14) Dość ciekawe, ale wielowątkowe i popularne omówienie ewolucji teorii informacji można znaleźć w:

- J. Gleick, *Informacja*, tłum. polskie: wydawnictwo Znak, Kraków 2012.
- 15) Interesującą i absolutnie podstawową rzeczą jest konfrontacja naszych koncepcji kwantowych w zastosowaniu do zjawisk w układach żywych. Negatywną opinię dotyczącą ich stosowalności można znaleźć np. w eseju E.P. Wigner, *The Limitations of the Validity of Present – Day Physics*, w zbiorze *Nobel Conference XVII: Mind in Nature* R.Q. Elvee (red.), Harper & Row, Publishers, San Francisco 1982. Te koncepcje wydają się być już przestarzałe.
- 16) Temat dualności mózg – rozum (*brain – mind problem*) w ujęciu historycznym został poruszony np. w: M. Delbrück, *Mind from Matter?*, Blackwell Scientific Publications, Inc., Palo Alto 1986. W kontekście współczesnych badań nad tym zagadnieniem należy wymienić wspaniały esej, w którym autor porównuje możliwość zrozumienia świata kwantowego do nowego typu teorii informacji, zob. G. Brassard, *Is information the key?*, *Nature Physics* 1 (2005), 2–4.
- 17) Kwestie „redukcjonizmu” („teoria wszystkiego”) i „konstruktywizmu” (tj. emergentności cech umysłowych) zostały omówione w książce: A. Scott, *Stairway to the Mind*, Springer-Verlag, New York 1995, tłum. polskie: *Schody do umysłu*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- 18) Piękną ilustracją procesu dojrzewania koncepcji dotyczącej bozonu Higgsa w fizyce cząstek elementarnych jest pojawienie się najpierw takiej koncepcji w teorii nadprzewodnictwa, wprowadzonej przez P.W. Andersona. Popularne, ale dokładne omówienie tych koncepcji można znaleźć w książce: F. Close, *Zagadka nieskończoności – Kwantowa teoria pola na tropach porządku Wszechświata*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2013.

Nota dodana przy korekcie (03/01/2014). Próby unifikacji opisu układów kwantowych i złożonych poprzez jednolity opis cyfrowy (np. automaty komórkowe Wolframa) zostały omówione w sposób popularny w książce R. Kurzweila, *Nadchodzi osobliwość – Kiedy człowiek przekroczy granice biologii*, Kurhas Publishing, Warszawa 2013, szczególnie rozdział drugi i przypisy.

Spór stulecia: kontrowersja wokół zimnej fuzji

Ludwik Kowalski

Montclair State University, NJ, USA

Streszczenie. Dziedzina badań zwana Zimną Fuzją (ZF) jest areną starć pomiędzy wysoko-kwalifikowanymi naukowcami. Spór z nią związany, trwający już od 24 lat, jest znamienny z powodu dwóch interwencji rządu amerykańskiego i częstych pogwałceń podstawowych zasad metodologii naukowej.

Wprowadzenie

Metodologia naukowa [1, 2] to zbiór norm opracowanych w celu radzenia sobie z błędami i sporami w badaniach naukowych. Większość błędów wykrywa się lokalnie, podczas dyskusji z kolegami albo podczas przeglądów nadesłanych publikacji. Błędy znalezione w opublikowanych artykułach poprawia się później, w trakcie badań prowadzonych przez innych specjalistów. Wyniki poprawnych badań naukowych, jak pisze Huizenga, muszą być powtarzalne. Wykrycie i usunięcie błędów prowadzi do powrotu do normalnego rozwoju, zazwyczaj bez komentarzy prasowych [3]. Proces naukowy, innymi słowy, powinien być samonaprawczy.

Tak zwana „metoda naukowa” nie jest listą przykazań boskich. Jest to zbiór przepisów sformułowanych przez naukowców i przez tych, którzy ich obserwują. Autor tego artykułu, polsko-amerykański fizyk jądrowy na emeryturze, uczestniczył w kilku międzynarodowych konferencjach poświęconych ZF. Poza tym brał udział w badaniach naukowych, których celem było potwierdzenie trzech opublikowanych wyników doświadczeń z zakresu ZF. Ani jeden z tych wyników nie został potwierdzony.

Spór na temat ZF rozpoczął się w roku 1989, po sensacyjnym wywiadzie prasowym Fleischmanna i Ponsa (F&P). Zdarzenie to [4, 5, 6, 7, 8] podzieliło naukowców na dwa zwaśnione obozy [9, 10, 11, 12, 13, 14] i stało się przykładem niebywałej sytuacji, kiedy to rozwój naukowy został zahamowany przez dwie formalne interwencje rządu amerykańskiego.

1. Rola teorii naukowych

Dlaczego konflikt wokół ZF trwa tak długo? Ponieważ dane eksperymentalne w tej dziedzinie nadal są niepowtarzalne i ponieważ są one sprzeczne z ogólnie przyjętą teorią reakcji jądrowych. Teoria jest logiczną strukturą matematyczną, z którą zgadza się duża liczba potwierdzonych wyników doświadczalnych. Oto podstawowa zasada przyjętej metodologii: teoria kieruje, a praktyka decyduje.

Naukowcy niechętnie odrzucają przyjęte teorie. Nalegają na to, by przeczące im fakty były skrupulatnie sprawdzane. Mając to na uwadze, Huizenga [3] pisał, że „musimy się liczyć z możliwościami błędów doświadczalnych”. Teorie nie są wyrzeźbione w kamieniu, naukowcy nie wahają się zmieniać lub odrzucać teorie – w razie potrzeby. Odrzucanie faktu na podstawie niezgodności z istniejącą teorią jest znacznie mniej przekonujące niż odrzucanie go na podstawie niezgody z wynikami innych podobnych doświadczeń. W tym sensie metody weryfikacji twierdzeń w naukach przyrodniczych i społecznych są podobne. Teorie naukowe to modele obiektywnej rzeczywistości.

2. Poziomy zaufania do naukowych twierdzeń

Odkrycia doświadczalne są zazwyczaj publikowane i sprawdzane przez innych specjalistów. Powtarzalność wyników uważa się za najlepszą gwarancję prawidłowości publikowanych twierdzeń. Brak powtarzalności prowadzi zwykle do podejrzeń o błędy lub nieuczciwość. Metody sprawdzania teorii są nieco inne. Nowe

teorie naukowe również są publikowane i sprawdzane przez specjalistów.

Ich stopień zaufania do nowej teorii zależy od wiarygodności jej wstępnych założeń, od rygoru analizy logicznej i od zgodności z danymi doświadczalnymi. Nawet najbardziej wiarygodna teoria naukowa, prawo przyrody, musi być odrzucona lub poprawiona w wypadku konfliktów z potwierdzonymi danymi doświadczalnymi [14]. Tego rodzaju konflikty są rzadkie – ale mogą prowadzić do rewolucji naukowych [15].

Próby wytłumaczenia faktów i próby rozwiązania konfliktów logicznych zwykle prowadzą do odkryć innych faktów. Klasycznym przykładem było odkrycie planety Neptun w roku 1846. Nowszym i mniej znanym przykładem było odkrycie neutrino. Dane doświadczalne, zebrane w roku 1920, wykazały, że średnie energie promieni beta (elektrony emitowane z jąder atomowych) są często niższe niż oczekiwano. Austriacki fizyk teoretyk, W. Pauli, rozwiązał tę „logiczną sprzeczność”, sugerując, że brakująca energia wynosi na jest przez nieznaną wówczas cząstkę, później nazwaną neutrino. Ta hipoteza została sformułowana w roku 1933. Eksperymenty potwierdzające istnienie neutrino przeprowadzono 23 lata później.

3. Niefortunna terminologia

Istotą odkrycia ogłoszonego przez F&P był „nadmiar ciepła”. Ich urządzenie produkowało więcej energii cieplnej niż ilość dostarczanej energii elektrycznej. Próbując ustalić priorytet, pod naciskiem administracji Uniwersytetu Utah, naukowcy ogłosili swoje wyniki na sensacyjnej konferencji prasowej (23 marca 1989 r.). To przedwczesne ogłoszenie odkrycia zostało im narzucone; osobiście woleli badać ZF jeszcze przez rok albo dwa [16]. Nieszczęśliwa nazwa zjawiska, „zimna fuzja”, również została im narzucona. Dlaczego nieszczęśliwa? Ponieważ nazwa ta stworzyła nieuzasadnione mniemanie, że mechanizm ZF jest podobny do mechanizmu tzw. gorącej fuzji, z tą tylko różnicą, że reakcja zachodzi przy znacznie niższych temperaturach.

Taka interpretacja przeczyła temu, co wiadome już było na podstawie kilku dziesięcioleci badań fizyki jądrowej. W swojej pierwszej publikacji [4] F&P piszą o emisji energetycznych cząsteczek: $1H$, $3H$ and $3He$. Było to zupełnie bezpodstawne. Jedyne, o czym wiedzieli, to pozytywny bilans energetyczny – przewaga wytwarzanej energii cieplnej nad dostarczaną energią elektryczną. Twierdzenie, że przewaga ta świadczy o fuzji jądrowej, nie było oparte na wynikach badań laboratoryjnych.

Ten błąd, popełniony przez F&P, był niedawno omawiany na prywatnym forum internetowym dla ba-

daczy ZF. Wypowiadając się na ten temat, napisałem, że w obecnej nienormalnej sytuacji „artykuły opisujące wyniki doświadczalne nie powinny zawierać teoretycznych rozważań”. Nie zgadzając się ze mną, inny uczestnik [17] dyskusji skomponował następujące fikcyjne zakończenie pierwszej publikacji o wykryciu ZF:

„Nasze skrupulatne pomiary laboratoryjne wykazały, że ilość wytwarzanego ciepła przewyższa ilość dostarczanej energii elektrycznej. Nadmiar energii nie jest więc wynikiem błędów. Nie jest on również skutkiem znanych reakcji chemicznych. Wiemy poza tym, że nadmiar energii, przy użyciu ciężkiej wody, jest znacznie wyższy od nadmiaru energii, w podobnych doświadczeniach, przy użyciu zwykłej wody. Te niezaprzeczalne fakty skłaniają nas do następującej hipotezy – wielokrotnie mierzone nadmiary energii mogą być wynikiem jakichś reakcji jądrowych. Tego rodzaju spekulacje uważamy za przedwczesne; nie znaleźliśmy żadnych produktów reakcji jądrowych w ilościach odpowiadających mierzonym nadmiarom energetycznym”.

Zgadzam się, że takie zakończenie pierwszego artykułu o ZF byłoby bardzo pożądane, szczególnie gdyby publikacja artykułu nie była poprzedzona sensacyjnym ogłoszeniem prasowym. Tylko zawodowi elektrochemicy wiedzieliby o odkryciu. Niektórzy z nich od razu spróbowaliby potwierdzić istnienie nadmiaru energetycznego. Dalsze wydarzenia zależałyby od wyników potwierdzeń laboratoryjnych. Brak potwierdzeń doprowadziłby do stopniowych systematycznych poszukiwań błędów; potwierdzenia, natomiast, doprowadziłyby do wzmożonych wysiłków teoretycznych. Nadmiar ciepła byłby zrozumiany później, prawdopodobnie po kilku latach.

Sensacyjne ogłoszenie nadmiaru ciepła, rzekomo wyprodukowanego przez zimną fuzję jądrową, było sprzeczne z przyjętym sposobem dzielenia się wynikami badań doświadczalnych. Podobny błąd popełniony był niedawno przez innego badacza ZF, Andreo Rossi [13]. Jego sensacyjny reaktor, rzekomo produkujący ogromne ilości nadmiaru ciepła, nadal nie jest formalnie opisany.

4. Dwie interwencje rządowe w USA

Znaczenie praktyczne potwierdzonej ZF zostało natychmiast w Ameryce rozpoznane. Jedni radzili, by zaprzestać badań w dziedzinie gorącej fuzji, kosztujących miliardy dolarów, i zainwestować w badania nad ZF. Inni twierdzili, również przedwcześnie, że takie posunięcie zablokowane by zostało przez tych, których „żywotne interesy” zależą od istniejących już zobowiązań rządowych.

Reagując na tego rodzaju rozważania, amerykańskie ministerstwo energii (DOE) od razu powołało specjalną komisję doradczą, ERAB (*Energy Research Advisory Board*). Było to w roku 1989. Przewodniczącym był znany fizyk jądrowy, John Huizenga. Polecenia tej komisji [18], ogłoszone po kilku miesiącach od jej stworzenia, wpłynęły negatywnie na normalny rozwój nauki amerykańskiej. Istniejące wówczas poparcia finansowe badań ZF przez organizacje rządowe zostały praktycznie zawieszono.

Podobna komisja doradcza [19] stworzona została 15 lat później. Składała się ona z 18 specjalistów. Ich zadaniem było sprawdzenie wiarygodności opublikowanej korelacji pomiędzy wytwarzaniem helu, podczas ZF ($2D + 2D \rightarrow 4He$), i nadmiarem ciepła. Czy prawdą jest to, że mniej więcej 24 MeV energii cieplnej wydziela się na każdy wytworzony atom helu? Wynik taki byłby zgodny z przewidywaniem teoretycznym, opartym na dobrze znanej formule $E = mc^2$. Ale badania laboratoryjne nie należały do obowiązków członków komisji rządowej. Zadaniem ich było przeczytanie sprawozdania naukowego, napisanego przez pięciu badaczy ZF [20], i głosowanie na temat jego wiarygodności. Głosowanie nie należy do metod rozstrzygnięcia sporów naukowych.

Ideologicznie i politycznie umotywowane odrzucenia twierdzeń naukowych nie są nowością historyczną. Giordano Bruno i Galileusz też byli politycznie prześladowani. Do innych przykładów należy Łysenkoizm – dyskryminacja genetyków przez Stalina. A cybernetyka, zgodnie z sowieckim *Krótkim słownikiem filozoficznym*, zdefiniowana była jako „burżuazyjna pseudonauka na usługach amerykańskiego imperializmu”. Co należy robić, aby zapobiec podobnym dyskryminacjom naukowców w Stanach Zjednoczonych?

5. Zakończenie: więcej pytań niż odpowiedzi

Długotrwałe spory o odkrycia naukowe nie są nowością. Dane doświadczalne Alfreda Wegenera, potwierdzające teorię dryfu kontynentalnego, odrzucane były przez większość geologów przez 50 lat. Konflikt ten różnił się jednak od trwającego teraz konfliktu dotyczącego ZF. Mam na myśli dwie interwencje rządowe i wysoki poziom oponentów. Huizenga, którego znałem osobiście, był niezaprzeczalnie czołowym uczonym w skali światowej. To samo odnosiło się do Fleischmana; był on światowej sławy elektrochemikiem [21].

Długotrwały zatarg o ZF jest sytuacją społeczną, w której samonaprawczy proces rozwoju nauki nie działa jak należy. W jakim stopniu jest to spowodowane trudnościami pracy w zupełnie nowej dziedzinie? W jakim stopniu zależy to od konkurencji, chci-

wości, zazdrości i innych czynników „natury ludzkiej”? Pytania takie [22] warto sobie zadawać w kontekście rozważań na temat nauki i społeczeństwa. Jedno jest niezaprzeczone – świat nadal czeka na pierwsze urządzenie, w którym jakiś proces chemiczny, np. elektroliza, wywołuje jakiś proces jądrowy, na przykład emisję cząstek alfa, neutronów lub promieni gamma.

Kiedy postęp w dziedzinie ZF stanie się możliwy? Gdy zjawiska staną się powtarzalne na zawołanie. Biorąc pod uwagę potencjalne korzyści ZF i stosunkowo niskie koszty badań w tej dziedzinie, DOE powinno było pomóc w rozwiązaniu zagadki niepowtarzalności. Dlaczego tego nie zrobiono? Dlaczego wybrani specjaliści nie wykonali ani jednego doświadczenia ZF? Dlaczego pozwolono na stagnację tej dziedziny? Pytania te również należą do debat na temat nauki i społeczeństwa. Jaka jest szansa, że minione 24 lat uznane kiedyś będą za bolesny początek nowego sposobu myślenia (nowego „paradygmatu”), podobnego do tych opisanych przez Kuhna [15]? Jaka jest szansa, że lata te uznane będą za okres rozkwitu pseudonauki, opisywanej przez Lungmuira [24]?

Literatura

- [1] K. Pearson, *The Grammar of Science*, Meridian Books, Inc., New York 1957.
- [2] R. K. Merton, *The Normative Structure of Science* [w:] R. K. Merton, *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations* (Chicago, 1942), University of Chicago Press, 1979, 267–278.
- [3] J. R. Huizenga, *Cold Fusion: The Scientific Fiasco of the Century*, Oxford University Press, wyd. 2, Oxford 1993.
- [4] M. Fleischmann, B. S. Pons, M. Hawkins, *J. Electroanal. Chem.*, 261, 301 (1989).
- [5] F. D. Peat, *Cold Fusion*, Contemporary Books, Chicago 1989.
- [6] E. F. Mallove, *Fire from Ice: Searching for Truth Behind the Cold Fusion Furor*, John Wiley & Sons, Inc., New York 1991.
- [7] F. Close, *Too Hot to Handle: the Race for Cold Fusion*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey 1991.
- [8] G. Taubes, *Bad A Science: the Short Life and Weird Times of Cold Fusion*, Random House, New Park 1993.
- [9] R. L. Park, *Voodoo Science: The Road from Foolishness to Fraud*, Oxford University Press (November 15), 2001.
- [10] E. Storms, *The Science of Low Energy Nuclear Reaction: A Comprehensive Compilation of Evidence and Explanations About Cold Fusion*, World Scientific, 2007.
- [11] L. Kowalski, *Cold Fusion: Reality or Fiction*, *Progress in Physics*, April 2012, L17–L19.
- [12] J. Driscoll et al., *Issues Related to Reproducibility in a CMNS Experiment*, *Journal of Condensed Matter Nuclear Science* 2011, vol. 5, 34–41.

- [13] L. Kowalski, *Rossi's Reactors – Reality or Fiction?* Progress in Physics, 2012, vol. 1, 33–35, http://www.ptep-online.com/index_files/2012/PP-28-07.PDF.
- [14] K. R. Popper, *Science as Falsification*, 1963, http://www.stephenjaygould.org/ctrl/popper_falsification.html.
- [15] T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1996.
- [16] M. Fleischmann w prywatnej rozmowie w 2003 roku po prezentacji odczytu: *Background to Cold Fusion: The Genesis of a Concept* [w:] Proceedings of the 10th International Conference on Cold Fusion, World Scientific, 2006, patrz H. Lietz, S. Krivit: <http://csam.montclair.edu/~kowalski/cf/208fleischmann.html>.
- [17] Abd ul-Rahman Lomax, <http://csam.montclair.edu/~kowalski/cf/414sample.html>.
- [18] *Raport DOE-1989*, <http://lenr-canr.org/acrobat/ERABreportofth.pdf>.
- [19] *Raport DOE-2004*, <http://lenr-canr.org/acrobat/DOEreportofth.pdf>.
- [20] P.L. Hagelstein et al., <http://lenr-canr.org/acrobat/Hagelsteinnewphysica.pdf>.
- [21] J. O'M. Bockris, *On Martin Fleischmann: An Obituary and More*, Journal of Condensed Nuclear Matter 11 (March 2013), 1, <http://www.iscmns.org/CMNS/JCMNS-Vol11.pdf>.
- [22] L. Kowalski, *Cold Fusion Is Not Voodoo Science*, wspomnienia osobiste, <http://csam.montclair.edu/~kowalski/cf/403memoir.html>.
- [23] I. Langmuir, *Colloquium on Pathological Science*, 1953, <http://www.cs.princeton.edu/~ken/Langmuir/langmuir.htm>.



Ludwik Kowalski – polsko-amerykański fizyk jądrowy, emerytowany profesor Uniwersytetu Stanowego Montclair w Montclair, New Jersey. Urodzony w Polsce w 1931 r., początkowo pracował w Instytucie Radowym w Warszawie. W 1963 roku uzyskał doktorat z Fizyki (Sorbona) i po krótkim pobycie w Polsce przeniósł się na Uniwersytet Stanowy Montclair.

Stwórca lubi fizyków

rozmowa z profesorem Iwo Białynickim-Birulą

Rozmawiał Piotr Tomczak

Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

Piotr Tomczak: *Panie profesorze, kto był faktycznym promotorem Pańskiej pracy doktorskiej?*

Iwo Białynickim-Birula: Nie było właściwie promotora. W tamtych czasach wyglądało to trochę inaczej niż teraz. Nie było to aż tak sformalizowane. Infeld kiedyś powiedział: „No, powinien Pan jakiś doktorat...”. Odpowiedziałem: „Coś tam mam” i złożyłem to, co było. Infeld tego oczywiście nie przeczytał, bo praca nie dotyczyła grawitacji, czym wówczas się zajmował. Tak to wyglądało.

Wspomina Pan również profesora Rubinowicza. Czy on miał jakiś wpływ na Pański doktorat?

Nie. Jeżeli ktoś miał na to jakiś wpływ, to Jerzy Plebański, polsko-meksykański fizyk.

To przypomina nieco sposób robienia doktoratów w ośrodkach, w których pewne rzeczy są nieugruntowane i ludzie są zostawiani sami sobie. I mamy taką sytuację: jeśli doktorat wyjdzie, to wyjdzie, a jeśli nie wyjdzie, to nie wyjdzie.

Nie. To nie było tak. Opiekę nad całym Instytutem sprawował Infeld. Wiedział, kto jest kim. Systematycznie chodziłem na jego seminarium. Nie było tak, że ludzie byli pozostawieni sami sobie. Była ta „czapka” na górze w postaci Infelda, który podejmował strategiczne decyzje.

Czuwał nad wszystkimi?

Czuwał nad tymi, nad którymi chciał czuwać. W Instytucie był również Rubinowicz. Infeld nie mieszał się do tego, co Rubinowicz robił. Ich stosunki były poprawne, ale powiedziałbym, dosyć chłodne.

W swoich Wspomnieniach Infeld pisze, że poziom fizyki, który zastał, był raczej niski.

Sytuacja była wyjątkowa, to działo się po wojnie, która przetrzebiła zasoby ludzkie. W porównaniu z uniwersytetami amerykańskimi czy kanadyjskimi, które

Infeld znał, to rzeczywiście było dosyć słabo. Poza tym panowała tradycja przedwojenna, kiedy była jedna katedra, jeden profesor, jeden asystent. Dopóki profesor nie przeszedł na emeryturę, delikatnie mówiąc, nic się nie zmieniało. Infeld wprowadził system instytutowy. Władza ludowa także była zainteresowana tym, aby tych feudałów troszeczkę ukrócić. Zmiany nastąpiły też po 1968 roku, kiedy zlikwidowano katedry w sensie przedwojennym. Ale wcześniej Infeld zastał sytuację, że był Rubinowicz, który miał katedrę. Był jeszcze Białobrzęski – filozofujący, dobry fizyk. Gdyby nie I wojna światowa, byłby autorem odkrycia z dziedziny astrofizyki: prawa ciśnienia promieniowania w gwiazdach. Dokonał tego, gdy był w Rosji. Zanim wiedza o tym dotarła do opinii publicznej, osiągnięcie przypisano Edingtonowi i Białobrzęski pozostał niedoceniony. Po wojnie zajął się filozofią fizyki.

Jest jego książka – raczej nietypowa dla filozofii i nie stroniąca od matematyki.

To był bardzo dobrze wykształcony fizyk. Po wojnie zainteresował się jednak zagadnieniami z pogranicza filozofii i fizyki. Tak to wyglądało. Infeld wprowadził spory ferment, zatrudnił nowych ludzi i stworzył Instytut. Miał bardzo dobre doświadczenia do władzy, „czerwony telefon” na biurku i mógł dzwonić, do kogo chciał, dopóki to się nie skończyło w latach sześćdziesiątych.

Wtedy sytuacja odmieniła się.

Instytut przetrwał te zmiany i komplikacje natury politycznej, jakoś z tego wyszedł. Nie było żadnych polowań na czarownice albo czegoś podobnego. Poza tym Infeld bronił fizyki przed zakusami pseudofilozofów, bo wtedy w Związku Radzieckim, na przykład...

...zakazano teorii względności?

Nie. Trzeba powiedzieć, że sprawa była nieco bardziej skomplikowana. Bardzo ważną rolę odegrał tu

Ławrentij Beria. Kiedy już rozprawiono się z genetyką, Łysenko zaczął triumfować i ludzie jego pokroju doszli do wniosku, że trzeba się dobrać do fizyki. Była świetna okazja, aby oskarżyć fizyków, że ulegają wpływom idealistycznym. Miał być zorganizowany kongres, na którym by potępiono Einsteina, Schrödingera i innych. W Polsce to też miało swoje odbicie. Była taka grupka – pan Kopeć, pani Jaszczyn i inni – która wydawała materiały potępiające różnych zachodnich fizyków.

Wracając do Berii – z tego, co wiem, został poinformowany, że fizyka, którą chcą potępić, to jest broń jądrowa. I jeżeli on chce to zlikwidować...

Czyli weszli mu na ambicję...

...a on był w biurze politycznym od tych spraw. Między innymi decydował o lokalizacji Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej pod Moskwą – bo tam lubił polować na kaczki i uznał, że to dobry teren. Najpierw powstał instytut radziecki, potem przekształcono go w ośrodek międzynarodowy. Ta dziedzina była pod opieką Berii. W Polsce Infeld starał się pilnować, aby fizyka była poza zasięgiem polityki. Były konferencje w Spale, na których bronił się przed tymi manipulacjami.

Starał się nie dopuścić do zmarginalizowania fizyki.

Tak. I to na wiele sposobów. Wprowadził zwyczaj konwersatoriów w języku angielskim. Dzięki temu, gdy młody człowiek wyjeżdżał za granicę, nie po raz pierwszy приходило mu mówić po angielsku. Infeld włożył wielki wysiłek w to, żeby otworzyć polską fizykę na świat. Między innymi był przewodniczącym komisji w Akademii Nauk, która opiniowała wyjazdy zagraniczne. Zawsze w tej komisji zadawał pytania po angielsku. Przez osobiste kontakty załatwiał młodym ludziom wyjazdy – właśnie w taki sposób pojechałem do Rochester. Infeld uważał, że dla dalszego rozwoju lepszy jest niezbyt duży uniwersytet. W dużym człowiek się gubi. Zasugerował, aby w moim przypadku był to Uniwersytet w Rochester.

Ile Pan zawdzięcza temu wyjazdowi?

Niewątpliwie ten wyjazd odcisnął pewne piętno. Potem jeszcze wielokrotnie byłem w Ameryce – właśnie dzięki kontaktom, które wtedy nawiązałem. Jednakże w tych czasach, a mówię o wczesnych latach sześćdziesiątych, zaraz po wystrzeleniu sputnika przez Rosjan, Ameryka zrobiła ogromną zmianę swojej polityki i wtedy praktycznie każdy fizyk mógł wyjechać. Dostawał tam rozsądne warunki do pracy, w odróżnieniu od lat późniejszych.



Na wyspie Gomera, w tle wulkan Teide

Chciałbym teraz wrócić do lat, które zadecydowały o Pana karierze, to znaczy do momentu, kiedy wygrał Pan Olimpiadę Fizyczną.

Tak. Tylko trzeba pamiętać, że mój udział w Olimpiadzie Fizycznej to był wynik moich wcześniejszych zainteresowań. W liceum miałem bardzo dobrego nauczyciela fizyki, pana Krzyżanowskiego. Przedtem był on asystentem we Lwowie na uniwersytecie, potem osiedlił się w Rzeszowie. Liceum Mechaniczne, do którego chodziłem, to była kontynuacja przedwojennej tradycji. Te licea w zasadzie były wyższymi uczelniami, jeżeli chodzi o poziom. Był wykład z matematyki, który obejmował matematykę wyższą, to znaczy różniczkowanie i całkowanie, równania różniczkowe. Były wykłady techniczne na wysokim poziomie, materiałoznawstwo na poziomie szkół inżynierskich – i dlatego, że to było na wysokim poziomie, nie miałem problemów z Olimpiadą. Jeden z problemów na Olimpiadzie był prosty: pręt wirował i trzeba było powiedzieć, przy jakiej prędkości kątowej się rozerwie. Zrobiłem to, całkując. Była to elementarna całka i uzyskiwało się rozwiązanie. Wychodziło to bardzo prosto i dzięki temu zdobyłem pierwsze miejsce. Ale część tej zasługi niewątpliwie należy przypisać mojej szkole. Nie tylko zresztą Olimpiada mnie wprowadziła do świata fizyki – były też bardziej przyziemne powody. W międzyczasie przekształcono moje liceum w technikum i zaczęły obowiązywać PRL-owskie zasady. Po ukończeniu technikum był nakaz pracy, bez żadnych wyjątków. Ponieważ wtedy w Rzeszowie rozwijał się przemysł lotniczy, pewnie poszedłbym w tę stronę. Ale dzięki zwycięstwu w Olimpiadzie miałem zagwarantowany wstęp na studia i dalej już się potoczyło.

To tak prosto się mówi. Ale wygrać Olimpiadę nie jest łatwo. Wygrywa najlepszy, tak prosto się tego nie robi.

Tak. Włożyłem w to pewien wysiłek. Pamiętam zbiór zadań Zillingera. Cały ten zbiór przerobiłem.

Co, Pana zdaniem, jest konieczne, aby w jakimś miejscu i w jakimś czasie pojawiły się nowe idee fizyczne?

Nikt nie wie, jak się pojawiają idee. Gdyby było wiadomo, to wszyscy by mieli dobre idee!

Jestem realistą i uważam, że ważną rzeczą jest warsztat. Poza tym, żeby coś zrobić, trzeba mieć to, co Niemcy nazywają *Sitzfleisch* (niem. wytrwałość), to znaczy trzeba umieć przysiąść fałdów. To nie jest tak, że można mieć genialny pomysł, z którego później coś wielkiego wychodzi. Aczkolwiek jest parę przykładów, kiedy ludzie mieli dobry pomysł bez *Sitzfleischi*. Tylko, na ogół, to dopiero inni wprowadzali go w życie. Na przykład mistrzem takich genialnych pomysłów był Stanisław Ulam, który rzucał nimi na lewo i prawo. Innym przykładem był Leo Schilard, genialny Węgier. W końcu jego pomysły zostały przetłumaczone na twardą fizykę i – oczywiście – za te pomysły go ceniono. Jednakże duże odkrycia zawsze związane były z wyrobniczą działalnością: coś trzeba było porządnie policzyć, a do tego trzeba było mieć warsztat.

Ze współczesnych taką osobą, która ma warsztat, jest Weinberg.

Niewątpliwie. Weinberg przypomina maszynę do uzyskiwania wyników. Jest może nawet przesadnie wyrobniczy. Jego książki są niesłychanie szczegółowe i trochę giną w nich idee. Zarzuciłbym mu, że miejscami jest może mało elegancki.

Ale skuteczny.

No właśnie. To jest ten warsztat. Jest poza tym niesłychanie wszechstronny. Napisał trzy tomy o teorii pola, monografię o ogólnej teorii względności i ostatnio podręcznik do mechaniki kwantowej. Poznałem go, gdy byłem z kilkumiesięczną wizytą w MIT. Chodziłem na jego wykład, niezwykle twardy, z teorii względności. Potem wykład został zamieniony na podręcznik, który też nie jest elegancki.

No cóż, „elegancję zostawmy krawcom”.

Tak, ale elegancja jest miła.

Wzorem fizyka-artysty był niewątpliwie Feynman.

Właśnie. Feynman był elegancki. Piękna postać. On wniósł do fizyki bardzo wiele. Jego idee są stale aktualne.



Z Richardem P. Feynmanem podczas Konferencji w Jabłonnej, 1962 r.

Szczególnie sformułowanie mechaniki kwantowej w języku ciekawych po trajektoriach.

Ale on tego aż tak nie cenił. Pracą, którą Feynman najbardziej cenił, była praca z Gell-Mannem na temat sprzężenia V-A. Była to twarda fizyka – wynik. Natomiast tamto – to był tylko pewien obraz, który był wygodny, a później przyjęty, ale to nie był wynik mający bezpośrednio związek z doświadczeniem. Natomiast V-A? Nie pamiętam, skąd to wiem, ale gdzieś się nawet negatywnie o udziale w tym Gell-Manna wypowiedział. Stwierdził, że jednak on to zrobił. Natomiast Gell-Mann, który też był rodzajem Weinberga, był niesamowicie sprawny technicznie.

Jednak to sformułowanie Feynmana dostarczyło znakomitych narzędzi obliczeniowych.

Tak, ale Dyson to samo by obliczył bez diagramów Feynmana, w końcu jego formalizm był zupełnie równoważny, gdy dochodziło do obliczenia tych ciekawych.

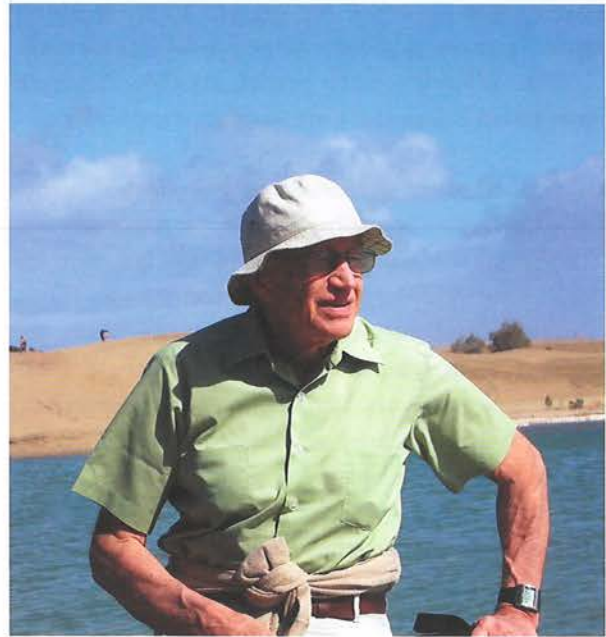
Jest, oczywiście, metoda Feynmana łączenia mianowników, ale to jest zabieg techniczny, natomiast cała strona teoretyczna była rozwinięta przez Dysona, który zresztą bardzo niesprawiedliwie i krzywdząco został potraktowany przez Komitet Noblowski. To było zupełnie równorzędne, nie mówiąc o tym, że Schwinger także to zrobił. Też miał propagatory – oznaczał je inaczej niż Feynman, ale to były propagatory Feynmana. Schwinger, zresztą – to była maszyna. Pracował głównie nocami. Na temat Schwingera jest anegdota, którą opowiadał mi Mark Kac, współpracujący przy projekcie radarowym w MIT ze Schwingerem. Obliczali dość skomplikowane rzeczy, stąd zresztą pochodzi metoda Lippmanna–Schwingera w teorii rozpraszania. Było tak, że zespół pracował normalnie, to znaczy w dzień, natomiast Schwinger przychodził wieczorem i wychodził rano. Oni zostawiali mu to, co ma policzyć, on siadał w nocy, wszystko liczył i zostawiał

przed wyjściem swoje wyniki. Raz zdarzyło się, że wynik Schwingera nie spodobał się pozostałym i zostawili mu wiadomość, że coś jest niedobrze. On im odpisał „Julian is never wrong”. Jak się okazało, problem polegał na tym, że wziął przedstawienie całkowitej funkcji Bessla z książki Watsona, gdzie niezbyt wyraźnie było widać, po jakim konturze jest całkowanie i to było powodem tego błędu. Schwinger siadał i liczył od początku do końca bez skreśleń, podobnie jak Jerzy Plebański. Na przykład moje obliczenia są pokreślane. Gdy dojdę do pewnego etapu, to widzę, że to można inaczej, prościej. Zaczynam więc wszystko od początku. Natomiast Schwinger i Plebański szli od początku do końca najprostszą drogą, nigdy niczego nie przekreślając – aż do wyniku.

Czym fizyka różni się od innych nauk przyrodniczych?

Stopniem zmatematyzowania. Jest tak pewnie dlatego, że Stwórca lubi fizyków i tak skonstruował świat, że w zjawiskach fizycznych udaje się oddzielić istotne elementy od mniej ważnych poprawek. Można sobie bowiem wyobrazić świat zbudowany zupełnie inaczej. W tym świecie ruch jabłka spadającego z drzewa zależy w dużym stopniu, tak jak w astrologii, od konfiguracji wszystkich planet. Albo zależy od tego, jaki w jabłku siedzi robak. W takim, nieprzyjaznym dla fizyków, świecie nie byłoby możliwe skonstruowanie uproszczonych modeli pozwalających wytłumaczyć i opisać zjawiska fizyczne. Na szczęście tak nie jest i cała fizyka składa się właściwie z takich modeli. Od modelu punktu materialnego poruszającego się zgodnie z równaniami Newtona, poprzez dwupoziomowy model atomu i pasmowy model ciała stałego, do modelu standardowego, opisującego wszystkie znane cząstki elementarne.

Sukces fizycznego opisu świata bierze się stąd, iż mimo ograniczeń stosowalności każdego modelu udaje się kontrolować wpływ zaburzeń wywołanych przez pozostające poza modelem elementy rzeczywistości fizycznej. Niewątpliwie źródłem tego sukcesu jest struktura fizycznego świata, umożliwiająca taki modelowy opis. W innych naukach przyrodniczych sytuacja jest dużo bardziej złożona. Pomiędzy chemię, astronomię, geologię itp., które w istocie polegają na rozbudowywaniu i dostosowywaniu fizycznych modeli do pewnego zakresu zjawisk, i przejdźmy do nauk przyrodniczych, określonych jako nauki o życiu. Przedstawiciele tych nauk Stwórca wyraźnie nie lubi. Gdyby modelowanie zjawisk było w naukach o życiu tak proste i dawało tak dobre rezultaty jak w przypadku materii nieożywionej, to już dawno wyeliminowalibyśmy wszystkie choroby i stworzylibyśmy fabryki żywności, działające bez udziału roślin i zwierząt.



Na Gran Canarii

Jaka jest relacja między fizyką a matematyką? Czy matematyka dla fizyka to tylko narzędzie, czy coś więcej?

Matematyka ma różne oblicza. Jeśli chodzi o matematykę jako działalność matematyków, to różnica jest podstawowa, mianowicie zupełnie inny jest cel. Matematyka nie interesuje, czy to, co on robi, ma jakikolwiek związek z rzeczywistością. Jest to całkowicie abstrakcyjna i zaawansowana gra intelektualna. Natomiast fizyka ma na celu opis i zrozumienie rzeczywistości. I pośrodku tych dwóch aktywności mamy fizykę matematyczną, która stoi okrzakiem i właściwie nie bardzo ma sens, bo cele fizyki i matematyki są inne. Bo uprawia się albo fizykę, albo matematykę. Uprawianie dziedziny, która nie wiadomo czemu ma służyć, nie ma sensu. Jeśli się rozwija jakąś metodę, to po to, aby ją zastosować. Jeśli to jest rozwijanie tylko matematyki, to jest działalność matematyczna. I tutaj wielu naszych kolegów dostało rozstroju, bo nie wie, co jest celem tego, co robią. Musimy też pamiętać, że matematyka jest bardzo obszerną dziedziną. Studenci, kiedy powstała szkoła Maurina, człowieka o wielkiej charyzmie, skupili się wokół niego. On potrafił wielu młodych, zdolnych ludzi zachęcić i bardzo skutecznie konkurował z resztą Wydziału. Co zresztą niektórzy mieli mu bardzo za złe. Ci młodzi ludzie w pewien sposób się zdegenerowali – poszli tam bowiem z myślą, że jak nauczą się matematyki, to będą świetnymi fizykami. A okazało się, że nie można nauczyć się matematyki, bo jest ona ogromna. Nigdy nie mogę powiedzieć, że już umiem matematykę. Ta tendencja przejawiała się nawet w sposób karykaturalny, bo na przykład chcieli studiować Bourbakiego, uważa-

jąc, że kiedy przez to przebrną, to w fizyce będą mogli wszystko rozwiązać. Ale okazało się, że to nie jest tak. Niektórym udało się jakoś tę chorobę przezwyciężyć. Woronowicz jest najlepszym przykładem, także Kijowski. Natomiast inni trochę utknęli i znaleźli się na rozdrożu.

Matematyka także pozwala ocenić, co jest eleganckie. I tu mamy istotną różnicę między matematyką a naukami technicznymi. Problemy matematyczne, które są w naukach technicznych, bardzo często są nieeleganckie. Na przykład, jeśli chcemy rozwiązać problem powłoki, to wiadomo, że w tym nie ma niczego podstawowego. Natomiast jeśli spojrzymy na równanie Diraca, to zauważymy od razu, że ono jest eleganckie, bo tu znajdujemy Naturę, a prawo Natury jest podstawowe i eleganckie zarazem. Można tu przytoczyć sławne stwierdzenie Wignera, że Natura przejawia się w sposób matematyczny i dlatego fizyka jest elegancka.

Co poleciliby Pan młodym fizykom, by – uprawiając fizykę – mieli przyjemność i odnosili sukcesy?

Po pierwsze: budować warsztat. Po drugie: unikać monokultury. Po trzecie: wybrać jeden ambitny program.

Charakterystyczną cechą fizyki, w porównaniu z innymi naukami, jest znaczne ujednoczenie metod badawczych, które występuje w fizyce teoretycznej, a także – choć w mniejszym stopniu – w fizyce doświadczalnej. Jest to cecha ułatwiająca prowadzenie badań, ale także wymagająca znacznego wysiłku. Mimo postępującej specjalizacji nie wyobrażam sobie dobrego fizyka, który nie dysponowałby na co dzień elementarną wiedzą z podstawowych działów fizyki: mechaniki, termodynamiki, mechaniki kwantowej, elektromagnetyzmu itp. Stosowanie zasady 4Z (zakuć, zdać, zapisać, zapomnieć) nie ma zastosowania w fizyce. Stosując tę zasadę, można jedynie funkcjonować w roli nędznego wyrobnika. Na szczęście, cała konstrukcja gmachu fizyki ułatwia opanowanie całości, przynajmniej w ogólnych zarysach, ponieważ występujące w różnych działach fizyki koncepcje są bardzo podobne. Na przykład pojęcia energii, pędu i momentu pędu przenikają cały gmach fizyki od piwnic po dach.

Kurczowe trzymanie się tylko jednej tematyki stanowi niewątpliwie dużą pokusę. Na mojej dziedzinie znam się, mam już wyniki, jestem rozpoznawalny i uznawany przez innych pracujących w tej dziedzinie. Niebezpieczeństwa takiej monokultury są jednak znaczne. Trzeba być przygotowanym na to, że pojawi się ktoś inny, kto zrobi to lepiej lub poda inną metodę, która spowoduje, że mój dorobek będzie miał tylko historyczne znaczenie. Albo też tematyka ta zostanie wyczerpana i zamknięta. Dlatego zawsze należy mieć

w odwodzie inną tematykę, która posłuży jako koło ratunkowe.

Zdarza się dość często, że w naszej podstawowej działalności napotkaliśmy przeszkodę, której nie możemy pokonać. Dla zachowania zdrowia psychicznego doradzam w takiej sytuacji porzucenie na dzień lub dwa tej tematyki i zajęcie się czymś innym. Najlepiej mieć w zanadru na tę okoliczność jakiś dyżurny, bardzo ambitny temat, który zawsze możemy odkurzyć i nim się zająć.

Takim właśnie bardzo ambitnym tematem są na przykład tzw. podstawy mechaniki kwantowej. Chciałbym tu podkreślić, że do rozmyślań o podstawach mechaniki kwantowej nie jest potrzebny wyrafinowany aparat matematyczny. Wystarczy znajomość standardowej mechaniki kwantowej, bowiem już na tym elementarnym poziomie można stawiać pytania i szukać na nie odpowiedzi.

Jaka jest najbardziej istotna różnica między fizykiem teoretykiem a fizykiem doświadczalnym?

Warsztat. Byli tacy, którzy łączyli jedno z drugim. To udało się Fermiemu. Innych nawet trudno jest znaleźć. Warsztat jest bardzo ważny. Warsztat fizyka teoretyka jest to uporządkowana, podstawowa wiedza na temat całej fizyki. Warto do tej wiedzy dodać pomoce naukowe, na przykład umiejętność posługiwania się programami Mathematica, Maple czy też Matlab. Dodałbym do tego jeszcze własną elektroniczną bibliotekę monografii i artykułów skopiowanych z Internetu. No i oczywiście (także w postaci elektronicznej) zbiór własnych wyników, przemyśleń, udanych i nieudanych prób.

Czy jest tak, że doświadczalni fizycy z reguły wyprzedzają teoretyków?

Niekoniecznie. Znamy wiele przykładów, gdy przewidywania teoretyczne znacznie wyprzedzały doświadczenie (ogólna teoria względności, antycząstki, nowe cząstki przewidziane na podstawie symetrii), ale mamy też wiele przykładów odwrotnych (promienianie ciała czarnego, przesunięcie Lamba, nadprzewodnictwo, nadciekłość). Raz przewaga jest po jednej stronie, raz po drugiej. To jest dosyć ciekawy problem. Ostatnio postęp fizyki teoretycznej został zahamowany, natomiast rozwijają się metody doświadczalne. Udało się tu uzyskać sporo nowych wyników, które nie znalazły teoretycznego wyjaśnienia i dlatego fizyka jest teraz w dość kłopotliwej sytuacji. Jeśli chodzi o fizykę teoretyczną, to nastąpił zastój. Teoria strun zasadniczo niewiele dała, tak jak jej wielowymiarowe wersje. Widzimy więc pewien kryzys, mimo że jest sporo faktów doświadczalnych, które należałoby wyjaśnić, jak

choćby wartość stałej α , o której już Feynman mówił, że jest napisana ręką Boga, a my nie wiemy, jak on pisze.

Fizyka doświadczalna wymaga coraz bardziej skomplikowanych kosztownych narzędzi, koronnym przykładem jest tu LHC. Czy w Polsce taka fizyka może się rozwijać?

Jest tak zwana fizyka „tabletop”, która wymaga stosunkowo tanich urządzeń. I tu muszę powiedzieć, że jestem trochę zawiedziony naszymi kolegami fizykami doświadczalnymi. Poczyniono duże inwestycje. Te nakłady niewątpliwie mogłyby być źródłem lepszych rezultatów, ale nie umiem wskazać źródła niepowodzeń. Ciągłe słyszy się o tym, że zakupiono aparaturę na światowym poziomie, ale nic z tego nie wynikło. Na przykład powstało laboratorium FAMO w Toruniu. No i co? Miał być kondensat. Tylko że robienie teraz kondensatu, bez żadnego planu, co dalej, nie ma najmniejszego sensu. W tej chwili jest to zakup standardowego zestawu. Mamy więc kondensat, no i co dalej? Zrobienia kondensatu nie można nazwać nawet fizycznym rezultatem. Nie wiem, jak ten stan rzeczy naprawić. Bo środki na badania są teraz duże. Trochę szkodzi nastrój wytworzony przez polityków, żeby to się przekładało na wymierne efekty, żeby było – zgodnie z nowomową – innowacyjne. Niewątpliwie, odkrycia mogą przynieść pieniądze, ale nie natychmiast. Weźmy na przykład zjawisko magnetooporu i gigabajtowe dyski. Oczywiście jest, że odkrycie magnetooporu nie było spowodowane zamiarem zbudowania dysku.

Czy uprawianie fizyki w Polsce w tej sytuacji ma rację bytu?

To jest zagadnienie, które dotyczy nie tylko fizyki, ale nauki w ogóle. Chodzi o to, że nauka, moim zdaniem, ma dwa cele. Jeden cel jest taki, żeby coś z tego wynikło dla tych, którzy płacą podatki, z drugiej strony ma to znaczenie kulturotwórcze. I to jest ogromnie ważne, nawet ważniejsze. Dzięki temu społeczeństwo rozwija się i jest w stanie rozwiązywać praktyczne problemy. Chodzi o to, żeby stworzyć klimat, który to umożliwi.

Czy uważa Pan, że poziom nauczania zmienia się z czasem?

Nie. Główny problem jest taki, na ile w Polsce można liczyć na tak zwane talenty. Ile ich w narodzie jest? Tego nie da się przeskoczyć, bo ludzi, którzy mieliby zdolności i chęci, by to robić, jest raczej ograniczona liczba. Uważam, że poziom Olimpiad Fizycznych nie zmienia się, choć można zauważyć tu pewną rutynę. Problem z fizyką jest taki jak z innymi naukami ścisły-



Podczas seminarium na Hożej

mi, że one straciły sporo na pędzie społeczeństwa do łatwych kierunków, które miały dawać świetne życiowe możliwości. Bo w tej chwili takich, którzy mają dyplomy zarządzania, jest wielu, tylko nie mają czym zarządzać.

Wielką szkodę wyrządzili tutaj politycy, ale też świat mediów, bo brylowanie w mediach polega na tym, że się mówi: „a ja z matematyki zawsze byłem słaby”, i to ma być ogromna zaleta tego osobnika, że był taki beznadziejny. Zupełnie zignorowano prosty fakt, że matematyka daje umiejętność logicznego myślenia.

A może politykom niepotrzebni są ludzie myślący?

Pani minister Łybacka powiedziała kiedyś: „Po co mamy męczyć humanistów matematyką?”. Odpowiedziałem jej na to w ramach polemiki, że prawdziwym humanistą był Leonardo da Vinci, a w Polsce na przykład Stanisław Ignacy Witkiewicz, który był nawet autorem eseju o teorii względności. Nie wyobrażam sobie obecnie malarza, który potrafiłby cokolwiek sensownego na temat teorii względności napisać. Humanizm to całokształt działalności ludzkiej. I nauki ścisłe są jego częścią.

Jakie jest Pana zdanie w sprawie tak zwanych kierunków zamawianych?

Każde działanie, by tę nierozsądną modę, która panuje teraz, odwrócić, jest dobre. Bódcze finansowe są tu zupełnie na miejscu. Z drugiej strony także rynek odgrywa tu pewną rolę. Młodzi ludzie powoli się orientują, że po politechnice można znaleźć pracę, a po zarządzaniu – nie.

Czy inne decyzje polityczne mogłyby to zmienić?

Tak. Między innymi działania skierowane w stronę nauczycieli, których trzeba bardziej docenić. Bo skoro są stypendia dla uczniów, powinny być również dla

nauczycieli. Powinno się odpowiednio wynagradzać dobrych nauczycieli nauk ścisłych i stworzyć im porządne warunki do pracy. Państwo powinno inicjować i wspierać wszystkie inicjatywy w tym zakresie i tworzyć takie mechanizmy, aby nauczyciele byli lepsi. Nie może być tak, że kiepski, słabo wynagradzany nauczyciel to osoba na dole hierarchii społecznej.

Jak efektywnie kształcić najzdolniejszych?

Jestem przeciwnikiem tego zwyczaju, który teraz jest bardzo rozpowszechniony, a mianowicie studiów międzywydziałowych. U nas szkoła średnia dość długo trwa i absolwenci nie są tacy niedojrzali, by nie mogli podjąć decyzji, co dalej. Skakanie młodych ludzi między wydziałami nie daje dobrych rezultatów. Tym bardziej że teraz, w czasach dobrego dostępu do informacji, można się doksztalcić samemu, nie trzeba studiować kilku kierunków równocześnie, by zdobyć wiedzę. Jeśli kogoś, kto jest fizykiem, interesuje wybrany temat z biologii, może sam się doksztalcić. Nie musi być zarejestrowanym studentem biologii. Po drugie, nie wierzę w szkoły dla geniuszy. Nie jest dobrze, jeśli w szkole są sami geniusze, bo wśród nich są gorsi geniusze, którzy mają kłopoty z równowagą emocjonalną, oni się frustrują. Znam wiele przykładów, że w takiej sytuacji zdolni młodzi ludzie zupełnie się pogubili.

W Internecie są dostępne znakomite wykłady. Czy nie jest to dla nas wyzwanie?

Jest. Ale temu wyzwaniu trzeba sprostać. Z drugiej strony na wykładach jest ważna interakcja i możliwość zadania wykładowcy pytania. Trzeba więc dostosować nasze wykłady do tej konkurencji, dając możliwość stawiania pytań, na które trzeba poprawnie odpowiedzieć. Tego tamte wykłady nie dają i tym trzeba nadrabiać nasze braki.

Czy aktywności naszego środowiska, które są mniej doskonałe od tych na Zachodzie, mają rację bytu?

Tak. Pod warunkiem, że to się robi dobrze. Aczkolwiek boleję nad tym, że PTF obniża swoją rangę. I nie widzę sposobu, jak temu zapobiec.

Czy nie jest tak, że aby była ranga, to muszą być pieniądze?

Nie. A jakie pieniądze PTF miało przed wojną? Żadnych. A ranga była ogromna. Wszyscy fizycy należeli. Ale to nie jest problem PTF. To samo obserwujemy, jeśli chodzi o uniwersytety. Spójrzmy na rektorów obecnych i przedwojennych. Całkiem inny majestat. Teraz rektor to ktoś, kto czymś zarządza. A przed wojną? W Krakowie rektorem był Natanson, w Warszawie Pieńkowski. A teraz?

Od Redakcji. Profesor Iwo Białynicki Birula urodził się w czerwcu 1933 roku w Warszawie. W 1952 roku ukończył Liceum Mechaniczne w Rzeszowie, w 1956 roku fizykę na Uniwersytecie Warszawskim. W roku 1966 uzyskał tytuł profesora. Jest członkiem Polskiej Akademii Nauk i członkiem korespondentem Polskiej Akademii Umiejętności. Opublikował 10 książek i 180 artykułów naukowych. Oto ostatnie prace:

- 1) *Uncertainty relation for focal spots in light beams*, Phys. Rev. A 88 052103 (2013).
- 2) *Tying Knots in Light Fields*, Phys. Rev. Lett. 111, 105404 (2013).
- 3) *Solutions of the d'Alembert and Klein-Gordon equations confined to a region with one fixed and one moving wall*, EPL 101, 60003 (2013).
- 4) *The role of the Riemann-Silberstein vector in classical and quantum theories of electromagnetism*, J. Phys. A 46, 053001 (2013).

Jubileusz profesora Krzysztofa Parlińskiego

2-tomowa monografia, konferencja, przyjaciele

Małgorzata Nowina Konopka

Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN

50-lecie pracy naukowej profesora Krzysztofa Parlińskiego – założyciela i wieloletniego kierownika Zakładu Komputerowych Badań Materiałów Instytutu Fizyki Jądrowej PAN – było wydarzeniem, które jego pracownicy przygotowywali przez ponad rok. Chcieli szczególnie serdecznie wyrazić swój podziw i szacunek dla niezwykle bogatego dorobku naukowego profesora oraz podziękować mu za torowanie kariery i opiekę naukową. Okolicznościowy prezent – nawet kupiony w najlepszym magazynie – kwiaty czy bankiet wydały się tu zbyt banalne. Postanowili więc wydać w osobnej monografii zbiór prac naukowych profesora. Tak powstała ogromna, dwutomowa książka zawierająca kopie 218 publikacji Krzysztofa Parlińskiego, zamieszczonych w najbardziej prestiżowych czasopismach naukowych, dokumentujących całe jego naukowe życie.

Ten imponujący zbiór prac został podzielony na trzy grupy związane z okresem powstawania i tematyką. Najwcześniejsze publikacje Krzysztofa Parlińskiego, pochodzące z lat 1962–1978, dotyczą dynamicznych własności kryształów, cieczy i układów nieuporządkowanych badanych na poziomie mikroskopowym. W pierwszej, opublikowanej w 1962 r. w *Acta Physica Polonica*, Krzysztof Parliński (jedyńy autor) zastosował klasyczną funkcję autokorelacji do określenia przekroju czynnego na rozpraszanie powolnych neutronów na swobodnych molekułach. Kolejne publikacje są wynikiem eksperymentów prowadzonych na wiązce neutronów z impulsowego reaktora IBR w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej przez zespół kierowany przez prof. Jerzego Janika. Krzysztof Parliński należał do tego zespołu jako jedyny teoretyk. Przeprowadził analizę widm INS i opracował teorię zdolności rozdzielczej spektrometru. Zbiór kolejnych publikacji zespołu (głównie w *Physica Status Solidi*) dotyczył dynamiki rotacyjnej w kryształach NH_4ClO_4 i H_3OClO_4 w funkcji temperatury.

W serii prac opublikowanych w *Physica* opisano badania dynamiki sieci molekularnej dla różnych związków kompleksowych. Wyniki rozpraszania neutronów na jodku metylenu (CH_2J_2) porównano z wynikami uzyskanymi metodami elektromagnetycznymi (Raman, IR). Za pracę, w której – stosując technikę INS – zaobserwowano lokalne mody czystych atomów domieszkujących metali litu i berylu w stopach Li-Mg oraz Be-Cu, polska grupa uzyskała pierwszą nagrodę Laboratorium Neutronowego w Dubnej w 1967 r.



Krzysztof Parliński i Małgorzata Sternik

Krzysztof Parliński jest jedynym autorem wielu prac teoretycznych na temat dynamiki sieci z torsyjnymi wibracjami grup molekularnych. W swojej pracy doktorskiej przedstawił krzywe dyspersji fononów w chlorku amonowym (NH_4Cl), a jego wyniki zostały później potwierdzone eksperymentalnie przez badania neutronowe H. C. Teha i B. N. Brockhouse'a (laureata nagrody Nobla w 1994 r.).

Kolejne teoretyczne badania, z wykorzystaniem licznych zaawansowanych metod, skupiały się na ni-

skoenergetycznych widmach układów jednowymiarowych, funkcji korelacji w kryształach anharmonicznych czy modach normalnych w kryształach nieuporządkowanych. Dla uzyskania czynników strukturalnych oraz spektralnej funkcji gęstości układów wieloatomowych rozwinięto przybliżenie oparte na funkcji Greena. Szereg prac, w tym rozprawę habilitacyjną, profesor Parliński poświęcił dynamice ciekłego helu He^4 .

Warto podkreślić, że Krzysztof Parliński pierwszy zastosował metodę dynamiki molekularnej do liniowego łańcucha molekuł azotu przy użyciu komputera CDC Cyber i softwaru napisanego w FORTRAN-ie (z T. Wasiutyńskim).

Prace opublikowane w latach 1980–1990 dotyczą kilku szerokich zagadnień, a mianowicie: strukturalnych przejść fazowych, faz niewspółmiernych, dynamiki szkieł, tworzeniu domen i mikrostruktury w kryształach.

Wykorzystując równania Ginzburga–Landaua, Krzysztof Parliński zbadał kinetykę elastycznego przejścia fazowego pierwszego rodzaju i wykazał (we współpracy z P. Zielińskim), że wykładniki krytyczne przyjmują klasyczne wartości wynikające z teorii Landaua. Do badania przejść fazowych stosował również teorię grup symetrii (z K. Michelem z Antwerpii).

Prace nad fazami niewspółmiernymi, dla których periodyczna struktura krystaliczna nie może być opisana za pomocą współmiernego wektora falowego $k = n/m$, gdzie m i n są małymi liczbami całkowitymi, początkowo prowadził z K. Michelem w Antwerpii (publikacje w *Physical Review B*). Pierwsze symulacje modelu z niewspółmiernymi fazami wykonał w KFA Julich.



Od lewej: Karl Michel, Michael Krisch, Wilfried Schranz, Piotr Zieliński, z tyłu: Stephane Raymond, Mark Johnson

Szereg publikacji K. Parlińskiego (z H. Grimmem i W. Schweiką z KFA Julich oraz z H. Arendem z Zurychu) dotyczy struktury i własności dynamicznych stanu szklistego oraz szkieł spinowych. Badania dynamiki

molekularnej modelu szkła skupiały się na lokalnych fluktuacjach i efektach indukowanych przez pole elektryczne.

Krzysztof Parliński rozwinął metodę modelowania kryształu, polegającą na redukcji liczby wewnętrznych stopni swobody jedynie do takiej, która jest konieczna do zbudowania parametru porządku badanego kryształu. Ten model pozwolił na wprowadzenie oddziaływania pomiędzy dwiema wielkościami odpowiedzialnymi za strukturalne przejście fazowe, a mianowicie pomiędzy miękkim modem fononowym i stałą elastyczną.



Od lewej: Mark Johnson, Helmut Schober, Ewa Łażewska, Jan Łażewski, Michael Krisch, z tyłu: Rafał Broda, Adam Maj

Drugi tom jubileuszowej książki prof. Parlińskiego obejmuje prace powstałe w latach 1997–2012. W tym okresie profesor zbudował własny zespół badawczy, który zaistniał w strukturach Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w 1996 roku jako Zakład Komputerowych Badań Materiałów. Obecnie stanowią go: doktorzy habilitowani: Małgorzata Sternik, Paweł Jochym, Jan Łażewski i Przemysław Piekarczyk (obecny kierownik Zakładu), prof. dr hab. Andrzej M. Oleś oraz sekretarka Małgorzata Litwiniszyn.

Głównym narzędziem pracy Zakładu stała się opracowana przez profesora Parlińskiego (podczas pobytu w Japonii, z Z. Q. Li i Y. Kawazoe) bezpośrednia metoda oparta na twierdzeniu Hellmanna–Feynmana (HF). Według tej metody, siły działające na atomy można uzyskać jako pierwsze pochodne całkowitej energii względem wychyleń atomu. Energię całkowitą układu otrzymuje się z teorii DFT, prowadząc obliczenia dla superkomórki z periodycznymi warunkami brzegowymi. Dla każdego atomu wychylnego z położenia równowagi wyliczane są siły HF, działające na wszystkie atomy w superkomórce. Liczba koniecznych przemieszczeń jest równa liczbie nierównoważnych atomów w prymitywnej komórce pomnożonej przez liczbę niezależnych współrzędnych x , y , z –

z uwzględnieniem symetrii położenia danego atomu. Znając wszystkie wychylenia atomów i zestaw sił HF, można numerycznie wyliczyć stałe siłowe i macierze dynamiczne. Aby uwzględnić siły wywołane wychyleniem atomów we wszystkich obrazach superkomórki, wprowadzono tzw. kumulującą macierz stałych siłowych. Dzięki dokładnej diagonalizacji macierzy dynamicznej uzyskuje się energię fononów i wektory polaryzacji dla wszystkich długości fal w strefie Brillouina.

Ta metoda była stosowana do badania różnych materiałów najpierw przez zespół profesora Parlińskiego, a następnie przez inne grupy na całym świecie. Korzystając z niej oraz z programów: VASP i PHONON (napisanego przez K. Parlińskiego), profesor razem z zespołem zajął się ponownie przejściami fazowymi, stosując obliczenia ab-initio. Są w książce publikacje o przejściach fazowych pierwszego rodzaju (AgBr, z P. Jochymem) i drugiego rodzaju, związane z miękkim modem (ZrO_2 , z M. Sternik), a także o przejściach indukowanych ciśnieniem i temperaturą. Można znaleźć prace o przejściach bardziej skomplikowanych, np. magneto-strukturalnych w MnAs (z J. Łażewskim) czy o przejściu Verweya (z P. Piekarzem i A. M. Olesiem), opublikowane w *Physical Review Letters*.



Krzysztof Parliński i Przemysław Piekarz

Większość wyników przedstawionych w pracach z lat 1997–2012 dotyczy strukturalnych, dynamicznych i elektronowych własności materiałów. Wiele prac obejmuje wyniki doświadczalne, uzyskane za pomocą technik nieelastycznego rozpraszania neutronów i promieniowania X, we współpracy z wiodącymi zespołami badawczymi z ILL, ESRF i APS.

W dniach 20–21 września 2012 r. w Instytucie Fizyki Jądrowej odbyła się konferencja pt. *Phonons in Crystals and Nanomaterials – progress in modelling and experimental techniques*, dedykowana profesorowi Krzysztofowi Parlińskiemu. Uczniowie i współpracownicy profesora zorganizowali ją perfekcyjnie: z wielką starannością opracowali program, wybrali zaproszonych gości, referaty oraz chairmanów poszczególnych sesji, a także zawiadomili zainteresowanych fizyków z ośrodków krakowskich.

Obrazy otworzył dyrektor IFJ PAN, prof. Marek Jeżabek, który powitał zebranych, a także gratulował jubilatowi dorobku i pozycji w świecie naukowym. Pierwszą sesję poprowadził prof. Tadeusz Wasiutyński. Ważny punkt programu stanowiło wystąpienie kierownika Zakładu Komputerowych Badań Materiałów, dr hab. Przemysław Piekarz, i uroczyste wręczenie profesorowi Parlińskiemu jubileuszowej książki. Jej wydanie trzymano w ścisłej tajemnicy, więc prezent wywołał nie tylko prawdziwą radość, ale też szczere wzruszenie jubilata oraz burzę oklasków zebranych.

W pierwszej sesji ogłoszono referaty:

- * Mark Johnson: *50 Years (or more) of Studying Phonons with Neutrons*,
- * Michael Krisch: *25 Years of Phonon Studies with X-rays: What did We Learn and Where do We go?*,
- * Helmut Schober: *Phonons at the Heart of Materials Properties*,
- * Józef Korecki: *FeO Monolayer Films on Pt(111): Unusual Magnetism and Lattice Dynamics*,
- * Karl Michel: *Comparison between the Orientational Phase Transition in C60 Fullerite and the Isostructural gamma-alpha Transition in Ce*.

45-minutowe wystąpienia niejednokrotnie przerywały pytania z sali, a zawsze kończyła je prawdziwie merytoryczna dyskusja. Popołudniowa sesja miała charakter wspomnieniowy, a poprowadził ją prof. Andrzej M. Oleś. Była tu sesja posterowa i dwa referaty:

- * Tadeusz Wasiutyński: *Lattice Dynamics of Molecular Crystals: from Phenomenological Models to ab-initio Calculations*,
- * Krzysztof Parliński: *My 50-Years Adventure with Physics*.

Wieczorem goście konferencyjni byli podejmowani uroczystym obiadem w podkrakowskim dworze szlacheckim w Modlnicy. Staropolska kuchnia i szczerą gościnność gospodarzy dopełniły miłe wrażenia z całego dnia. Przemówienia, już bardziej przyjacielskie i prywatne, wspomnienia lat przeżytych i przeprowadzonych z profesorem Parlińskim stworzyły bardzo rodzinny klimat spotkania.

Program następnego dnia konferencji również przewidywał dwie sesje, z których pierwszą poprowa-

dził prof. Michael Krisch (ESRF Grenoble) – cztery referaty, a drugą prof. Stephane Raymond (CEA Grenoble) – trzy kolejne referaty:

* Wilfried Schranz: *Elastic Anomalies in Crystals and Minerals*,

* Piotr Zieliński: *True Surface Waves and Surface Resonances in Systems with Internal Degrees of Freedom*,

* Svetoslav Stankov: *Lattice Dynamics of Lanthanides: Insights from In-Situ Nuclear Inelastic Scattering and First Principles Calculations*,

* Stephane Raymond: *Lattice Dynamics in Selected Actinide Materials*,

* Urszula Wdowik: *Looking upon Thermal Effects in Crystals via Phonons*,

* Paweł Jochym: *Can we do Everything with Ab-Initio Methods?*,

* Eugeniusz Szeregij: *Progress in the Phonon Problem*

in Semiconductor Solid Solution Activated by Using Synchrotron Radiation as Source in the Far-Infrared Region.

Podczas całej konferencji – a więc nie tylko referatów, ale także przerw kawowych i obiadowych – panowała niezwykle serdeczna atmosfera: chciałoby się powiedzieć spontaniczność, świeżość i entuzjazm. Zakład Komputerowych Badań Materiałów jest młodym zespołem, istnieje zaledwie kilkanaście lat. Jego członkowie w tym czasie pod kierunkiem profesora Parlińskiego wykonali i obronili prace doktorskie i habilitacyjne, nawiązali kontakty z największymi na świecie ośrodkami badań materii skondensowanej. Nie czuje się żadnych hierarchicznych relacji pomiędzy nimi, lecz serdeczne partnerstwo, poparte swobodą, jaką daje kompetencja. To wszystko zawdzięczają profesorowi Parlińskiemu. Jest więc za co dziękować.

K S I A Ź K I N A D E S Ł A N E



Andrzej Kłonkowski
Marian Jaskuła (red.)

*How science spies on nature and
how technology imitates nature*

Wydawnictwo Uniwersytetu
Gdańskiego, Gdańsk 2013

Od momentu powstania współczesnych nauk przyrodniczych jednym ze sposobów ich uprawiania było podglądanie przyrody i próba odpowiedzi na pytanie *jak ona działa?* Po znalezieniu przez naukę mechanizmu działania technika starała się go naśladować. To podglądanie, potem naśladowanie przyrody, ogólniej wzajemne relacje: nauka – technika – przyroda do dzisiaj nie straciły ze swojej aktualności. Tymi relacjami pasjonują się przedstawiciele filozofii nauki, a w szczególności filozofii nauk przyrodniczych. Książka *How Science Spies on and Technology*

Imitates Nature jest pokłosiem konferencji naukowej pod tym samym tytułem, zorganizowanej na Uniwersytecie Gdańskim pod egidą Fundacji Humboldta w roku 2011. Naukowcy z kilku krajów Europy przedstawili swoje dziedziny nauki i techniki w relacji do przyrody. Książka powinna zainteresować osoby zajmujące się filozofią nauki, a w szczególności filozofią nauk przyrodniczych. Pewnego rodzaju podsumowaniem wspomnianej konferencji była dyskusja panelowa na jej zakończenie. Tę niezwykle interesującą i gorącą dyskusję przedstawiono w książce *in extenso*.

Wspomnienie o Zygmuncie Ajduku

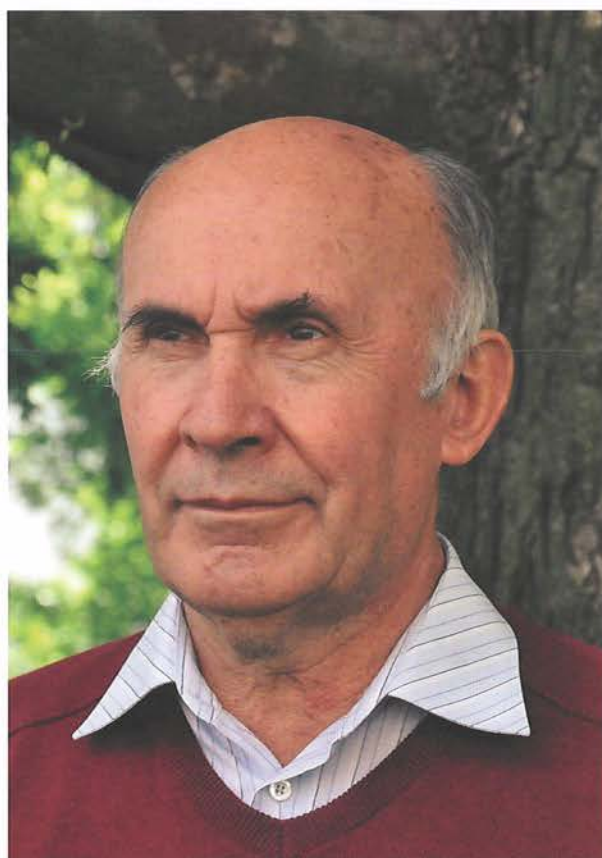
Stefan Pokorski

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

Zygmunt Ajduk urodził się 1 grudnia 1943 r. w Zabrowie. W latach 1961–1966 studiował na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Po uzyskaniu w 1966 r. tytułu magistra został zatrudniony jako asystent w Zakładzie Fizyki Wysokich Energii Instytutu Fizyki Teoretycznej UW. Prowadząc badania naukowe pod kierunkiem prof. Grzegorza Białkowskiego, w roku 1972 obronił pracę doktorską i uzyskał stopień doktora nauk fizycznych. Po doktoracie, jesienią roku 1972, wyjechał na roczny staż naukowy do Europejskiego Centrum Badań Jądrowych (CERN) w Genewie. Po powrocie do Warszawy kontynuował pracę w IFT UW na stanowiskach najpierw adiunkta, następnie starszego wykładowcy i (od roku 2007) docenta w Katedrze Teorii Cząstek i Oddziaływań Elementarnych. Zginął śmiercią tragiczną w wypadku samochodowym 11 lipca 2012 r. – w pełni swojej zawodowej aktywności.

W czasie pracy nad rozprawą doktorską i potem w CERN-ie Zygmunt prowadził badania teoretyczne nad oddziaływaniami silnymi cząstek elementarnych. W owym czasie, wraz ze wzrostem osiągalnej w laboratoriach (przede wszystkim w CERN-ie) energii zderzeń hadronów, uwaga fizyków, zajmujących się badaniami reakcji zachodzących między cząstkami elementarnymi pod wpływem oddziaływań silnych, skupiała się na procesach produkcji wielu cząstek – i ta tematyka była także przedmiotem badań Zygmunta. Opublikował on wtedy kilka bardzo ciekawych prac naukowych poświęconych fenomenologii takich procesów, które istotnie przyczyniły się do ich głębszego zrozumienia teoretycznego. Wśród ekspertów zajmujących się tą dziedziną badań szczególnie znana była seria jego prac poświęconych tzw. funkcji przekrywania dla nieelastycznych zderzeń hadronów.

Od roku 1981 Zygmunt poświęcił się przede wszystkim pracy dydaktycznej i organizacyjnej na Wydziale Fizyki i wśród szerokiej społeczności polskich fizyków. Bogata była także jego działalność popularyzatorska.



Fot. Andrzej Kobos

Zygmunt Ajduk piastował szereg bardzo ważnych funkcji organizacyjnych. Był zastępcą dyrektora IFT UW do spraw dydaktycznych (1983–1987), był też wieloletnim kierownikiem Ośrodka Komputerowego na Wydziale Fizyki (od jego powstania w 1993 do 2009 r.). Zygmunt już wcześniej odegrał wiodącą rolę w rozwoju komputeryzacji na Wydziale i w utworzeniu Ośrodka jako odrębnej jednostki wydziałowej. Trudno przecenić znaczenie jego działalności na tym polu dla całego Wydziału Fizyki. Zygmunt był także opiekunem Biblioteki IFT. Przez kilka lat pełnił tę funkcję formalnie, najczęściej jednak zajmował się Biblioteką ze względu na wspólne dobro, tak jak w przypadku pomocy, jakiej udzielił w sprawie wprowadze-

nia w bibliotece IFT komputerowego systemu bibliotecznego VTLS.

Działalność organizacyjna Zygmunta znacznie wykraczała poza Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Był dobrze znany w całym środowisku polskich fizyków, między innymi jako sekretarz generalny Polskiego Towarzystwa Fizycznego w latach 1991–1993, wieloletni przewodniczący Komisji Wyborczej PTF, a także jako inicjator, współpracownik i organizator wielu ogólnopolskich przedsięwzięć, takich jak konferencje czy organizacja ogólnopolskiej bazy danych fizyków.

Fenomen Zygmunta polega też na tym, że zajmuje on trwałe miejsce w pamięci międzynarodowego środowiska fizyków oddziaływań elementarnych. Pamiętają go jako głównego organizatora i niezwykle efektywnego i gościnnego gospodarza znanych konferencji w Kazimierzu Dolnym i ich kontynuacji jako europejskich konferencji *Planck – From the Planck scale to the electroweak scale*. Pamiętają go także jako zawsze pomocnego opiekuna wielu zagranicznych gości, przyjeżdżających do naszego Instytutu z krótszymi lub dłuższymi wizytami bądź na inne, poza Kazimierzem i Planckiem, sympozja i warsztaty. Do tej pory bardzo ciepło wypowiadają się o Zygmuncie.

Zygmunt Ajduk był znakomitym dydaktykiem, lubianym, szanowanym i cenionym przez studentów, którzy „kupowali” na niego talony, by mieć szanse skorzystać z jego cierplivej pomocy. Dydaktyka była pasją Zygmunta: prowadził nieskazitelnie dopracowane i do końca przemyślane wykłady z najważniejszych przedmiotów teoretycznych, takich jak mechanika klasyczna, mechanika kwantowa i elektrodynamika.

Zygmunt odgrywał fundamentalną rolę w działalności Katedry Cząstek i Oddziaływań Elementarnych. Był w pełni tego słowa znaczeniu, choć nieformalnym, sekretarzem naukowym naszej grupy. Koordynował wystąpienia o granty naukowe i współpracę z zagranicznymi ośrodkami, przygotowywał sprawozdania z działalności naukowej grupy i działalności w ramach grantów, był źródłem wszystkich niezbędnych dla nas informacji. Jednocześnie zawsze pasjonowała go fizyka i – choć od wielu lat nie prowadził aktywnych badań naukowych – dyskusja z nim o fizyce zawsze była interesująca i pożyteczna. Wielokrotnie miałem okazję skorzystać z jego głębokiej znajomości podstaw fizyki teoretycznej i współczesnej teorii oddziaływań elementarnych. Ze szczególną przyjemnością wspominam naszą pracę nad wieloma wspólnie napisanymi artykułami przeglądowymi o różnych aspektach fizyki cząstek elementarnych.

Znałem Zygmunta od ponad 40 lat. Był moim najbliższym współpracownikiem i serdecznym przyjacie-



Fot. Andrzej Kobos

lem. Wiele godzin spędzaliśmy na rozmowach o sprawach zawodowych, ogólnych i osobistych. Zygmunt był człowiekiem absolutnie wyjątkowym. Jako nauczyciel akademicki miał ogromny wkład dydaktyczny i organizacyjny w działalność naszej grupy, Instytutu Fizyki Teoretycznej i całego Wydziału. Zygmunt o niczym nigdy nie zapominał, wszystko było zawsze załatwione sprawnie i w odpowiednim czasie (na Wydziale mówiło się: polegać jak na Zygmuncie, a nie jak na Zawiszy). Ale przede wszystkim Zygmunt zostanie w naszej pamięci jako wspaniały człowiek, dla wszystkich życzliwy, zawsze chętny do pomocy, czuwający nad nami, by nie działa się nam żadna krzywda. Nie ma chyba na Wydziale Fizyki nikogo, kto nie znałby Zygmunta i nie miał dla niego głębokiego szacunku za jego ludzką życzliwość i ciepło.

Nasza grupa, cały Instytut i Wydział bez Zygmunta to już zupełnie inny krajobraz. Mówi się, że nie ma ludzi niezastąpionych, ale to nie jest prawda. Oczywiście, życie będzie toczyć się dalej, ale Zygmunt jest przykładem człowieka, którego nie można zastąpić w tak wielu wymiarach, w których był wśród nas. Jego tragiczna śmierć wydaje się całkowicie nierealna.

Kondolencje i wspomnienia

Coś okropnego. Po prostu coś okropnego.

Wyobrażam sobie, jak się czujesz.

Trudno coś dodać.

Pozdrawiam,

a.

(prof. Andrzej Białas, prezes Polskiej Akademii Umiejętności)



Zygmunt Ajduk był zdecydowanie najlepszym asystentem w ciągu całych moich studiów fizyki. Jego ćwicze-

nia z mechaniki kwantowej cechowały się fantastyczną systematycznością i miały pewien wpływ na strukturę moich późniejszych prac naukowych.

(prof. Andrzej Buras, Technische Universität München)

I first met Zygmunt in 1989 at the first of several meetings I attended in Kazimierz. It was apparent that much of the details of organizing the workshop was done by Zygmunt. He was a quiet man with a big heart, a kind face and always there to help. This was my first visit to Poland and, along with Dr. Arnon Dar, I was interested in finding my roots. Although we didn't speak any Polish, Zygmunt arranged for us to take a taxi to the area of Przemyśl. Our taxi driver was instructed by Zygmunt with great care, and though he didn't speak a word of English and we didn't speak a word of Polish, the driver took us on what must have been a 400 km roundtrip to Przemyśl and the through the Carpathians back to Kazimierz. I am forever grateful to Zygmunt for this wonderful trip. I have returned to Poland to attend conferences in Kazimierz and Warsaw on many occasions since this first trip. In fact, in 2007 a Raby Fest was organized during the Planck meeting. I am sure that Zygmunt played some part in these memorable preparations. I was very sorry to hear of Zygmunt's passing. He will be sorely missed.

Stuart Raby

(prof. Stuart Raby, The Ohio State University)

Dear Stefan,

With indeed very deep sorrow I was informed by you and Jan Kalinowski about the loss of Zygmunt Ajduk. Zygmunt was a great personality from all respects. I remember Zygmunt and his huge efforts for successful scientific meetings from the very hard times in 1983 during the first Kazimierz Meeting that I participated till earlier this year when you and him took initiatives to support me in my strange trial. Always present to help.

There are many things to be said about Zygmunt. I think something that characterized Zygmunt was his great generosity to people around him. Our scientific community has gained a lot from Zygmunt's contributions of all kinds and I am sure we will all remember him as an exceptional personality.

I would like to express my warmest condolences to his family.

George Zoupanos

(prof. George Zoupanos, National Technical University, Athens)

Dear Stefan,

I can hardly believe it. Zygmunt did also help me a lot during my visits in Warsaw.

Best regards,

Emilian

(prof. Emilian Dudas, Ecole Polytechnique, Paris)

Dear Stefan,

I was very sorry to learn the unfortunate death of Zygmunt.

In my visits to Kazimierz and Warsaw, I had the opportunity to appreciate his great human qualities.

Please accept my heartfelt condolences and transmit them to your group and to Zygmunt's family.

Best regards, Fabio

(prof. Fabio Zwirner, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Padova)

Dear Stefan,

I just heard the sad news from Zygmunt. I am deeply sorry.

A warm hug, Marcela

(prof. Marcela Carena, Enrico Fermi Institute and Kavli Institute for Cosmological Physics, The University of Chicago)

Dear Stefan,

I heard the sad news that Zygmunt Ajduk had a mortal car accident.

Please accept my sincere condolences and transmit them to his colleagues and family.

Ignatios

(prof. Ignatios Antoniadis, Head of the Theory Group, CERN)

Dear Stefan,

I have just heard the terrible news that Zygmunt Ajduk has died in a car accident. This is indeed a horrible

loss. I shall always remember him as a very kind and straightforward man, as well as a good physicist.

Please convey my sincere condolences to his family and colleagues.

Best regards, John

(prof. John Ellis, CERN)



Drogi Stefanie,

Właśnie dotarła do mnie ta straszna wiadomość, poprzez Głazka, który też był na konferencji w Krakowie. Jestem do głębi wstrząśnięty. Zygmunt przyjął mnie na seminarium w poniedziałek i był dla mnie niezwykle miły. Przyjmij proszę najgłębsze wyrazy współczucia dla Ciebie i całego Wydziału. To wielka strata.

Pozdrawiam Cię, Marek

(prof. Marek Karliner, Tel-Aviv University)



W tych trudnych dniach, gdy nie możemy pogodzić się ze śmiercią Zygmunta Ajduka, bo przecież zawsze był i służył nam pomocą, chciałabym przypomnieć Jego usługi dla Biblioteki Instytutu Fizyki Teoretycznej.

Na początku lat dziewięćdziesiątych rozpoczęły się w Bibliotece Uniwersytetu Warszawskiego (BUW) przygotowania do zakupu bibliotecznego systemu informatycznego. Dzięki dotacji Fundacji Mellona podjęto decyzję o zakupie systemu Virginia Tech. Library System (VTLS). Dyrektor BUW dr Henryk Hollender, uważał, że system katalogowania będzie wprowadzony tylko w głównej Bibliotece Uniwersytetu, natomiast biblioteki wydziałowe, m.in. zainteresowana komputeryzującą swoich cennych zbiorów Biblioteka Instytutu Fizyki Teoretycznej (BIFT), powinny kupić system Micro-VTLS. Ówczesny opiekun naukowy BIFT, prof. dr hab. Maria Krawczyk, poprosiła o radę Zygmunta Ajduka, szefa Ośrodka Komputerowego Wydziału Fizyki.

Zygmunt zaangażował się w sprawę ze znaną nam wszystkim pracowitością i kompetencją: korespondował z firmą VTLS, uczestniczył w posiedzeniach Komisji Senackiej ds. Bibliotek, razem z mgr. Marcinem Gromiszem brał udział w naradach z informatykami BUW. Po przeanalizowaniu wszystkich faktów Zygmunt Ajduk stwierdził, że zakup Micro-VTLS jest zbyt kosztowny (oprócz licencji trzeba było kupić serwer, opłacać roczny support itd.), natomiast nie ma przeszkód, aby łączami, które Wydział Fizyki już miał z campusem na Krakowskim Przedmieściu (BUW też tam wtedy się mieścił), przesyłać dane z Hożej do serwera w BUW-ie. Pozostało tylko przekonać dyrektora BUW. W tym po-

mógł nam ówczesny prorektor UW, prof. dr hab. Michał Nawrocki, po wysłuchaniu rzeczowych argumentów Zygmunta Ajduka.

W 1995 roku Biblioteka Instytutu Fizyki Teoretycznej rozpoczęła tworzenie katalogu on-line swoich książek. Następnie takie działania rozpoczęły Biblioteka Instytutu Fizyki Doświadczalnej, Biblioteka Nauczycielskiego Kolegium Fizyki i wiele innych bibliotek wydziałowych Uniwersytetu – stworzyły one System Biblioteczno-Informacyjny UW, bez którego nie wyobrażamy sobie dzisiaj życia akademickiego. Ale przecież nie zawsze tak było...

Pisząc te słowa, uświadomiłam sobie, że linki na stronie BIFT: Na skróty (katalog online Bibliotek UW i E-zbiory) stworzył Zygmunt, gdy czytelnicy skarżyli się na skomplikowany dostęp do BUW-u.

Chcę w tym wspomnieniu podziękować Zygmuntovi Ajdukowi za zaangażowanie oraz wsparcie – wtedy i zawsze! Biblioteka IFT bardzo dużo Mu zawdzięcza!

Zygmunt Ajduk zawsze BYŁ i zawsze życzliwie służył radą, pomocą, wsparciem! Dla każdego miał czas i prawie każdy problem potrafił rozwiązać!

Teraz Zygmunta Ajduka nie ma wśród nas, ale dzieła i wdzięczna pamięć pozostaną.

Halina Rudzka, Biblioteka IFT



Naukowy, popularyzatorski i edytorski dorobek Zygmunta Ajduka

Prace naukowe, przeglądowe i popularnonaukowe

- 1) Z. Ajduk, S. Pokorski, *Świat supersymetrii*, *Wiedza i Życie* 4 (2008), 30–33.
- 2) Z. Ajduk, S. Pokorski, K. Turzyński, *Oddziaływania elementarne i LHC*, *Delta* 368 (2005), 2–3.
- 3) Z. Ajduk, S. Pokorski, *W stulecie fotonu*, *Fizyka w Szkole* 2 (2005), 67–72.
- 4) Z. Ajduk, S. Pokorski, *Fizyka oddziaływań elementarnych po powstaniu ich teorii*, *Postępy Fizyki* 51 (2000), 178–184.
- 5) Z. Ajduk, *Siła Coriolisa*, *Delta* 10 (1993), 14–17.
- 6) Z. Ajduk, S. Pokorski, *Ewolucja fizyki cząstek elementarnych*, *Postępy Fizyki* 42 (1991), 5–32.
- 7) Z. Ajduk, *Nowy schemat nazewnictwa dla hadronów*, *Postępy Fizyki* 38 (1987), 51–57.
- 8) Z. Ajduk, *Czy są potrzebne jednostki podstawowe? (Uwagi do artykułu B. Jancewicza)*, *Postępy Fizyki* 37 (1986), 495–497.
- 9) Z. Ajduk, *Bounds Resulting from Unitarity and Analyticity on Forward Slopes of Overlap Functions*, *Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica A-Nuclei Particles and Fields* 15 (1973), 390–400.

- 10) Z. Ajduk, *Structure of the Inelastic Overlap Function for πp Collisions in a Diffraction Dissociation Model*, Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica A-Nuclei Particles and Fields 16 (1973), 111–123.
 - 11) Z. Ajduk, L. Łukaszuk, *New Constraints on the Pion Electromagnetic Form Factor and the Chou–Yang Model*, Nuclear Physics B 46 (1972), 131–140.
 - 12) Z. Ajduk, L. Michejda, W. Wójcik, *Further Results from the Chan–Łoskiewicz–Allison Model Applied to the $\pi p \rightarrow p 5\pi$ Reaction at 8 GeVc*, Acta Physica Polonica A 37 (1970), 285–314.
 - 13) Z. Ajduk, R. Stroynowski, *Influence of Spin and Phase Effects on the Overlap Function in the Reaction $\pi^+ p \rightarrow \rho^+ p$* , Physics Letters B 30 (1969), 179–181.
 - 14) Z. Ajduk, *An Application of the Absorption Model to p anti- $p \rightarrow B^*$ anti- B^* Reactions*, Acta Physica Polonica A 32 (1967), 909–926.
 - 15) Z. Ajduk, G. Białkowski, *The Bi-peripheral Model for the Process $\pi^+ p \rightarrow N^*$ plusplus rho-zero rho-zero*, Bulletin de le Académie Polonaise des Sciences, Serie des Sciences Mathematiques, Astronomiques et Physiques 15 (1967), 579–582.
- Materialy pokonferencyjne*
- 1) A. Wróblewski, M. Krawczyk, Z. Ajduk, *The Photon, its first hundred years and the future, the centenary of the photon: PHOTON2005, International Conference on the Structure and Interactions of the Photon including the 16th International Workshop on Photon-Photon Collisions* (Warsaw, Poland 30 August – 4 September 2005), Acta Physica Polonica B 37 (2006), 543–1006.
 - 2) Z. Ajduk, A. Wróblewski (red.), *Proceedings of the 28th International Conference on High Energy Physics* (Warsaw, Poland 25–31 July 1996), vol. 1, World Scientific 1997.
 - 3) Z. Ajduk, A. Wróblewski (red.), *Proceedings of the 28th International Conference on High Energy Physics* (Warsaw, Poland 25–31 July 1996), vol. 2, World Scientific 1997.
 - 4) Z. Ajduk, S. Pokorski, A. Wróblewski (red.), *New physics with new experiments: Proceedings of XVI Kazimierz Meeting on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 24–28 May 1993), World Scientific 1994.
 - 5) Z. Ajduk, S. Pokorski, A. Wróblewski (red.), *Quest for links to new physics: Proceedings of the XV International Warsaw Meeting on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 25–29 May 1992), World Scientific 1993.
 - 6) Z. Ajduk, S. Pokorski, A. Wróblewski (red.), *Puzzles on the electroweak scale: proceedings of the XIV International Warsaw Meeting on Elementary Particle Physics* (Warsaw, Poland 27–31 May 1991), World Scientific 1992.
 - 7) Z. Ajduk, S. Pokorski, A. Wróblewski (red.), *Physics of elementary interactions: proceedings of the XIII Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 28 May – 1 June 1990), World Scientific 1991.
 - 8) Z. Ajduk, S. Pokorski, A. Wróblewski (red.), *Frontiers in particle physics: proceedings of the XII Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 29 May – 2 June 1989), World Scientific 1990.
 - 9) Z. Ajduk, S. Pokorski, A. Trautman (red.), *New theories in physics: proceedings of the XI Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 23–27 May 1988), World Scientific 1989.
 - 10) Z. Ajduk (red.), *Physics at future accelerators: proceedings of the X Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 24–30 May 1987), Uniwersytet Warszawski 1987.
 - 11) Z. Ajduk (red.), *Proceedings of the IX Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 25–31 May 1986), Uniwersytet Warszawski 1986.
 - 12) Z. Ajduk (red.), *Proceedings of the VIII Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 26 May – 1 June 1985), Uniwersytet Warszawski 1985.
 - 13) Z. Ajduk (red.), *Proceedings of the VII Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 20–26 May 1984), Uniwersytet Warszawski 1984.
 - 14) Z. Ajduk (red.), *Proceedings of the VI Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 29 May – 4 June 1983), Uniwersytet Warszawski 1983.
 - 15) Z. Ajduk (red.), *Proceedings of the V Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 24–28 May 1982), Uniwersytet Warszawski 1982.
 - 16) Z. Ajduk, K. Doroba (red.), *Proceedings of the IV Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics* (Kazimierz, Poland 24–31 May 1981), Uniwersytet Warszawski 1981.
 - 17) Z. Ajduk (red.), *Proceedings of the II International Symposium on Hadron Structure and Multiparticle Production* (Kazimierz, Poland 20–26 May 1979), Uniwersytet Warszawski 1979.
 - 18) Z. Ajduk (red.), *Proceedings of the I International Symposium on Hadron Structure and Multiparticle Production* (Kazimierz, Poland 23–28 May 1977), Uniwersytet Warszawski 1977.

Tłumaczenia

- 1) B. Dupre, *50 wielkich teorii, które powinieneś znać*, M. Mika, B. Świdorska, Z. Ajduk, G. Łuczkiwicz, M. Pańków (tłum.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- 2) P. Tipler, R. Llewellyn, *Fizyka współczesna*, Z. Ajduk, R. Bożek, K. Piasecki, K. Turzyński (tłum.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- 3) R. Feynman, M. Gottlieb, R. Leighton, *Feynmana wykłady z fizyki. Feynman radzi*, Z. Ajduk (tłum.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- 4) D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, t. 3, Z. Ajduk, M. Jaworski (tłum.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
- 5) D. Griffiths, *Podstawy elektrodynamiki*, Z. Ajduk, P. Rączka, K. Rejmer (tłum.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- 6) M. Creutz, *Kwarki, gluony i sieci*, Z. Ajduk (tłum.), Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1991.
- 7) D. Danin, *Rewolucja kwantowa*, Z. Ajduk (tłum.), Wiedza Powszechna, Warszawa 1990.
- 8) K. Huang, *Mechanika statystyczna*, Z. Ajduk, M. Cieplak (tłum.), Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1987.
- 9) W. Thirring, *Mechanika kwantowa atomów i cząstek*, Z. Ajduk (tłum.), Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1986.
- 10) K. Huang, *Mechanika statystyczna*, Z. Ajduk, M. Cieplak (tłum.), Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1978.
- 2) *US-Polish Workshops Physics from Planck Scale to Electroweak scale* (1994, 1996, 1997), Warszawa.
- 3) *28th International Conference on High Energy Physics*, 1996, Warszawa.
- 4) *PLANCK Meeting*, 1998, Kazimierz nad Wisłą.
- 5) *Physics in Extra Dimensions*, 2001, Warszawa.
- 6) *PLANCK Meeting*, 2002, Kazimierz nad Wisłą.
- 7) *The Photon*, 2005, Warszawa.
- 8) *PLANCK Meeting*, 2007, Warszawa.
- 9) *Physics and Detectors for Linear Colliders*, 2008, Warszawa.
- 10) *String Phenomenology*, 2009, Warszawa.
- 11) *Scalars*, 2011, Warszawa.
- 12) *PLANCK Meeting*, 2012, Warszawa.

Administrator/konsultant w grantach

- 1) US National Science Foundation:
 - a) koordynatorzy: J. Werle, A. Bohm (University of Texas, Austin), 1976–1980,
 - b) koordynatorzy: S. Pokorski, J. F. Gunion (University of California, Davis), 1976–1980,
 - c) koordynatorzy: B. Grządkowski (Uniwersytet Warszawski), J. F. Gunion (University of California, Davis), 2002–2008.
- 2) US-Poland Maria Skłodowska-Curie Joint Fund II, koordynatorzy: S. Pokorski, B. Grządkowski, Z. Lalak (Uniwersytet Warszawski), H. E. Haber, M. Dine (University of California, Santa Cruz), J. F. Gunion (University of California, Davis), B. A. Ovrut (University of Pennsylvania), 1996–2000.
- 3) Stiftung für Deutsch-Polnische Zusammenarbeit, koordynator: B. Grządkowski (Uniwersytet Warszawski), 1996–2000.
- 4) French-Polish Programme Polonium, koordynatorzy: Z. Lalak, S. Pokorski (Uniwersytet Warszawski), I. Antoniadis, R. Grimm, S. Katsanevas, C. Savoy, E. Dudas, J. Mourad (Francja), 1998–2006.
- 5) 3rd UE Framework Programme:
 - a) *Flavour Dynamics*, koordynator: M. Lusignoli (Univerisità di Roma), koordynator lokalny: S. Pokorski (Uniwersytet Warszawski), 1994–1997,
 - b) *Phenomenology of the Standard Model and alternatives for present and future high energy colliders*, koordynator: F. del Aguila (Univerisidad de Granada), koordynator lokalny: S. Pokorski (Uniwersytet Warszawski), 1994–1997.
- 6) 5–7th UE Framework Programmes:
 - a) *Physics Across the Present Energy Frontier: Probing the Origin of Mass*, koordynator: I. Antoniadis (CERN), koordynatorzy lokalni: S. Pokorski, M. Olechowski (Uniwersytet Warszawski), 2000–2004,

Książki i inne wydawnictwa

- 1) *Encyklopedia szkolna: fizyka z astronomią*, J. Langer, Z. Ajduk, J. Blinowski, T. Kwast, B. Mroziwicz, A. Szymacha, M. Święcki (red.), Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2002.
- 2) *Rewolucja informacyjna – 10 lat Internetu w Polsce*, Z. Ajduk, K. Chałasińska-Macukow (red.), Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki, Warszawa 2002.
- 3) *Physics research in Poland 1995–1996: directory*, Z. Ajduk (red.), Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań 1996.
- 4) *Physics research in Poland 1992–1993: directory*, Z. Ajduk (red.), Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań 1992.

Działalność organizacyjno-administracyjna Zygmunta Ajduka*Organizacja konferencji i warsztatów*

- 1) *Symposia on Elementary Particle Physics* (corocznie w latach: 1977–1994), Kazimierz nad Wisłą.

- b) *The Quest for Unification: Theory Confronts Experiment*, koordynator: I. Antoniadis (CERN), koordynatorzy lokalni: S. Pokorski, M. Olechowski (Uniwersytet Warszawski), 2004–2008,
- c) *Unification in the LHC Era*, koordynator: I. Antoniadis (CERN), koordynator lokalny: S. Pokorski (Uniwersytet Warszawski), 2009–2013,
- d) *Supersymmetry and the Early Universe*, koordynator: S. Sarkar (Oxford University), koordynator lokalny: Z. Lalak (Uniwersytet Warszawski), 2000–2004,
- e) *The Origin of Our Universe: Seeking links Between Fundamental Physics and cosmology*, koordynator: S. Sarkar (Oxford University), koordynator lokalny: Z. Lalak (Uniwersytet Warszawski), 2006–2010,
- f) *Particle Physics Phenomenology at High Energy Collider*, koordynator: S. Jadach (Instytut Fizyki Jądrowej, Kraków), koordynator lokalny: J. Kalinowski (Uniwersytet Warszawski), 2000–2005,
- g) Projekty EURIDICE:
 - i) *European Investigation of Daphne and other International Collider Experiments using Effective Theories of Colours and Flavours for High Precision Elementary Particle Physics from the Phi to the Upsilon*, koordynator: M. Krawczyk (Uniwersytet Warszawski), 2002–2006,
 - ii) *Entering the high-precision era of flavour physics through the alliance of lattice simulations, effective field theories and experiment*, koordynator: M. Krawczyk (Uniwersytet Warszawski), 2006–2010.
- h) *Particle Physics and Cosmology: The Interface*, koordynator: S. Pokorski (Uniwersytet Warszawski), 2006–2010.
- 7) Projekt NCN, typ: Harmonia, *Search for Beyond the Standard Model Theory of Elementary Interactions in the LHC Era*, koordynatorzy: I. Antoniadis (CERN), S. Pokorski (Uniwersytet Warszawski), 2011–2014.

Profesor Michael Kasha

fizykochemik, biofizyk i muzyk – człowiek renesansu

Józef Heldt

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Gdański

Streszczenie. Rys biograficzny działalności i osiągnięć naukowych prof. M. Kasha, doktora *honoris causa* Uniwersytetu Gdańskiego, współtwórcy fundamentalnych praw fotochemii i fotofizyki.

Profesor Michael Kasha urodził się 6 grudnia 1920 roku jako syn ukraińskich (łemkowskich) emigrantów w Elizabeth w stanie New Jersey (USA). Wywodził się z prostej, biednej rodziny. Już od najmłodszych lat zdawał sobie sprawę, iż tylko stypendium umożliwi mu ukończenie szkół i studiów. Pierwsze wykształcenie zdobył w przykościelnej szkole z wykładowym językiem ukraińskim. W gimnazjum (*Junior High School*) nauczyciel fizyki i chemii, Walter Shordiche, oraz nauczyciele innych przedmiotów zwrócili uwagę na jego nieprzeciętne uzdolnienia. Po ukończeniu gimnazjum czterech nauczycieli, między innymi W. Shordiche, postanowiło przekonać jego ojca, Stefana Kashę, do wyrażenia zgody na podjęcie przez syna nauki w liceum (*high school*). Ojciec wyraził zgodę warunkową, żądając uczestnictwa syna w *course in electric and trade*, gwarantującym mu zdobycie zawodu elektryka (*industrial electrician*). Jak się później okazało, jako uczeń liceum Michael Kasha spełnił warunek ojca i zdobył zawód. W czasie pobierania nauki w liceum zaliczył również akademicki wykład z chemii ogólnej. Uzyskane wyniki w nauce uplasowały go na 23. miejscu wśród 460 wypromowanych uczniów. W myśl regulaminu szkoły, 22 najlepszych absolwentów otrzymało stypendium na podjęcie studiów na jednym z uniwersytetów: Harvard, Yale lub Princeton. Michael Kasha znalazł się poza powyższą grupą, dlatego też podjął pracę w Pure Research Division of the Merck Chemical Co. at Rahway na stanowisku laboranta (*lab boy*) u dr. Karla Folkersa. Dodatkowo podjął studia w wieczorowej Szkole Inżynieryjnej Cooper Union. Pracując u Folkersa, Kasha wykazał się nieprzeciętną inicjatywą

i uzdolnieniami. Niekwestionowane osiągnięcia badawcze, poparte dużą życzliwością i namową Folkersa, zdopingowały Kashę (po dwóch latach pracy) do podjęcia regularnych studiów z chemii na University of Michigan.

W lutym 1943 roku skończył I stopień studiów z chemii, uzyskując stopień BS (*Bachelor of Science*) na University of Michigan i przeniósł się do Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley, gdzie rozpoczął – w ramach studiów doktoranckich – prace badawcze dotyczące zagadnień fluorescencji i fosforescencji pod kierunkiem sławnego fizykochemika Gilberta N. Lewisa. W lutym 1945 r. uzyskał w Berkeley stopień doktora (Ph. D.) na podstawie pracy *Triplet states of organic molecules*, której promotorem był G. N. Lewis. Ze względu na okres wojenny Michael Kasha jako doktorant na drugim roku studiów został przez dziekana wyznaczony do pracy w Plutonium Chemistry Project. Z tego powodu czas poświęcony pracy doktorskiej został mu ograniczony jedynie do soboty, niedzieli oraz wieczornych godzin od 19:00 do 23:00. W „projekcie” tym pracował w latach 1944–1948, zaś w roku akademickim 1949/1950 odbył staż podoktorski u prof. Roberta S. Mullikena (laureata nagrody Nobla w chemii z roku 1966) na Uniwersytecie Stanu Illinois w Chicago. W roku akademickim 1950/1951 pracował na Uniwersytecie w Manchester w Anglii jako wykładowca. W 1951 roku wygrał konkurs na stanowisko profesora chemii fizycznej w nowo utworzonym Uniwersytecie Stanu Floryda w Tallahassee. Z uczelnią tą wiąże się na stałe, pełniąc w niej, oprócz obowiązków dydaktyczno-naukowych, szereg funkcji administracyjnych.



Grupa naukowców współpracujących z prof. M. Kasha na Uniwersytecie Stanowym Florydy w Tallahassee (maj 1988 r., pierwszy z lewej prof. M. Kasha, pierwszy z prawej autor artykułu)

W latach 1954–1962 pełnił funkcję dziekana Wydziału Chemii, a w okresie 1960–1982 funkcję dyrektora Instytutu Biofizyki Molekularnej (*Institute of Molecular Biophysics*), którego był twórcą. Jako założyciel tego Instytutu przez cały okres swej aktywności zawodowej dbał o jego ciągły rozwój.

W 1948 roku M. Kasha poślubił panią Lilli Cohn, urodzoną w Wolnym Mieście Gdańsku w rodzinie lekarskiej. Z powodu prześladowań nazistowskich w 1939 roku rodzina wysłała ją za granicę. Wyjechała z Gdańska wraz z prawie setką innych dzieci żydowskich w ramach tzw. *kindertransportów*, organizowanych przy wsparciu rządu brytyjskiego. Powyższy fakt „przymusowej” emigracji dzieci żydowskich został przez społeczeństwo Gdańska upamiętniony pomnikiem na placu przed budynkiem dworca Gdańsk Główny. Pani Lilli Cohn-Kasha jest lingwistką specjalizującą się w językach Dalekiego Wschodu. Syn państwa Kasha, Nicolas – z wykształcenia przyrodnik, informatyk i muzyk – zajmuje się komputerową animacją filmów, mieszka w Kalifornii. Państwo Kasha mieszkali na posiadłości o znacznym obszarze (las, jezioro) w pobliżu Tallahassee.

Profesor Kasha w czasie swej kilkudziesięcioletniej aktywności naukowej opublikował ponad 200 oryginalnych prac, z których duża część ma fundamentalne znaczenie w fotochemii, fizykochemii, biofizyce i różnych specjalistycznych działach spektroskopii molekularnej. O randze i ich podstawowym znaczeniu dla powyższych działów nauki świadczą ich liczne cytowania w oryginalnych publikacjach i monograficznych opracowaniach innych autorów. Jego nazwiskiem nazwane są dwa prawa o podstawowym znaczeniu dla fotoluminescencji, w tym słynna reguła Kashy. W roku 1944 Kasha wraz ze swoim promotorem Gilbertem

N. Lewisem opublikowali pracę mającą fundamentalne znaczenie dla rozwoju współczesnej fotofizyki molekularnej, a także fotochemii i fotobiologii. Praca ta jest ściśle związana z „diagramem Jabłońskiego”, wprowadzonym po raz pierwszy do literatury w słynnej pracy Aleksandra Jabłońskiego, opublikowanej w *Nature* w 1933 roku. Istotną rolę w tym diagramie odgrywa poziom metatrwały, którego natura przez długi czas była przedmiotem licznych polemik i kontrowersji. Właśnie praca Kasha i Lewisa z 1944 roku, w której zostały opisane wyniki badań fosforescencji i fluorescencji kilkudziesięciu związków organicznych, miała decydujący wpływ na rozstrzygnięcie owych kontrowersji. Kasha i Lewis zinterpretowali wyniki swych badań eksperymentalnych na podstawie diagramu Jabłońskiego i doszli do wniosku, że poziom metatrwały jest poziomem trypletowym. Hipoteza trypletowa nie od razu została zaakceptowana przez międzynarodową społeczność fotofizyków i fotochemików. Aż do końca lat pięćdziesiątych XX wieku sprawa ta była tematem ożywionej dyskusji naukowej, prowadzonej na seminariach, konferencjach i w czasopiśmie na całym świecie. Dyskusja ta została zapoczątkowana tuż po wygłoszeniu przez M. Kasha 20-minutowego referatu na Zjeździe Amerykańskiego Towarzystwa Chemicznego w 1946 roku, dedykowanym prof. Mullikeniowi z okazji 65. rocznicy jego urodzin. Warto zwrócić uwagę na fakt, że był to pierwszy referat nowo wykreowanego doktora na prestiżowej konferencji naukowej. Po jego referacie wywiązała się dwugodzinna dyskusja, w której udział brali wybitni uczeni, tacy jak James Franck (ten od zasady Francka-Condona), Edward Teller (współtwórca bomby H), Robert S. Mulliken oraz biofizycy E. Rabinowitch i R. Livingstone. Trzeba też przyznać, że sam Aleksander Jabłoński z początku miał zastrzeżenia do słuszności hipotezy Kasha i Lewisa, chociaż w swojej pracy z 1958 roku napisał, że „jak się wydaje, trypletowa natura stanu metatrwałego jest na ogół uznana” (*seems to be generally accepted*). Momentem przełomowym, który spowodował, że ta hipoteza została powszechnie, w tym przez Jabłońskiego, zaakceptowana, były doświadczenia przeprowadzone w latach 1958–1959 przez Hutschisona i Manguna oraz van der Waalsa i de Groota, którzy – stosując metodę paramagnetycznego rezonansu elektronowego – obserwowali rozszczepienie stanu metatrwałego w polu magnetycznym na trzy podpoziomy, co wskazuje na trypletowy charakter tego stanu.

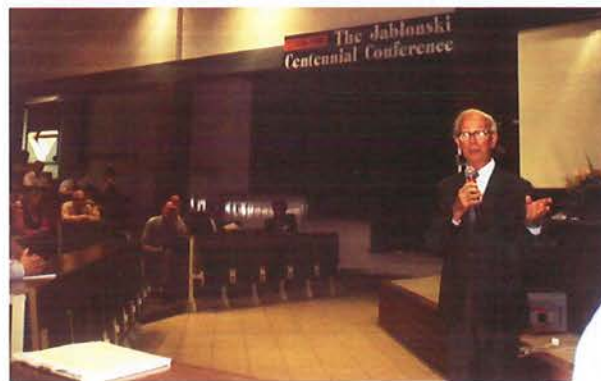
W ogólności należy stwierdzić, że badania prof. Kasha koncentrują się na szeroko pojętym wprowadzeniu teorii jednoelektrodowych orbitali do tłumaczenia szeregu fizykochemicznych zjawisk, mających swe odbicie w widmach absorpcyjnych i emisyjnych mo-

lekuł organicznych i nieorganicznych, a więc molekuł szczególnie ważnych w biofizyce, farmacji i elektronice kwantowej. W jego bogatym dorobku publikacyjnym można wydzielić szereg bloków prac poświęconych zagadnieniom szczegółowym, dotyczącym różnych zjawisk. Wyliczenia ich najprościej dokonać, uwzględniając chronologię czasową, w której zagadnienia te (bloki tematyczne) stanowiły przedmiot zainteresowań Kasha i jego uczniów.

I tak, po pierwsze, Kasha uściślił schemat poziomów elektronowych Jabłońskiego, udowadniając, że stan metatrwały M , w tym diagramie, jest stanem trypletowym, a molekula w tym stanie posiada spin $S = 1$ i wykazuje paramagnetyzm (fotomagnetyzm). Molowa podatność magnetyczna drobin w tym stanie, wyznaczona z dużą pieczołowitością dla fluoresceiny, wynosi $\chi = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ mol}^{-1}$. Po drugie, jest on autorem tzw. reguły Kasha, w myśl której „emisja kwantu fluorescencji czy fosforescencji zachodzi niemal zawsze ze stanu $S_1(v = 0)$ czy też $T_1(v = 0)$ ”, tj. stanu, który jest energetycznie najniższym w tej multipletowości. Po trzecie, w oparciu o teorię jednoelektronowych orbitali dokonał klasyfikacji przejść elektronowych w molekułach organicznych i nieorganicznych na przejścia typu: $\pi - \pi^*$, $n - \pi^*$ oraz $\pi_{a_1} - \pi^*$. Podał on – i teoretycznie uzasadnił – regułę przesunięć maksimum absorpcji tych przejść przy zmianie polarności rozpuszczalnika. W dalszej kolejności należy nadmienić, że wraz ze swymi doktorantami Kasha pokazał doświadczalnie i teoretycznie, iż ciężki atom, stanowiący podstawnik w molekule lub będący elementem w rozpuszczalniku, w znacznym stopniu wpływa na prawdopodobieństwo przejść bezpromienistych $S_1 - T_1$ oraz na absorpcję $S_0 - T_1$ w temperaturze 77 K (w literaturze powyższą obserwację nazywamy „efektem Kasha” lub „efektem ciężkiego atomu”). Kasha jest współautorem (ze swymi doktorantami) szeregu publikacji dotyczących modeli (mechanizmów) wzbudzenia samych molekuł, dimerów, ekscimerów, polimerów oraz układów laminarnych. Jest współautorem tłumaczenia z języka rosyjskiego na angielski monografii A. S. Davydova *Theory of molecular excitons*. Ponadto zainicjował on i rozwinął ze swym doktorantem badania spektroskopowe dotyczące singletowej drobinny tlenu $O_2 * (^1\Delta_g)$ w fotochemii, biochemii i terapii rakowej (tzw. *terapia fotodynamiczna*). Kasha wykazał doświadczalnie, że drobinny singletowego tlenu $O_2 * (^1\Delta_g)$ tworzą dimer $O_2^* - O_2^* (^1\Delta_g - ^1\Delta_g)$, emitujący czerwoną linię $\lambda = 633,4 \text{ nm}$. Zjawisko takiej emisji (chemiluminescencja) towarzyszy szeregu reakcjom chemicznym utleniania (np. $H_2O_2 + OCl^- \rightarrow O_2^* + H_2O + Cl^-$) – czasopismo *The Spectrum*, vol. 18, 2005, na okładce zamieściło zdjęcie chemiluminescencji towarzyszącej tej

reakcji. W oparciu o analizę orbitali elektronowych Kasha dokonał klasyfikacji reakcji przyłączenia protonu, tj. wiązania wodorowego w podstawowym i wzbudzonym stanie elektronowym molekuly. W szczególności pokazał, że emisja drobin wzbudzonych, w których zachodzi reakcja przyłączenia protonu z zewnątrz lub tzw. przeskołu protonu wewnątrz molekuly, posiadają swoje odrębne pasmo w całkowitym widmie emisyjnym. Prowadzone przez dziesięciolecia badania w tej tematyce zaowocowały odkryciem lasera chemicznego typu ESIPT (*Excited State Internal Proton Transfer laser*).

W końcu, *last but not least*, wspólnie z doktorantami i współpracownikami Kasha dokonał odkrycia trymodowej fluorescencji (tj. LE, ESIPT oraz TICT), obserwowanej w drobinach dwuchromoforowych, w stanie wzbudzonym, S_1 , w których może zajść reakcja wewnętrznego przeskołu protonu (ESIPT) lub przesunięcia ładunku elektrycznego w drobinie z części donorowej do akceptorowej (ICT). Badania powyższych zjawisk, zapoczątkowane przez Lipperta w latach 60. ubiegłego wieku, są obecnie prowadzone w wielu krajach z uwagi na możliwości ich wykorzystania zarówno w elektronice kwantowej i fotoogniwach, jak i w określaniu parametrów fizykochemicznych (n, ϵ) najbliższego środowiska (w nanoskali).



Prof. M. Kasha – główny wykładowca na Międzynarodowej Konferencji Luminescencyjnej w Toruniu (1986 r.)

Reasumując, należy stwierdzić, że profesor Kasha jest jednym z głównych współtwórców fotochemii, fotofizyki oraz specjalistycznych działów spektroskopii optycznej i EPR molekuł w stanie podstawowym i wzbudzonym. Jego osiągnięcia naukowe są znane na całym świecie. Pewnym wyznacznikiem wagi dokonań prof. Kasha w nauce są nadane mu wyróżnienia i odznaczenia. Nie sposób wymienić ich wszystkich. Do najważniejszych należą:

- ✦ honorowe doktoraty – Gonzaga University w Waszyngtonie (1988) i Uniwersytet Gdański (1992),
- ✦ medale międzynarodowych towarzystw naukowych: George Porter Medal (1989), medal Roberta

S. Mullikena (1990), medal Jabłońskiego (1998), medal nadany przez Europejskie Towarzystwo Fotofizyczne i Biological Fluorescence Group of Biophysical Society (USA),

- przynależność do towarzystw naukowych: Amerykańskiej Akademii Sztuki i Nauki (od 1963), Amerykańskiej Akademii Nauk (od 1971), Brazylijskiej Akademii Nauk (od 1977), Ukraińskiej Akademii Nauk (od 1991), Międzynarodowej Akademii Nauk Kwantowo-Molekularnych (od 1991),

- doradztwo rządowe w USA i innych krajach: National Science Board (1979–1984) w rządzie prezydenta Cartera, Foreign Councilor of the Institute of Molecular Science, Okazaki, Japan (1982–1985), doradca naukowy Korean Advanced Institute for Science and Technology (1991–2013) oraz doradca w rządzie stanu Floryda (1983–1997).

Profesor Kasha był znakomitym wykładowcą i popularyzatorem nauki – uhonorowany tytułem *Robert O. Lowton Distinguished Professor* (1962), bywał częstym wykładowcą na zjazdach i konferencjach naukowych, np. Amerykańskiego Towarzystwa Chemicznego i jego regionalnych oddziałów, przyznano mu też szereg nagród pieniężnych i tytułów, takich jak *Outstanding Scientist of the Year*. Biological Fluorescence Group of the Biophysical Society (USA) i firma Spectronic Instruments, Inc. (USA) w 1998 roku przyznały prof. Kasha nagrodę *International Jabłoński Award*.

Innym miernikiem dorobku naukowego prof. Kasha są jubileuszowe wydania specjalnych tomów *Festschrift* w trzech prestiżowych czasopismach: *J. Physical Chemistry* (1986) z okazji 65. urodzin, *Symposium on Electronic Processes and Energy Transfer; J. Quantum Chemistry* (1991) – *Conference on Photoinduced Proton Transfer* oraz w *J. Physical Chemistry* (1993) – *Michael Kasha Festschrift* – prace dedykowane prof. Kasha z okazji 70. urodzin.



Państwo Kasha wraz z autorem artykułu oczekują na pociąg do Warszawy na peronie stacji PKP Sopot (1992 r.)



Promotor, prof. J. Heldt, odczytuje laudację w czasie Uroczystego Posiedzenia Senatu UG, poświęconego nadaniu tytułu doktora *honoris causa* UG prof. M. Kasha (24 września 1992 roku)

Profesor Kasha z żoną kilkakrotnie odwiedzili Polskę. Pierwszy raz jako członek Komitetu Naukowego i główny wykładowca na Międzynarodowej Konferencji Luminescencyjnej w Toruniu (1986 r.), na której wygłosił referat pt. *Fifty years of the Jabłoński diagram*. Potem uczestniczył w Zjeździe Polskiego Towarzystwa Fotochemii w Otwocku (1987 r.) oraz w konferencji *The Jabłoński Centennial Conference on Luminescence and Photophysics* w 1998 roku w Toruniu. Wygłosił wówczas otwierającą tę Konferencję referat pt. *From Jabłoński to femtoseconds*. Nadzwyczajną okazją był jego pobyt w Gdańsku (1993) na uroczystości wręczenia mu dyplomu doktora *honoris causa* Uniwersytetu Gdańskiego. W czasie tego pobytu odbył szereg spotkań z pracownikami Instytutów Fizyki i Chemii UG oraz Instytutu Chemii Politechniki Gdańskiej.

Pobyty w Gdańsku szczególnie interesowały panią Kasha, która na ul. Elbląskiej odnalazła swój dom rodzinny, na ul. Kładki gmach swojej szkoły (obecnie mieści się w nim Instytut Biologii), a w Wejherowie odwiedziła swą nianię – miłą staruszkę. Dla mojej żony i dla mnie przyjemnością było gościć państwa Kasha



Rektor Uniwersytetu Gdańskiego, prof. Grzonka, wręcza prof. M. Kasha dyplom promocyjny doktora *honoris causa* UG

u siebie w domu, co było miłym dla nas odwzajemnieniem naszych wizyt w ich pięknym domu nad jeziorem Bradford w pobliżu Tallahassee.



Spotkanie przy kawie w domu państwa Heldtów. Od lewej profesorowie: A. Kawski, M. Kasha, S. Lis, pani Lilli Cohn-Kasha, J. Heldt oraz S. J. Kwiatkowski

Wśród znajomych profesora Kasha znane są jego różnorakie hobbistyczne zainteresowania, w szczególności badania dotyczące dźwięków gitary i jej podobnych instrumentów strunowych. Jest twórcą gitary klasycznej typu K (dwa patenty USA), produkowanej w małych seriach. Jest autorem samodzielnym

lub współautorem ze swym synem rozpraw naukowych dotyczących historii gitary i innych instrumentów strunowych. Na przełomie XX i XXI wieku na wydziale muzykologii Stanowego Uniwersytetu Florydy w Tallahassee zainicjował budowę komory dźwiękochłonnej, w której jego podopieczni wykonywali pomiary akustyczne stanowiące podstawę ich pracy dyplomowej. Interesował się również fauną Florydy i jej historią. Wyrazem tego zainteresowania są opublikowane eseje. Jest autorem rozprawy historycznej pt. *Wspomnienia osobiste: G. N. Lewis, J. Franck, R. S. Mulliken i A. Szant-Györagyi*.

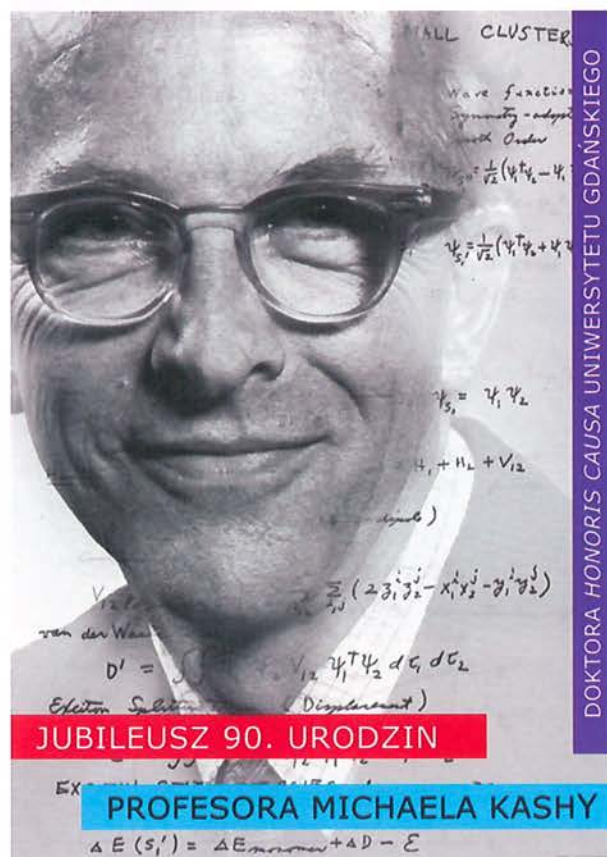
Profesor Kasha był znakomitym wykładowcą, troskliwym opiekunem swych studentów. Wypromował 33 doktorów i 5 magistrów chemii. Jego doktorantami byli obecni sławni fizyko-chemicy: R. S. Becker, S. P. McGlynn, D. S. McClure (autorzy dobrze znanych monografii), E. G. McRae, P. K. Sengupta oraz M. F. A. El-Sayed, redaktor naczelny *J. Physical Chemistry*.

W 2005 r. (w 85. urodziny Kasha) macierzysta uczelnia Florida State University powołała nową jednostkę badawczą „Laboratorium Kasha”, stanowiącą zespół jednostek badawczych z Wydziałów Fizyki, Chemii, Biochemii, Matematyki, Informatyki i Inżynierii oraz Instytutu Biofizyki Molekularnej. Profesor Kasha dla studentów studium doktoranckiego w Laboratorium Kasha ufundował nagrodę swego imienia przyznawaną studentowi posiadającemu – oprócz celujących wyników w nauce – oryginalne publikacje. Nagroda powyższa jest przyznawana corocznie – począwszy od 1995 roku.

Instytut Fizyki UG przy wydatnej współpracy pani mgr Emilii Jakimowicz (z Biblioteki Wydziałowej) zorganizował wystawę *Profesor M. Kasha – fizyk, chemik i muzyk* oraz seminarium, na którym pracownicy gdańskich uczelni podzielili się wspomnieniami, a ich wychowankowie najnowszymi wynikami prowadzonych badań, tematycznie związanych z pracami profesora Kasha.

Profesor Michael Kasha, doktor *honoris causa* Uniwersytetu Gdańskiego, zmarł 12 czerwca 2013 roku w Memorial Hospital w Tallahassee w obecności syna, wg którego: „he died peacefully and knowing he was loved” (e-mail od Nicolasa Kasha). Symbolicznego wymiaru nabiera fakt, że jego śmierć zbiegła się z 80. rocznicą opublikowania w *Nature* (w numerze datowanym na 10 czerwca 1933 r.) pracy, w której Jabłoński po raz pierwszy zademonstrował diagram poziomów, nazwany później właśnie przez Kasha i Lewisa „diagramem Jabłońskiego”.

Z pełnym przekonaniem należy stwierdzić, że profesor Kasha był jednym z głównych twórców fotoche-



Plakat promujący uroczyste seminarium z okazji 90. urodzin prof. Kasha, które odbyło się 4 marca 2011 roku na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki UG

mii, fotofizyki oraz specjalistycznych działów spektroskopii molekuł w stanie wzbudzonym. Jego osiągnięcia naukowe są znane na całym świecie. W monografiach z dziedziny spektroskopii molekularnej, biochemii, fotofizyki i fotochemii można znaleźć prawo oraz zjawisko nazwane jego nazwiskiem. Byli współ-

pracownicy prof. Kashy z wielkim żalem przyjęli wiadomość o jego śmierci. W pamięci wszystkich pozostanie on na zawsze wielkim naukowcem, życzliwym każdemu rozmówcy, a w szczególności tym, których interesują problemy podstaw nauki, sztuki, muzyki i języków.

Koło fortuny

Anna Go

Wydział Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku

Od trzech lat Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku wraz z Oddziałem Białostockim PTF przygotowuje doświadczalne konkursy fizyczne. Inicjatorem i głównym organizatorem konkursów jest przewodniczący Oddziału Białostockiego PTF dr hab. Krzysztof Szymański. Tematyka konkursów obejmuje różne działy fizyki. Uczestnicy, na podstawie znanych praw fizyki, mają wymyślić metodę prowadzącą do rozwiązania postawionego przed nimi zadania. Większość osób biorących udział w konkursach to studenci Uniwersytetu w Białymstoku, chociaż wśród uczestników nie brakuje także młodszych miłośników fizyki, zwłaszcza uczniów szkół średnich. Do tej pory odbyło się 8 edycji konkursu, w których uczestnicy szacowali długości poskręcanych linii, liczyli śrubki i zwalniali więzy. Spore grono zainteresowanych przyciągnęło „kółko graniaste” zbudowane z oporników. Wśród zadań konkursowych nie zabrakło również lania wody na Wielkanoc i zielonego promyka na Boże Narodzenie. Najbliższy planowany konkurs nosi tytuł: *Koło fortuny*. Do udziału w nadchodzącej edycji tego wydarzenia zapraszamy wszystkich zainteresowanych: studentów oraz uczniów szkół ponadgimnazjalnych. Bliższe informacje dotyczące organizowanych konkursów dostępne są na stronie internetowej Wydziału Fizyki UwB <http://physics.uwb.edu.pl/>.



Studenci Wydziału Fizyki UwB podczas pomiarów

NOMINACJE PROFESORSKIE

Z rąk prezydenta RP nominacje profesorskie w dziedzinie nauk fizycznych otrzymało dwunastu uczonych. Byli to: 23 stycznia 2013 r. – Wojciech Dominik (UW), Jacek Golak (UJ), Zbigniew Klusek (UŁ), Grzegorz Madejski (Stanford Linear Accelerator Menlo Park, USA), Grażyna Odynec (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA), Anna Kopińska (UJK, Kielce), Igor Tralle (URz); 14 lutego 2013 r. – Wojciech Knap (Uniwersytet w Montpellier, Francja), Bolesław Nogaj (UAM), Wojciech Paszkowicz (IF PAN, Warszawa), Michał Tomczak (UWr).

Źródło informacji: www.prezydent.pl

Bolesław Nogaj

Bolesław Nogaj urodził się w 1947 r. w Luboniu koło Poznania. W 1970 r. ukończył studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W tym samym roku rozpoczął pracę w Zakładzie Fizyki Molekularnej, kierowanym przez prof. Jerzego Pietrzaka, najpierw w charakterze stażysty, potem kolejno: asystenta (1970–1973), starszego asystenta (1973–1977), adiunkta (1977–1990), docenta (1990–1993) i profesora nadzwyczajnego od roku 1993. W okresie od 1993 do końca września 2011 r. kierował stworzonym przez siebie Zakładem Spektroskopii Jądrowego Rezonansu Kwadrupolowego. Po doktoracie odbył dwa długoterminowe staże naukowe: roczny w Department of Physics, University of Florida, Gainesville (USA) oraz ośmiomiesięczny w Institut d'Electronique Fondamentale, Universite Paris XI, Orsay (Francja). W grudniu 2012 roku uzyskał tytuł naukowy profesora.

Zainteresowania naukowe Bolesława Nogaja od początku związane są z rozwojem i zastosowaniem spektroskopii jądrowego rezonansu kwadrupolowego (NQR) w badaniach struktury elektronowej i dynamiki układów molekularnych, głównie biologicznie aktywnych.

W latach 1994–2003 prof. B. Nogaj prowadził prace badawczo-konstrukcyjne dla wojska, policji i służb celnych. Prace te zaowocowały opracowaniem i skonstruowaniem prototypu urządzenia do wykrywania materiałów wybuchowych (w szczególności plastycznych) i narkotyków w bagażu za pomocą spektroskopii ^{14}N -NQR. Urządzenie to przeszło pomyślnie testy wykonane przez saperów.

Drugie opracowane i skonstruowane urządzenie wykazało użyteczność spektroskopii ^{14}N -NQR w wykrywaniu min niemetalicznych, niemożliwych do wykrycia innymi metodami.



Dorobek naukowy Bolesława Nogaja to 128 prac, w tym 60 opublikowanych w czasopismach z listy filadelfijskiej, 2 artykuły przeglądowe w monografiach (PWN i Kluwer Academic Publishers) oraz 136 komunikatów konferencyjnych.

Profesor B. Nogaj współpracował i współpracuje z licznymi ośrodkami krajowymi oraz zagranicznymi (USA, Japonia, Argentyna, Wenezuela, Rosja). Wypromował pięciu doktorów.

Za swoją działalność naukową był wielokrotnie wyróżniany nagrodami Rektora UAM oraz Nagrodą Indywidualną Ministra Edukacji Narodowej (1991). W 1998 roku został odznaczony Srebrnym Krzyżem Zasługi.

Grażyna Odyniec

Grażyna Odyniec ukończyła studia w 1973 r. na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (kierunek: Fizyka Cząstek Elementarnych), a w roku 1978 obroniła rozprawę doktorską. Od 1982 r. pracuje naukowo w Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley (USA).

Przedmiotem jej zainteresowań naukowych są reakcje jądrowe zachodzące przy ultrarelatywistycznych energiach, które prowadzą do wytworzenia nowych form materii jądrowej z uwolnionymi subnucleonowymi stopniami swobody.

W latach 1982–1990 uczestniczyła w eksperymentach reakcji ciężkich jonów rejestrowanych w komorze strumieniowej w Bevalac (Berkeley). Wprowadziła do fizyki, wspólnie z prof. P. Danielewiczem, nową metodę analizy efektów kolektywnych w reakcjach jądrowych. Metoda ta stała się powszechnym „narzędziem” pracy w badaniach reakcji jądrowych.



Należała do czteroosobowego zespołu, który po raz pierwszy wprowadził do techniki badawczej w fizyce jądrowej wielkich energii Komory Projektacji Czasowej (*Time Projection Chambers*, TPC). TPC bardzo szybko wyparły najbardziej popularne techniki badawcze oparte na komorach pęcherzykowych i strumienio-

wych. Obecnie są podstawowym elementem układów detektorowych największych eksperymentów.

W latach dziewięćdziesiątych uczestniczyła w eksperymentach NA35 i NA49 w CERN-ie, w których zajmowała się badaniem cząstek dziwnych. Opracowała i wprowadziła nowe metody rekonstrukcji i analizy hiperonów rejestrowanych bez pola magnetycznego.

Równoległe do pracy w eksperymentach CERN-owskich kierowała projektem detektora wierzchołkowego (*Silicon Vertex Tracker*, SVT) dla eksperymentu STAR (*Solenoidal Tracker At RHIC*).

W tym samym czasie rozpoczęła badania nad możliwościami zastosowania krzemu typu „p” jako materiału detektora pozycyjnego, w którym nośnikiem dryfującym są nie elektrony, a dziury. Na jej wniosek zrealizowany został przez DOE R&D program budowy prototypu tego detektora, którym kierowała. Projekt zakończył się sukcesem. Detektory te odznaczają się szczególnie dużą odpornością na uszkodzenia radiacyjne.

Swoje doświadczenia z CERN-u, dotyczące cząstek dziwnych, zastosowała do sformułowania programu badania produkcji zarówno tych cząstek, jak i cząstek zawierających kwarki powabne, w eksperymencie STAR. W ramach tej działalności prowadziła jako promotor pięć zakończonych i obronionych prac doktorskich.

W latach 2000–2006 pełniła funkcję koordynatora programu uczestnictwa Stanów Zjednoczonych w eksperymencie ALICE w LHC/CERN (*ALICE USA spokesperson*). Kierowała pracami dotyczącymi opracowania projektu elektromagnetycznego kalorymetru i włączenia go w skład multidetektora ALICE. Konstrukcja i finansowanie tego detektora (~ 13,5 mln \$) stanowi główny wkład zespołów z USA do eksperymentu ALICE.

W jej aktualnej działalności i w planach na przyszłość główną rolę odgrywa kierowanie i koordynacja programu BES (*Beam Energy Scan*) w eksperymencie STAR w RHIC, mającym na celu wyznaczenie obszaru energetycznego, w którym pojawiają się sygnały uwolnienia kwarkowych stopni swobody (*onset of deconfinement*), oraz określenie pozycji punktu krytycznego na diagramie fazowym materii jądrowej. Program ten jest obecnie najważniejszym programem naukowym w RHIC.

Jest autorem/współautorem ponad 370 publikacji naukowych, liczba cytowań przekracza 10 000 – z pominięciem autocytowań. Od 1982 r. należy do American Physical Society. Zamężna, dwaj synowie. Wolnego czasu nie posiada.

Michał Tomczak

Michał Tomczak urodził się we Wrocławiu 5 sierpnia 1960 r.

Wykształcenie: magister – 1984 r. (promotor – prof. Jerzy Jakimiec), doktor – 1994 r. (promotor – prof. Jerzy Jakimiec), doktor habilitowany – 2001 r., profesor – 2012 r. (nominacja – 21 grudnia 2012 r.)

Związany zawodowo i naukowo z Instytutem Astronomicznym Uniwersytetu Wrocławskiego: pomoc techniczna – 1983 r., asystent – 1984 r., adiunkt – 1994 r., profesor nadzwyczajny – 2003 r.

Funkcje: dyrektor Instytutu Astronomicznego od 2002 r. (obecnie czwarta kadencja), kierownik Zakładu Heliofizyki i Fizyki Kosmicznej od 2005 r.

Organizacje naukowe: Międzynarodowa Unia Astronomiczna, Joint Organization for Solar Observations, International Space Weather Initiative, Polskie Towarzystwo Astronomiczne (obecnie przewodniczący Komisji Rewizyjnej), Komitet Astronomii PAN, Komisja Badań Kosmicznych PAN, Rada Naukowa Centrum Badań Kosmicznych PAN, Międzywydziałowy Zespół Ekspercki ds. Badań Kosmicznych PAN.

Zainteresowania naukowe: badanie przejawów magnetycznej aktywności Słońca, takich jak rozbłyski słoneczne, koronalne wyrzuty materii (CME) i rentgenowskie wyrzuty plazmy (XPE); analiza satelitarnych obserwacji Słońca, zarejestrowanych w zakresie rentgenowskim i ultrafioletowym.

Saże naukowe: Mullard Space Science Laboratory (University College London) – 6 miesięcy, wyjazdy krótkoterminowe do Anglii, Czech i na Węgry.

Dydaktyka: wykłady z podstaw astronomii, budowy i ewolucji gwiazd, fizyki Słońca, komputerowej analizy obrazów, specjalistyczne – dla studentów astronomii, wykłady z elementów astronomii i astrofizyki – dla studentów fizyki.

Dorobek naukowy: około 50 opublikowanych prac, z czego połowa w czasopismach z listy filadelfijskiej (większość jako prace jedno- lub dwuautorskie), m.in. dwie prace w prestiżowych *The Astronomical Journal Supplement Series* i *Astronomy & Astrophysics Review* (odpowiednio 45 i 50 pkt. według aktualnej punktacji ministerialnej); łączna liczba cytowań



dochodzi do 300; udział w 27 konferencjach międzynarodowych i 11 krajowych.

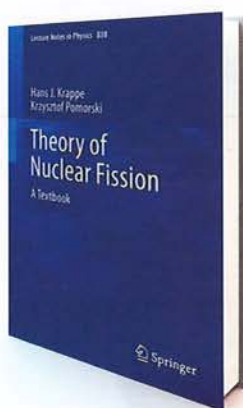
Opieka naukowa: wypromowany jeden doktor i sześciu magistrów, obecnie sprawuje opiekę nad dwiema doktorantkami i dwoma magistrantami.

Granty: kierownik grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, obecnie kierownik grantu Narodowego Centrum Nauki (Opus 2).

Nagrody: Ministra Edukacji Narodowej w 2002 r. (indywidualna) i w 2003 r. (zespołowa).

Rodzina: żona Ewa jest pracownikiem administracyjnym Dolnośląskiego Centrum Chorób Serca „Medinet”, córka Agnieszka (uczennica XIV Liceum Ogólnokształcącego), syn Marcin (uczeń Szkoły Podstawowej nr 50).

Hobby: muzyka, turystyka górską i krajoznawstwo (w latach 1980–1993 aktywnie udzielał się w środowisku turystycznym, był m.in. prezesem Studenckiego Koła Przewodników Sudeckich i Oddziału Akademickiego PTTK).



**Hans Jurgen Krappé
Krzysztof Pomorski**

Theory of Nuclear Fission

Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – Nowy Jork 2012

Monografia *Theory of Nuclear Fission* (Teoria rozszczepienia jąder atomowych) ukazała się w lutym 2012 roku w prestiżowej serii *Lecture Notes in Physics*, wydawanej od 1969 roku przez Springer Verlag. W serii tej są przedstawiane nowe odkrycia w dziedzinie badań fizycznych, a poszczególne jej tomy stanowią rodzaj pomostu pomiędzy podręcznikami akademickimi a aktualnym frontem badań naukowych.

W książce tej na 320 stronach przedstawiono różne aspekty zjawiska rozszczepienia jądrowego, odkrytego prawie 75 lat temu przez Hahna, Strassmanna i Meitner. Jest to pierwsze od czasu słynnej monografii Lawrence'a Wiletsa (*Theories of Nuclear Fission*, Clarendon, Oxford, 1964, 132 strony) tak obszerne opracowanie teorii tego ważnego zjawiska. Monografia Krappego i Pomorskiego składa się z pięciu rozdziałów. Pierwszy stanowi rodzaj wstępu historycznego, gdzie

podsumowano wyniki badań eksperymentalnych i teoretycznych z pionierskiego okresu tej ważnej dziedziny fizyki. W kolejnych rozdziałach omówiono współczesne teorie tego zjawiska. I tak w rozdziale drugim, poświęconym metodom wyznaczania powierzchni energetycznych jąder atomowych, przedstawiono teorie średniego pola, opisujące efekty oddziaływania nukleonów wewnątrz jąder atomowych przy pomocy globalnych parametrów, takich jak momenty multipolowe. Wyznaczane w tych teoriach rozkłady gęstości materii i energie wiązania pozwalają na oszacowanie kształtów i wysokości barier potencjalnych ze względu na rozszczepienie. Alternatywnymi modelami są przedstawione w tym samym rozdziale teorie makroskopowo-mikroskopowe. Następny rozdział przedstawia podstawowe teorie dotyczące gęstości poziomów jądrowych. Gęstość ta – wg teorii Bohra – ma decydujące znaczenie dla wyznaczenia prawdopodobieństwa indukowanego rozszczepienia jąder atomowych, który to proces zachodzi np. we wnętrzu reaktorów jądrowych. Rozdział czwarty poświęcony jest statystycznym teoriom rozpadu wysoko wzbudzonych jąder atomowych. Rozpad ten odbywa się poprzez rozszczepienie na dwa fragmenty i emisję lekkich cząstek, głównie neutronów oraz protonów, cząstek alfa i kwantów gamma. Oba te procesy, rozszczepienie i emisja, są względem siebie konkurencyjne i dlatego poprawny opis obu typów rozpadu jest bardzo ważny dla prawidłowej kontroli procesu rozszczepienia

jąder atomowych w reaktorach jądrowych. W ostatnim, piątym rozdziale przedstawione są aktualne teorie opisujące dynamikę procesów jądrowych, a w szczególności: spontaniczne rozszczepienie, rozpad jąder poprzez emisję lekkich klastrow czy cząstek alfa oraz rozszczepienie wysoko wzbudzonych jąder atomowych.

Monografia Krappego i Pomorskiego zawiera 726 odnośników literaturowych, w tym do ponad 60 prac naukowych obu autorów. Jest ona wynikiem ich kilkudziesięcioletnich badań w dziedzinie fizyki jądrowej. Książka ta jest przydatna zarówno fizykom teoretykom i doświadczalnikom, jak i doktorantom specjalizującym się w tej dziedzinie nauki.

Stanowić ona też będzie cenną pomoc dla ekspertów oceniających zagrożenia i korzyści płynące z energetyki jądrowej. Jest to szczególnie ważne obecnie, kiedy Polska, tak jak inne kraje, staje wobec wyzwań związanych z ociepleniem klimatu i koniecznością przestawienia się na bardziej przyjazne dla środowiska źródła energii. Uważam, że bez dogłębnej znajomości fizyki i procesu rozszczepienia trudno być rzetelnym ekspertem w dziedzinie energetyki jądrowej.

W moim przekonaniu książka ta może być pomocna w przygotowaniu zajęć dydaktycznych z zakresu fizyki jądrowej na wszystkich poziomach studiów. Można ją polecać studentom i doktorantom.

Mieczysław Budzyński (Lublin)

Fizyka teoretyczna

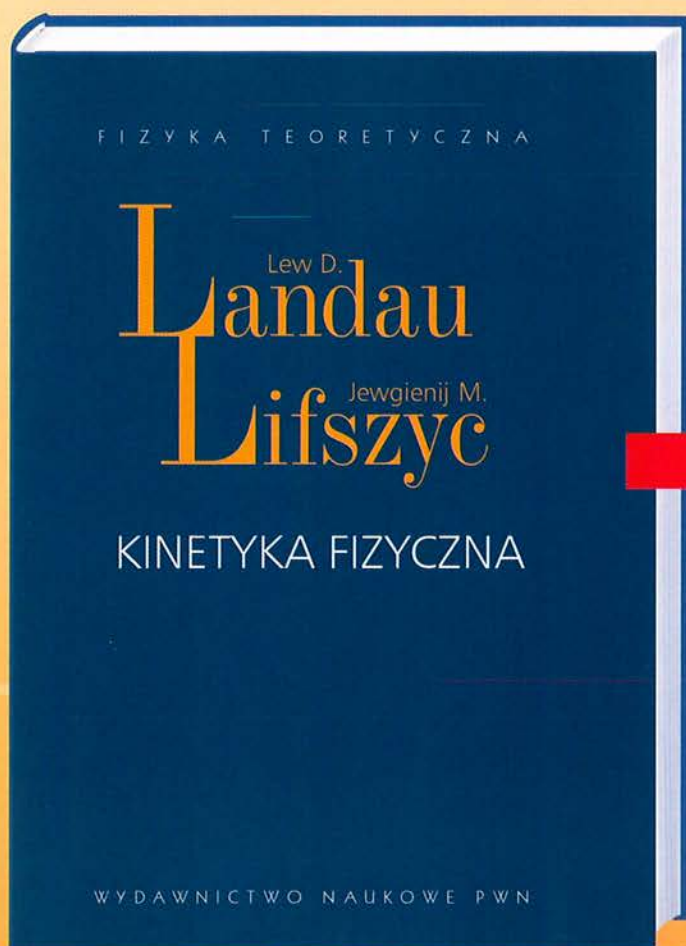
komplet legendarnej serii!

Seria **FIZYKA TEORETYCZNA**, autorstwa L. D. Landaua i J. M. Lifszycy, to klasyczne podręczniki znane i cenione przez fizyków na całym świecie. Książki te zyskały ogromną popularność przede wszystkim dzięki zwięzłej, bardzo klarownej i logicznej prezentacji materiału, tak bardzo charakterystycznej dla Landaua i Lifszycy.

Na uwagę zasługują zadania związane bezpośrednio z głównym nurtem wykładu. Są one podane wraz z rozwiązaniami i komentarzami, co z pewnością ułatwia studentom zrozumienie materiału.

L. D. Landau, E.M. Lifszyc

K I N E T Y K A F I Z Y C Z N A



Ostatni tom, zamykający znakomitą serię Landaua i Lifszycy, który nigdy dotąd nie był tłumaczony na język polski. Poświęcony jest kinetyce fizycznej, szeroko rozumianej jako teoria procesów zachodzących w układach termodynamicznie nierównowagowych.

**PREMIERA
WRZESIEŃ
2013**

NOWOŚĆ!

Polecamy pozostałe tomy:

- Tom I **Mechanika**
- Tom II **Teoria pola**
- Tom III **Mechanika kwantowa.**
Teoria nierelatywistyczna
- Tom IV **Elektrodynamika kwantowa**
- Tom V **Fizyka statystyczna, cz. 1**
- Tom VI **Hydrodynamika**
- Tom VII **Teoria sprężystości**
- Tom VIII **Elektrodynamika ośrodków ciągłych**
- Tom IX **Fizyka statystyczna, cz. 2**



WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

Więcej informacji www.pwn.pl

