

# POSTĘPY FIZYKI



CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO  
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

## Obchody Roku M. Smoluchowskiego

K. Chałasińska-Macukow

W. A. Kamiński

## W lepkim mikroświecie:

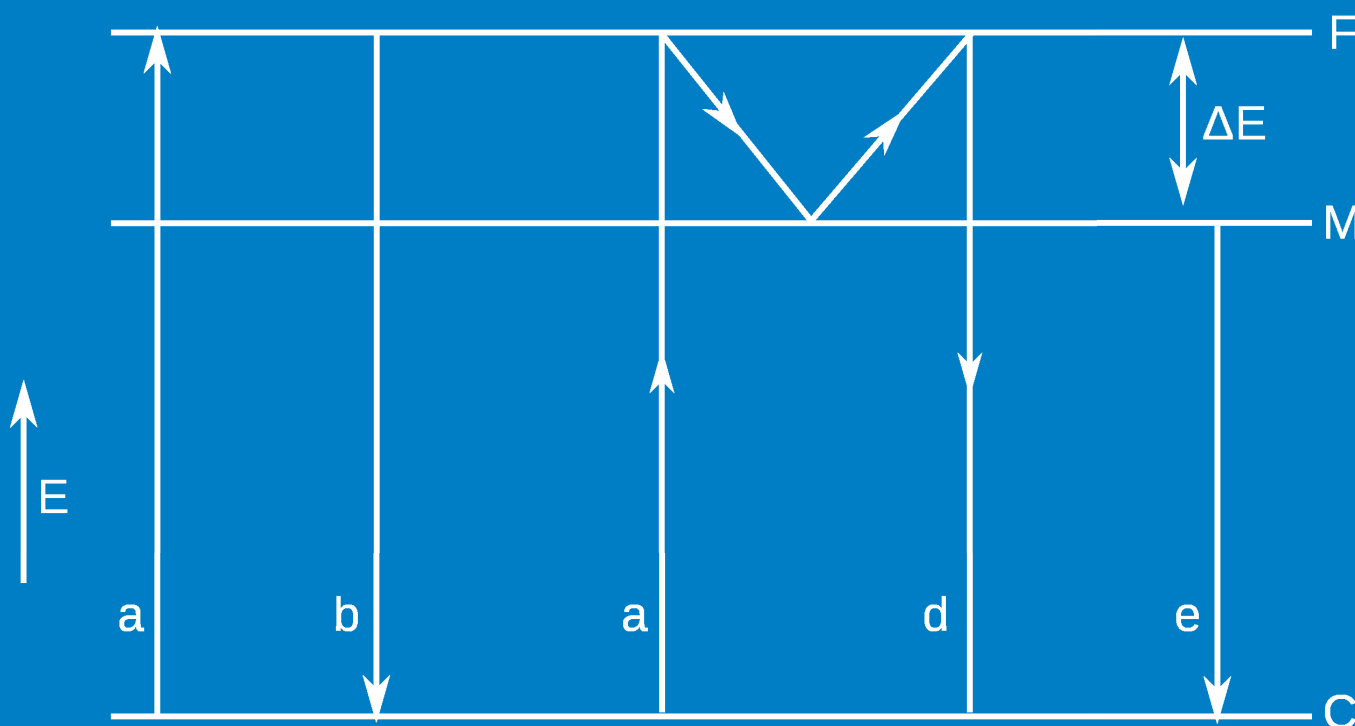
krótka lekcja pływania w miodzie

M. Lisicki

## Fotoluminiscencja kryształów

A. Jabłoński

1 / 2019  
TOM 70





# POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE (PTF)

[www.ptf.net.pl](http://www.ptf.net.pl)

## ZARZĄD GŁÓWNY

Leszek Sirko (prezes)  
Bogdan Kowalski (sekretarz generalny)  
Jan Grabski (skarbnik)  
Katarzyna Chałasińska-Macukow  
Dariusz Grech  
Bohdan Grządkowski  
Zbigniew Kąkol  
Stanisław Kistryn  
Mirośław Łoś  
Maiej Maśka  
Beata Agnieszka Pietrewicz  
Józef Spałek  
Aneta Szczygielska  
Andrzej Ślebarski  
Zbigniew Trybuła

## BIURO ZARZĄDU

ul. Pasteura 5  
02-093 Warszawa  
tel. (+22) 553 28 56 pok.4.56 (4. piętro)  
e-mail: [biuro@ptf.net.pl](mailto:biuro@ptf.net.pl)

## PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW

Krzysztof Szymański (Białystok)  
Adam Gadomski (Bydgoszcz)  
Artur Durajski (Częstochowa)  
Jarosław Rybicki (Gdańsk)  
Adam Michczyński (Gliwice)  
Janusz Gluza (Katowice)  
Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce)  
Józef Spałek (Kraków) Jerzy Żuk (Lublin)  
Wibig (Łódź)  
Ewa Pawelec (Opole)  
Henryk Drozdowski (Poznań)  
Gaweł Żyła (Rzeszów)  
Mirośław Brozis (Słupsk)  
Mariusz P. Dąbrowski (Szczecin)  
Franciszek Rozpłoch (Toruń)  
Andrzej Wysmołek (Warszawa)  
Ewa Dębowska (Wrocław)  
Van Cao Long (Zielona Góra)

## POSTĘPY FIZYKI (PF)

CHASOPIŚMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO  
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

czasopismo ukazuje się od 1949 roku

[www.ptf.net.pl](http://www.ptf.net.pl)

### RADA REDAKCYJNA

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

### KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Krystyna Perzyńska (Białystok)  
Beata A. Pietrewicz (Bydgoszcz)  
Piotr Gębara (Częstochowa)  
Tomasz Wąsowicz (Gdańsk)  
Lucyna Grządziel (Gliwice)  
Zenon Kukuła (Katowice)  
Maciej Rybczyński (Kielce)  
Małgorzata Nowina-Konopka (Kraków)  
Janusz Filiks (Lublin)  
Janusz Kuliński (Łódź)  
Katarzyna Książek (Opole)  
Sławomir Mamica (Poznań)  
Jacek Fal (Rzeszów)  
Agnieszka Włodarkiewicz (Słupsk)  
Janusz Typek (Szczecin)  
Michał Pawlak (Toruń)  
Grzegorz Siudem (Warszawa)  
Wojciech Rudno-Rudziński (Wrocław)  
Lidia Najder-Kozdrowska (Zielona Góra)

### REDAKCJA

Anna Szemberg (redaktor naczelna)  
Krzysztof Turzyński  
Wawrzyniec Kaszub

### ADRES

Redakcja „Postępy Fizyki”  
Wydział Fizyki UW  
Pasteura 5, pok. 2.8 (2. piętro), 02-093 Warszawa  
e-mail: [postepy.fizyki@gmail.com](mailto:postepy.fizyki@gmail.com)

### INFORMACJE DLA AUTORÓW

Czekamy na przystępnie napisane artykuły przeglądowe i monograficzne. Układ pracy powinien odpowiadać formie przyjętej w czasopiśmie (patrz ostatnio wydane numery PF). Teksty złożone w systemie LATEX (plik źródłowy + pdf) lub w programie Word wraz z ilustracjami o rozdzielczości co najmniej 300 dpi w osobnych plikach prosimy nadsyłać e-mailem na adres: [postepy.fizyki@gmail.com](mailto:postepy.fizyki@gmail.com)

Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania i redagowania tekstów w tym wprowadzania niezbędnych zmian terminologicznych. Zgodnie z obowiązującym prawem autorskim Autorzy będą mogli dokonać korekty autorskiej artykułu przygotowanego do druku. Opublikowanie artykułu w PF wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem go na stronie internetowej PTF [www.ptf.net.pl](http://www.ptf.net.pl) na podstawie licencji Creative Commons.

### PRENUMERATA

dla osób/institucji niebędących członkami Polskiego Towarzystwa Fizycznego prenumeratę oferuje Garmond Press ([www.garmondpress.pl](http://www.garmondpress.pl)).

Prenumeratorzy, którzy nie chcą korzystać z usługi pośrednika, proszeni są o wpłacenie odpowiedniej kwoty na główne konto bankowe PTF nr 74 1030 0019 0109 8530 0046 3033, a następnie przesłanie e-mailowo potwierdzenia wpłaty na adres [postepy.fizyki@gmail.com](mailto:postepy.fizyki@gmail.com) podając, którego rocznika PF lub których numerów PF wpłata dotyczy oraz adres, na który czasopismo ma być przesyłane.

Pojedynczy numer PF kosztuje 12 zł, rocznik 48 zł. Koszty przesyłki pokrywa wydawca.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne  
Skład i łamanie: Paweł Mleczek; Druk i oprawa:  
Nakład: 850 egzemplarzy; ISSN 0032-5430

*Drodzy Czytelnicy,*

oddajemy w Państwa ręce kolejny numer *Postępów Fizyki*, którym rozpoczynamy świętowanie Jubileuszu 70-lecia istnienia pisma. Jest to dla nas ważny moment z kilku powodów.

Po pierwsze zapraszamy Państwa do jeszcze większej aktywności w budowaniu *Postępów Fizyki* w przyszłości. Jako czasopismo Polskiego Towarzystwa Fizycznego jesteśmy tym medium, które w sposób naturalny przekazuje wszystko to, co dzieje się w fizyce w Polsce (i nie tylko). Jednakże bez Państwa pomocy nasza wiedza jest zbyt skąpa, aby w pełni oddać to, czym żyje środowisko polskich fizyków.

Po drugie niebawem sfinalizujemy nasze plany dotyczące digitalizacji treści ukazujących się w *Postęпах Fizyki*, by jeszcze szybciej docierały one do Państwa. Chcielibyśmy dołączyć do licznego grona periodyków, które równolegle publikują swoje treści w Internecie i w wersji papierowej. Przy okazji zachęcamy wszystkich do czytania Kroniki w nowej odsłonie, a korespondentów oddziałów PTF – do współtworzenia treści, które się w niej ukazują.

Po trzecie Jubileusz jest zawsze szansą i pretekstem do przypomnienia ciekawych artykułów sprzed lat. Z okazji Jubileuszu, w kilku najbliższych numerach będziemy publikować najciekawsze artykuły z naszego archiwum. Zachęcamy Państwa także do sięgania do obszernego archiwum *Postępów Fizyki*, dostępnego na stronie PTF (<http://www.ptf.net.pl/pl/towarzystwo/dzialalnosc/postepy-fizyki/roczniki/>). W obecnym numerze przedrukowujemy artykuł pióra Aleksandra Jabłońskiego z 1950 roku *Fotoluminescencja kryształów* oraz krótki wywiad z jego Autorem, który ukazał się na łamach *Postępów Fizyki* kilka lat później – niedługo przed śmiercią Profesora w 1980 roku.

Ponadto znajdą tu Państwo obszerny artykuł podsumowujący odchody Roku Mariana Smoluchowskiego, a także artykuł „biologiczno-fizyczny” prezentujący ciekawe zjawiska przyrodnicze w „mikroświecie”. Wspominamy także wielkiego fizyka i społecznika, profesora Marka Nawrockiego, który odszedł od nas w 2018 roku.

Zapraszamy do lektury!

### Obchody Roku Mariana Smoluchowskiego

K. Chałasińska-Macukow, W. A. Kamiński \_\_\_\_\_ 2

### Fotoluminescencja kryształów

A. Jabłoński \_\_\_\_\_ 8

### Urywki rozmowy z Aleksandrem Jabłońskim o jego drodze naukowej

S. Kalemka \_\_\_\_\_ 20

### Aleksander Jabłoński (1898–1980)

T. Skaliński, J. Szudy \_\_\_\_\_ 24

### Obchody Roku Mariana Smoluchowskiego

M. Lisicki \_\_\_\_\_ 29

### Iskrzenie

A. Mencwel \_\_\_\_\_ 33

### Wspomnienie o profesorze Michale Nawrockim

J. Suffczyński \_\_\_\_\_ 34

### Nominacje profesorskie w 2018 roku

\_\_\_\_\_ 35

### 50-ta rocznica śmierci Profesora Henryka Niewodniczańskiego

M. Nowina-Konopka \_\_\_\_\_ 36

### Kronika

\_\_\_\_\_ 40



---

# Obchody Roku Mariana Smoluchowskiego

Katarzyna Chałasińska-Macukow\*, Wiesław Andrzej Kamiński\*\*

\* Wydział Fizyki, Uniwersytetu Warszawskiego

\*\* Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

## 1. Marian Smoluchowski – czołowy fizyk przełomu XIX/XX wieku

Marian Smoluchowski, zmarły 5 września 1917 roku w wieku zaledwie 45 lat, był jednym z najwybitniejszych uczonych przełomu XIX i XX wieku. Absolwent z najwyższym wyróżnieniem Uniwersytetu Wiedeńskiego, przeniósł uzyskane tu prawo wykładowania na Uniwersytet Lwowski, uzasadniając to m.in. możliwością wykładowania po polsku w drugim – obok Uniwersytetu Jagiellońskiego – ośrodku akademickim, gdzie władze austriackie dopuszczały nauczanie po polsku. W wieku 28 lat objął stanowisko profesora nadzwyczajnego fizyki teoretycznej Uniwersytetu Lwowskiego, a zaledwie 3 lata później stanowisko profesora zwyczajnego, stając się najmłodszym profesorem w Cesarstwie Austro-Węgierskim. Wpisał się swoimi badaniami, wraz ze znakomitymi badaczami lwowskimi, m.in. Władysławem Abrahamem<sup>1</sup>, Oswaldem Balzarem<sup>2</sup>, Szymonem Askenazym<sup>3</sup>, Kazimierzem Twardowskim<sup>4</sup>, Benedyktem

Dybowskiem<sup>5</sup> i Ludwikiem Rydygierem<sup>6</sup>, w nadanie tej palcówce naukowo-dydaktycznej znaczenia europejskiego. W 1913 roku przeniósł się do Krakowa na Uniwersytet Jagielloński, obejmując po Augustcie Witkowskim Katedrę Fizyki Doświadczalnej. Po odrzuceniu, ze względów narodowościowych, kandydatury Smoluchowskiego na następcę Friedricha Hasenöhrla<sup>7</sup> na katedrze fizyki teoretycznej Uniwersytetu Wiedeńskiego oraz odmowie przez samego Smoluchowskiego objęcia wykładowów fizyki teoretycznej na odradzającym się Uniwersytecie Warszawskim, Uniwersytet Jagielloński zatrzymuje go, wybierając 5 lipca 1917 w trybie *extra turnum* na parę tygodni przed śmiercią na swojego rektora.

Prace Mariana Smoluchowskiego dotyczące kinetycznej teorii materii w odniesieniu do ruchów Browna miały kluczowe znaczenie dla akceptacji przez świat nauki poglądów o realnym istnieniu atomów. Pomiar przesunięć cząstek wykonujących ruchy Browna badał w 1900 r. Felix Exner, wiedeński kolega M. Smoluchowskiego, zaś od 1906 r. prowadził podobne eksperymenty Theodor Svedberg<sup>8</sup> w Uppsali. Ten ostatni nawiązał korespondencję naukową ze Smoluchowskim, bardzo intensywną w latach 1907–1914. Uwzględniając sugestie Polaka

---

1. Władysław Henryk Franciszek Abraham (1860–1941), prawnik, specjalista prawa kanonicznego, współtwórca polskiego prawa rodzinnego. Habilitował się na Uniwersytecie Berlińskim, profesor Uniwersytetu Lwowskiego i jego rektor. Członek Polskiej Akademii Umiejętności i Lwowskiego Towarzystwa Naukowego.

2. Oswald Marian Balzar (1858–1933), historyk prawa polskiego i państwowości polskiej oraz wczesnej historii innych państw słowiańskich, profesor Uniwersytetu Lwowskiego i jego rektor. Członek PAU, współzałożyciel Towarzystwa dla Popierania Nauki Polskiej we Lwowie, poprzednika Lwowskiego Towarzystwa Naukowego.

3. Szymon Askenazy (1880–1935), historyk, profesor Uniwersytetu Lwowskiego w latach 1902–1919, członek PAU. W czasach II Rzeczypospolitej reprezentant Polski w Lidze Narodów, uważany za twórcę lwowsko-warszawskiej szkoły historycznej, zwanej również szkołą Askenazego.

4. Kazimierz Jerzy Adolf Twardowski (1866–1938), filozof i psycholog, twórca lwowsko-warszawskiej szkoły filozofii. Habilitował się w Wiedniu, przeniósł swoje prawo wykładowania na Uniwersytet Lwowski, profesor i rektor tego uniwersytetu. Założyciel Polskiego Towarzystwa Filozoficznego (1904).

---

5. Benedykt Dybowski (1833–1930), przyrodnik i podróżnik, badacz Dalekiego Wschodu i Kamczatki. Profesor zoologii na Uniwersytecie Lwowskim, uznawany za jednego z twórców polskiej limnologii. Członek PAU oraz Akademii Nauk ZSRR (1928).

6. Ludwik Antoni Rydygier (1850–1920), lekarzchirurg, generał brygady Wojska Polskiego, profesor i kierownik katedry i kliniki chirurgii Uniwersytetu Lwowskiego oraz jego rektor. Twórca oryginalnych metod chirurgicznych i operacyjnych, stosowanych również współcześnie.

7. Friedrich Hasenöhrl (1874–1915), fizyk austriacki, uczeń Franza S. Exnera, sukcesor Boltzmanna na Katedrze Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wiedeńskiego. Jego uczniem był m.in. Erwin Schrödinger. Zginął, po wstąpieniu do armii cesarskiej jako ochotnik, w walkach z Włochami w regionie Trydent-Górna Adyga.

potwierdził na podstawie pomiarów doświadczalnych zależność średniego przesunięcia cząstki od jej promienia, czasu i lepkości środowiska, opisywane wzorem Smoluchowskiego oraz niezależnie wyprowadzonym wzorem Einsteina. Przez czołowych przeciwników teorii korpuskularnej materii zostało to odebrane jako istotne doświadczalne potwierdzenie atomistycznej struktury materii. Dalsze kontakty teoretyka polskiego i szwedzkiego eksperymentatora, dotyczące samorzutnych fluktuacji wokół stanu równowagi w roztworach koloidalnych zawierających różną liczbę cząstek i poparte hipotezami i wzorami przekazywanymi w korespondencji ze Lwowa, utwierdzały środowiska naukowe w przekonaniu o bezwzględnej słuszności poglądów przyznających atomom status obiektywnych składników materii. Rozważania nad fluktuacjami gęstości cieczy i gazów doprowadziły ponadto Smoluchowskiego do wyjaśnienia zjawiska krytycznej opalescencji oraz barwy niebieskiej nieboskłonu dziennego. Smoluchowski należał również do grona prekursorów wykorzystania teorii procesów stochastycznych jako narzędzia do opisu zjawisk fizycznych, zaś większość obecnie używanych równań odnoszących się do fizyki mezo- i mikroskali mogłaby być opatrzona jego nazwiskiem. Gdyby nie przedwczesna śmierć Smoluchowskiego zapewne byłby zgłaszany do Nagrody Nobla jako uczestnik „wścigu po atomy”, w szczególności za prace teoretyczne nad roztworami koloidalnymi. W kontekście badań nad ruchami Browna nagrodzeni bowiem zostali: Richard Adolf Zsigmondy (1925, z chemii; za „wykazanie heterogeniczności roztworów koloidowych”), wspomniany już korespondent Smoluchowskiego (1926, z chemii; za „prace dotyczące układów dyspersyjnych”) oraz Jean Baptiste Perrin (1926, z fizyki, za prace „nad nieciągłą strukturą materii”). O wciąż trwającym oddziaływaniu myśli i dokonań M. Smoluchowskiego w nauce współczesnej świadczy dobitnie liczba około 5000 cytowań jego prac we współczesnych artykułach naukowych: w rankingu najbardziej cytowanych badaczy znalazł się na miejscu 6. Wyprowadziło go tylko pięciu fizyków-laureatów Nagrody Nobla, w tym A. Einstein.

Poza fizyką M. Smoluchowski ukochał góry. W latach 90. XIX wieku wytyczył wraz z bratem Tadeuszem 24 nowe drogi w Alpach Wschodnich oraz dokonał 16 pierwszych wejść szczytowych. Był prezesem Sekcji Taternickiej Towarzystwa Tatrzańskiego (1911–1912).

Niespodziewana śmierć Mariana Smoluchowskiego wywołała wielkie poruszenie w środowisku

fizyków. Swój artykuł wspomnieniowy Albert Einstein zakończył wezwaniem: *Zbyt wcześnie przeciął los jego natchnioną działalność jako badacza i nauczyciela... dźierzmy wysoko jego wzór i dzieło.*

## 2. Rok Mariana Smoluchowskiego

Kontynuując misję PTF związaną z przywracaniem pamięci narodowej wybitnych uczonych, i wynalazców, których działalność wiązała się z fizyką<sup>9</sup> władze towarzystwa postanowiły przypomnieć postać wielkiego fizyka i Polaka Mariana Smoluchowskiego. Zarząd Główny PTF ustanowił pełnomocnikiem ds. obchodów Roku Mariana Smoluchowskiego prezesa PTF poprzedniej kadencji Wiesława Andrzeja Kamińskiego. Do jego zadań należało przygotowanie propozycji imprez i działań planowanych w ramach obchodów 100-rocznicy śmierci wybitnego uczonego oraz przeprowadzenie konsultacji dotyczącej obchodów z ośrodkami fizyki polskiej. Był również odpowiedzialny za koordynację rocznicowej podstrony na portalu PTF (<http://www.ptf.net.pl/rok-m-smoluchowskiego>), redagowanej po polsku i angielsku.

Zebranie Delegatów PTF, podczas Zjazdu Fizyków Polskich w Kielcach 8 września 2015 roku, jednogłośnie podjęło uchwałę z apelem do Sejmu RP o ustanowienie roku 2017 Rokiem Mariana Smoluchowskiego. 12 grudnia tego roku ZG PTF powołał Komitet Obchodów Roku Mariana Smoluchowskiego (KORMS) w składzie: Tadeusz Balcerzak (Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego), Bogdan Cichocki (Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego), Dariusz Chruściński (Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika), Ewa Gudowska-Nowak (Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego), Marek Jeżabek (Instytut Fizyki Jądrowej PAN), Janusz Jędrzejewski (Wydział Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Wrocławskiego), Wiesław Andrzej Kamiński (Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej, wybrany przewodniczącym), Stanisław Kryszewski (Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego), Jerzy Łuczka (Instytut Fizyki Uniwersytetu Śląskiego), Wojciech Łużny (Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej), Jan Misiewicz (Wydział Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej), Adam Patkowski (Wydział Fizyki i Astronomii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza), Jarosław Piasecki (Wydział Fizyki

8. The (Theodor) Svedberg (1884–1971), fizyk szwedzki, profesor Chemii Fizycznej na Uniwersytecie w Uppsali. Laureat Nagrody Nobla w 1926 r.

9. Ogłoszenie przez Sejm RP z inicjatywy PTF roku 2013 Rokiem Józefa Czochochalskiego.

Uniwersytetu Warszawskiego), Andrzej Trautman (Komitet Fizyki PAN), Karol I. Wysokiński (Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej), Jakub Zakrzewski (Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego).

Inicjatywa obchodów została objęta patronatami honorowymi marszałka Senatu RP Stanisława Karczewskiego oraz wicepremiera i ministra nauki i szkolnictwa wyższego, Jarosława Gowina. Patronat medialny objął miesięcznik Forum Akademickie. Jednocześnie w skład Komitetu Honorowego Obchodów Roku Mariana Smoluchowskiego weszli: Andrzej Białas (prezes PAU), Jerzy Błażejowski (prezes Polskiego Towarzystwa Chemicznego), K. Chałasińska-Macukow (prezes PTF), Jerzy Duszyński (prezes Polskiej Akademii Nauk), Janusz Jurczak (przewodniczący Komitetu Chemii PAN), Franciszek Krok (przewodniczący KF PAN), Stanisław Michałowski (rektor UMCS), Wojciech Nowak (rektor Uniwersytetu Jagiellońskiego), Marcin Pałys (rektor UW), Tadeusz Słomka (rektor Akademii Górniczo-Hutniczej), Jan Szmidt (Rektor Politechniki Warszawskiej, przewodniczący Konferencji Rektorów Akademickich Szkół Polskich), Christopher Rossel (prezes Europejskiego Towarzystwa Fizycznego, Eberhard Widmann (prezes Austriackiego Towarzystwa Fizycznego), Maksym Strikha (prezes Ukraińskiego Towarzystwa Fizycznego).

Starania Towarzystwa o ustanowienie Roku Mariana Smoluchowskiego przez Sejm RP, wsparte m.in. przez Prezydium PAN, KF PAN oraz KRASP, nie przyniosły efektu. Towarzystwo nie doczekało się odpowiedzi na złożony do marszałka Sejmu RP wniosek. O fiasku tych starań poinformowała przewodnicząca KPASP szefowa Komisji Kultury i Środków Masowego Przekazu stwierdzając w piśmie z 20 maja 2016 roku, że komisja rekomenduje sejmowi ustanowienie roku: Josepha Conrada Korzeniowskiego (160. rocznica urodzin), Rzeki Wisły (550. rocznica pierwszego wolnego flisu na Wiśle), Adama Chmielowskiego (130. rocznica przywdziania habitu przez św. Brata Alberta), Marszałka Józefa Piłsudskiego (150. rocznica urodzin) oraz Tadeusza Kościuszki (200. Rocznica śmierci), co wyczerpało roczny limit uchwał w sprawie ustanowienia roku osoby lub wydarzenia. Sejm ponad ten limit ustanowił dodatkowo Rok bł. Honorata Koźmińskiego (100. rocznica śmierci).

### 3. Rok Mariana Smoluchowskiego w Polskim Towarzystwie Fizycznym

Wobec fiaska ustanowienia ogólnopolskiego Roku Mariana Smoluchowskiego, pełnomocnik ds. obchodów,

Wiesław Kamiński, złożył wniosek Zarządowi Głównemu PTF o wprowadzenie tradycji honorowania dokonanych zmarłych wybitnych fizyków oraz osób zasłużonych dla środowiska fizyków polskich przez ustanowienie roku takiej postaci w PTF. W związku z powyższym ZG PTF na posiedzeniu 16 kwietnia 2016 roku przyjął uchwałę ustanawiającą rok 2017 Rokiem Mariana Smoluchowskiego w Polskim Towarzystwie Fizycznym. W ramach przedsięwzięć z tym związanych przewodniczący KORMS przygotował wspólnie z Muzeum UJ wniosek do Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego o dofinansowanie wystawy o życiu i działalności M. Smoluchowskiego, propagującej wiedzę o polskim uczonym w ośrodkach akademickich, w Parlamencie Europejskim i na Uniwersytecie Wiedeńskim, oraz wspólnie z Państwową Wyższą Szkołą Filmową, Telewizyjną i Teatralną im. Leona Schillera w Łodzi wniosek o sfinansowanie produkcji filmu średniometrażowego o tym wybitnym Polaku. Z powodu odmowy przyznania wsparcia finansowego wystawa została zrealizowana przez UJ ze środków własnych, a realizacja filmu nie doszła do skutku.

Mimo braku jakiegokolwiek wsparcia finansowego z MNiSzW przygotowania do obchodów Roku Mariana Smoluchowskiego ruszyły pełną parą.

3 czerwca 2017 roku w Sali Okrągłego Stołu w Pałacu Staszica w Warszawie odbyło się sympozjum „Marian Smoluchowski w 100-lecie śmierci”, zorganizowane przez W. A. Kamińskiego, przewodniczącego KORMS i jednocześnie członka Komitetu Historii Nauki i Techniki PAN. W jej trakcie Bogdan Cichocki (UW) w referacie „Życie i działalność Mariana Smoluchowskiego” scharakteryzował rodzinę, w której wyrastał uczony, jego błyskotliwą karierę naukową i środowisko wybitnych fizyków tamtych czasów (m.in. Ludwig Boltzmanem, Lord Kelvin, A. Einstein), z którymi spotykał się, korespondował i spierał. Zbigniew Wójcik (KHNT PAN) przybliżył zebranym aktywność M. Smoluchowskiego w Tatrach i Karpatach wschodnich w prelekcji „Karpackie wędrówki turystyczne Mariana Smoluchowskiego”. Ewa Gudowska-Nowak (UJ) w wystąpieniu „100 lat inspiracji: współczesna spuścizna Mariana Smoluchowskiego” scharakteryzowała wyjątkową spuściznę badań Smoluchowskiego, podkreślając ich szerokie oddziaływanie na badania w zakresie kinetyki reakcji chemicznych, sieci optycznych, dynamiki polimerów, badania rozkładu masy we Wszechświecie. Stworzona przez Polaka teoria fluktuacji i podstaw procesów stochastycznych pozwala rozumieć funkcjonowanie motorów molekularnych, zaś reminiscencje jego podejścia do opisu procesów z udziałem wielkich zbiorów atomów pozwalają odnaleźć jego dziedzictwo we

współczesnych badaniach nad błędzeniem losowym, przepływem kapitałów i pieniądza, dyfuzją w układach koloidalnych oraz nad przebiegiem rozprzestrzeniania się epidemii zakaźnych. Z kolei Zenon Roskal (Katolicki Uniwersytet Lubelski) w swoim wystąpieniu „Mariana Smoluchowskiego interpretacja zasady przyczynowości w kinetycznej teorii gazów” przeanalizował poglądy filozoficzne i metodologiczne Smoluchowskiego na tle ówczesnych prądów metodologicznych: instrumentalizmu, fenomenalizmu i pragmatyzmu. Wprawdzie filozoficzno-metodologiczne poglądy Smoluchowskiego nie były spójne i ewoluowały w miarę pogłębiania się jego refleksji nad funkcjonowaniem natury, to wyraźnie można zaobserwować pośredni wpływ lwowsko-krakowskiego profesora na umocnienie się naturalistycznego nurtu w filozofii.

Dzięki zaangażowaniu senatora RP Kazimierza Wiatra pojawił się szerszy ogólnonarodowy kontekst przywracania pamięci o M. Smoluchowskim. Doprowadził on do spotkania przedstawicieli środowisk zaangażowanych w obchody Roku Smoluchowskiego w PTF: K. Chałasińskiej-Macukow, E. Gudowskiej-Nowak, W. A. Kamińskiego i Franciszka Kroka z marszałkiem Stanisławem Karczewskim, na którym postanowiono uczcić pamięć wybitnego Polaka w Senacie RP. W wyniku tej decyzji 28 czerwca 2017 roku została otwarta w budynku Senatu RP przez marszałka Karczewskiego wystawa przygotowana przez Muzeum UJ we współpracy z Komisją Nauki, Edukacji i Sportu Senatu RP ukazująca życie i prace M. Smoluchowskiego, jego osiągnięcia naukowe i prywatne pasje (wyprawy i wędrówki górskie, zainteresowania muzyczne i artystyczne, kolejne etapy kariery naukowej, działalność społeczną w Towarzystwie Tatrzańskim, PAU, Polskim Towarzystwie Przyrodników im. Kopernika). Tego samego dnia Senat RP jednogłośnie podjął uchwałę zatytułowaną „W 100. rocznicę śmierci Mariana Smoluchowskiego – genialnego polskiego fizyka”, w której m.in. podkreślono: „Senat Rzeczypospolitej Polskiej jest przekonany, iż przywołanie postaci Mariana Smoluchowskiego w 100-lecie jego śmierci, winno stać się okazją do wprowadzenia Jego osoby do przestrzeni publicznej – szczególnie do szkół i uczelni. Bliższe poznanie Jego życiorysu i osiągnięć będzie ważną lekcją polskiego wkładu do nauki światowej. Piękna postawa polskiego patriotyzmu, prezentowanego przez światowej klasy polskiego uczonego, niech stanie się inspiracją dla młodego pokolenia i całego społeczeństwa”.

Uroczystości senackie objęły także konferencję zorganizowaną wspólnie przez Senacką Komisję Nauki, Edukacji i Sportu oraz PTF pod hasłem „W 100. rocznicę śmierci Mariana Smoluchowskiego – genialnego

polskiego fizyka”. W części merytorycznej Konferencji Bogdan Cichocki (UW) mówiąc o „Życiu i działalności Mariana Smoluchowskiego” przedstawił bohatera w jego środowisku rodzinnym, o wybitnej aktywności patriotycznej oraz środowisku akademickim składającym się z najwybitniejszych fizyków europejskich tamtego czasu. Współczesne dziedzictwo badań Smoluchowskiego w różnych obszarach nauki (w fizyce, chemii i naukach o życiu) scharakteryzowała Ewa Gudowska-Nowak (UJ) w referacie „Dziedzictwo badań Mariana Smoluchowskiego”. Zenon Roskal (KUL) domknął obraz działalności analizując „Kontekst filozoficzny i poznawczy dorobku Mariana Smoluchowskiego”.

Centralne obchody Roku Mariana Smoluchowskiego odbywały się w Krakowie w dniach 3–7 września 2017 roku, których organizacją spoczywała na barkach Uniwersytetu Jagiellońskiego. Znaczącym wydarzeniem była uroczysta sesja historyczno-naukowa „Nauka i sztuka w hołdzie Marianowi Smoluchowskiemu”, zorganizowana przez Dziekana Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ, Ewę Gudowską-Nowak i uroczyste otwarta przez rektora UJ Wojciecha Nowaka w Teatrze im. Juliusza Słowackiego, inaugurująca centralne obchody 100-lecia śmierci M. Smoluchowskiego. Sesję uświetniło wręczenie złotych medali *Plus Ratio Quam Vis* J. Miguelowi Rubiemu z Uniwersytetu w Barcelonie za wybitne badania w dziedzinie termodynamiki układów nanoskopowych, będące współczesnym pokłosiem prac Mariana Smoluchowskiego, oraz Katji Lindenberg z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego za fundamentalne osiągnięcia w zakresie nierównowagowej fizyki statystycznej, oparte na teorii procesów stochastycznych należącej również do dziedzictwa M. Smoluchowskiego. Zgromadzeni wysłuchali również dwóch wykładów. W pierwszym z nich „Marian Smoluchowski – życie i twórczość” Bogdan Cichocki (Uniwersytet Warszawski) przedstawił różne wątki rodzinne oraz najważniejsze odkrycia Smoluchowskiego. Z kolei Krzysztof Zamorski (Uniwersytet Jagielloński) w wykładzie „Czy Galicja była aż tak bardzo nędzna?” omówił tło oraz warunki gospodarcze i społeczne w austro-węgierskim kraju koronnym Galicji i Lodomerii. Konferencję zakończył koncert w wykonaniu orkiestry Sinfonietta Cracovia, na który złożyły się: Mieczysław Karłowicz „Serenada op. 2”, Wojciecha Kilara „Orawa”, Albana Berga „Suita” oraz „Krakowiak” Piotra Zielińskiego.

3 września 2017 roku rozpoczęło się również jubileuszowe „XXX Sympozjum Fizyki Statystycznej imienia Mariana Smoluchowskiego – Ist EPS Conference on Statistical and Nonlinear Physics” pod hasłem:

„O jednolitości praw natury”, jako naukowy hołd społeczności międzynarodowej dla wkładu Polaka do fizyki, matematyki i współczesnej nauki. W ciągu 5 dni w ramy spuścizny i dziedzictwa naukowego M. Smoluchowskiego wpisały się wykłady i doniesienia obejmujące m.in.: systemy równowagi z dużymi wahaniami i silnymi korelacjami, termodynamikę stochastyczną i kwantową, teorię dużych fluktuacji, procesy dyfuzyjne i łamanie słabej ergodyczności, nieliniową dynamikę i turbulencje, zjawiska kolektywne w systemach żywych oraz granice stosowalności współczesnej fizyki statystycznej.

Uroczyste otwarcie i wernisaż wystawy pod hasłem „Pod przewodnią gwiazdą nauki. W stulecie śmierci Mariana Smoluchowskiego” odbyło się w Collegium Maius UJ w trakcie obchodów centralnych w Krakowie. Scenariusz i plansze opracowano według pomysłu Macieja Kluzy i Marii Pawłowskiej, szatę graficzną przygotowali: Krzysztof Magda i Karol Trojanowski, zaś projekt towarzyszącego plakatu stworzył Nikodem Frodyma. Wystawa pozwala prześledzić drogę życiową M. Smoluchowskiego od czasów szkolnych w Collegium Theresianum, ekskluzywnym zakładzie edukacyjnym Cesarstwa Austro-Węgierskiego, poprzez okres jego studiów na Uniwersytecie Wiedeńskim zakończony dyplomem z najwyższym wyróżnieniem *sub auspiciis imperatoris*, i czas rozwinięcia pełni sił twórczych w okresie lwowsko-krakowskim. Dzięki interaktywnym eksponatom zwiedzający mogli również poznać bezpośrednio zjawiska, których badanie zaowocowało wybitnymi dokonaniem naukowymi: zjawisko ruchów Browna oraz zjawisko opalescencji. Na wystawie zaprezentowano również przedmioty i dokumenty przybliżające osobowość Smoluchowskiego w świetle jego pasji i fascynacji alpinistycznych i tatrzańskich.

7 września 2017 roku w Auditorium Maximum UJ miał miejsce Dzień Otwarty poświęcony Marianowi Smoluchowskiemu. Wydarzenie przygotowane przez Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ adresowane było przede wszystkim do uczniów ostatnich klas szkoły podstawowej oraz szkół ponadpodstawowych. W wykładach przedstawiono postać M. Smoluchowskiego widzianą z perspektywy człowieka, uczonego i humanisty: Franciszek Ziejka (UJ) naszkicował związki lwowskiego profesora fizyki teoretycznej ze światem artystycznym Lwowa przełomu wieków, Bogdan Cichocki (UW) pokazał go jako człowieka i uczonego. Dopełnił ten wielowątkowy obraz Janusz Machulik (Polskie Towarzystwo Tatrzańskie) przedstawiając jego pasje górskie: chlubne pierwsze wejścia i nowe drogi w Alpach i Tatrach. Tytuł wykładu „Między górami a błękitem nieba” trafnie puen-

tował to fascynujące powiązanie między pragnieniem poznania praw rządzących naturą a łaknieniem pełni życia jaką natura obiecuje. Paweł Góra (UJ) oraz Marek Gołąb (UJ) zademonstrowali zgromadzonej młodzieży zjawiska fizycznych, do wyjaśnienia których przyczynił się bohater dnia. Jej entuzjazm wzbudziły również pokazy przygotowane przez Wydział Chemii UJ. Na program złożyła się także prezentacja filmu dokumentalnego „Marian Smoluchowski – Geniusz z Galicji”, w reżyserii Joanny Kozakiewicz, wyprodukowanego przez UJ. W trakcie imprezy ogłoszono również wyniki ogólnopolskich konkursów: pod hasłem „Ziarnista struktura materii – od Demokryta do Smoluchowskiego” na dzieło artystyczne, pod hasłem „Czas przełomu – między fizyką klasyczną a kwantową” na pracę lub esej naukowy oraz pod hasłem „Śladami Smoluchowskiego” na uczniowskie projekty naukowe. Wręczenie nagród laureatom powiązane z wystawą nagrodzonych prac w konkursie na dzieło artystyczne.

25 lipca 2016 z inicjatywy przewodniczącego KF PAN Franciszka Kroka odbyło się na Wydziale Fizyki PW spotkanie dotyczące organizacji uroczystego posiedzenia w Krakowie w rocznicę śmierci Smoluchowskiego trzech gremiów: FORUM Dziekanów i Dyrektorów Instytutów Fizyki, Zarządu Głównego PTF oraz Komitetu Fizyki PAN. W spotkaniu reprezentantów uczestniczyli: K. Chałasińska-Macukow, Antoni Wójcik (przewodniczący FORUM), Franciszek Krok, Mirosław Karpierz (dziekan WF PW, sekretarz KF PAN) oraz ze środowiska fizyków krakowskich: Wojciech Łużny (wiceprzewodniczącego KF PAN, prorektor-elekt AGH), Ewa Gudowska-Nowak (dziekan-elekt WFAiIS UJ) i prof. Jakub Zakrzewski (WFAiIS UJ). Zaplanowane wspólne posiedzenie odbyło się na zaproszenie rektora Tadeusza Słomki w murach AGH 4 września 2017 roku. W jego trakcie złożono kwiaty na grobie M. Smoluchowskiego na Cmentarzu Rakowickim oraz wysłuchano wykładów, nawiązujących do rocznicowych obchodów: Pawła Góry (UJ) – „Fluktuacje wokół nas – dziedzictwo Mariana Smoluchowskiego”, Stanisława Drożdża (IFJ PAN) – „Narracja jako multifrakalny proces dyfuzyjny” i Krzysztofa Kułakowskiego (AGH) – „Z pism Mariana Smoluchowskiego wypisy o przypadku i przyczynowości”.

Upamiętnienie M. Smoluchowskiego miało miejsce również podczas 44. Zjazdu Fizyków Polskich organizowanego we Wrocławiu w dniach 10–15 września 2017 roku. Oprócz prezentacji interaktywnej części wystawy „Pod przewodnią gwiazdą” uroczyste odsłonięto popiersie uczonego, ufundowane przez rektora Politechniki Wrocławskiej Cezarego Madryasa. Zaprojektowane przez artystę-rzeźbiarza Janusza



Kucharskiego (Akademia Sztuk Pięknych we Wrocławiu) stanęło przed budynkiem B-1 u zbiegu ulicy Mariana Smoluchowskiego i ulicy Ignacego Łukasiewicza. W trakcie zjazdu odbyła się również specjalna sesja roku jubileuszowego, na którą złożył się wykład plenarny E. Gudowskiej-Nowak „Współczesna spuścizna Mariana Smoluchowskiego: sto lat inspiracji” oraz sesje specjalistyczne „fizyka statystyczna I” i „fizyka statystyczna II”, w trakcie których – oprócz prezentowanych aktualnych badań polskich badaczy nawiązujących do spuścizny Galicyjczyka, Igor Anisimow z Narodowego Uniwersytetu im. Tarasa Szewczenki w Kijowie omówił badania M. Smoluchowskiego prowadzone we lwowskim okresie.

Z inicjatywy i pod redakcją Bogdana Cichockiego Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego wydały tom zawierający eseje o życiu Smoluchowskiego i jego wkładzie w naukę oraz tłumaczenia na język angielski artykułów Mariana Smoluchowskiego pierwotnie wydanych w języku niemieckim, francuskim i polskim. Wśród nich znalazły się trzy niezwykle ważne artykuły przetłumaczone po raz pierwszy specjalnie do niniejszej publikacji:

*A Contribution to the Theory of Electric Endosmosis and a Few Related Phenomena*. Smoluchowski użył w tej pracy znakomite wyniki. Wykazał, że w takich zjawiskach, przy założeniu cienkiej warstwy podwójnej, przepływ cieczy jest niezależny od kształtu

brzegu obszaru. Artykuł został opublikowany w 1903 w języku polskim i francuskim. *On the Kinetic Theory of the Brownian Molecular Motion and of Suspensions*. Artykuł (opublikowany w 1906) odegrał bardzo ważną rolę w przekonaniu naukowców o słuszności kinetycznej teorii materii. Przekładu z języka niemieckiego na angielski dokonali Rudolf Schmitz z RWTH Aachen i Robert Jones z Queen Mary College University of London. *Molecular-Kinetic Theory of the Opalescence of Gases in the Critical State and a Few Related Phenomena*. Ci sami dwaj fizycy przetłumaczyli pracę Mariana Smoluchowskiego na temat opalescencji krytycznej opublikowaną w 1908 w języku niemieckim (wersja francuska i polska pojawiły się wcześniej – w 1907). Objasnienie tego tajemniczego zjawiska, odkrytego pod koniec XIX wieku, było wówczas wielkim wyzwaniem dla naukowców. Autorzy tekstów o Marianie Smoluchowskim to Roman Smoluchowski, Mark Kac, Subramanyan Chandrasekhar i Stanisław Ulam.

Bogdan Cichocki, w uznaniu istotnego wkładu merytorycznego i organizacyjnego do obchodów 100 rocznicy śmierci Mariana Smoluchowskiego, został uhonorowany Nagrodą Specjalną Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Na zakończenie obchodów Oddział Krakowski PTF zorganizował 12 grudnia 2017 roku uroczyste konsersatorium na temat: „O jedności praw Przyrody: Podsumowanie Roku Smoluchowskiego”.

# Fotoluminescencja kryształów<sup>\*</sup>

Aleksander Jabłoński

Zakład Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika

Artykuł ukazał się w *Postęпах Fizyki* 1949–1950, t. 1, z. 5–6, 249–296 (zachowana pisownia oryginalna).

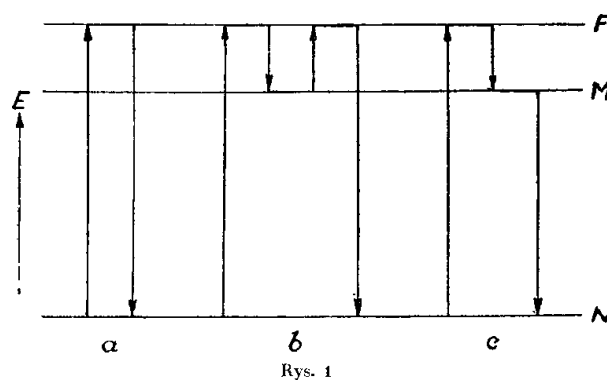
## 1. Wstęp

Tematem niniejszego artykułu jest fotoluminescencja kryształów. Będą tu omówione te tylko zjawiska, w których kryształ bierze udział istotny. Pominęte więc będą zjawiska zachodzące w roztworach stałych lub też w kryształach, w których cząsteczki świecące zachowują w znacznej mierze swe indywidualne własności.

Ciała w których występuje zjawisko fotoluminescencji nazywamy luminoforami. Ciała fluoryzujące – fluoroforami, fosforyzujące – fosforami.

Do wyjaśnienia różnic zachodzących pomiędzy zjawiskami fluorescencji i fosforescencji posłużymy się schematem poziomów elektronowych (rys. 1). Jest to najprostszy schemat, na którym te zjawiska mogą być przedyskutowane (por. Jabłoński (4)).

Przez  $N$  oznaczyliśmy normalny poziom elektronowy ośrodka fotoluminescencji (lub też cząsteczki zdolnej fluoryzować i fosforyzować),  $M$  oznacza poziom metatrwały (bez poziomu metatrwałego zjawisko fosforescencji zachodzić nie może),  $F$  – poziom wzbudzony, dla którego przejścia  $N \rightarrow F$  są przejściami dozwolonymi. Wzbudzenie następuje przez pochłonięcie światła, związane z przejściem  $N \rightarrow F$ . Z poziomu  $F$  może nastąpić powrót do stanu  $N$  lub też przejście na poziom  $M$ . Z przejściem  $F \rightarrow N$  związana jest emisja pasma fluorescencji (czas świecenia krótki, ponieważ przejście to jest przejściem dozwolonym). Czas „życia” na poziomie  $M$  zależy na ogół od temperatury ciała świecącego. Jeżeli temperatura jest dostatecznie wysoka, może nastąpić podniesienie elektronu do poziomu  $F$  kosztem energii cieplnej ośrodka. Z poziomu  $F$  elektron wrócić może do stanu normalnego  $N$  z emisją pasma fosforescencji. Pasma to leży



Rys. 1

a. fluorescencja; b. fosforescencja; c. fluorescencja długotrwała

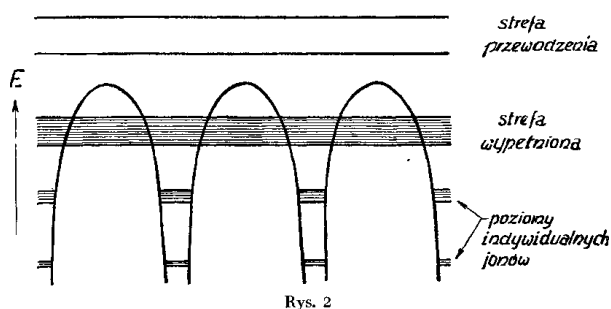
w tej samej dziedzinie widmowej, w której leży pasmo fluorescencji, i posiada ten sam rozkład natężeń (powstaje ono dzięki temu samemu przejściu elektronowemu). Jednakże czas świecenia jest dłuższy i wybitnie zależy od temperatury. W temperaturach niskich przejścia  $M \rightarrow F$  praktycznie nie zachodzą wcale. Może wówczas zachodzić bezpośrednie przejście  $M \rightarrow N$  z emisją nowego pasma, leżącego w dziedzinie fal dłuższych w stosunku do pasma  $F \rightarrow N$ . Czas świecenia tego pasma jest czasem długim, ponieważ przejście  $M \rightarrow N$  jest przejściem wzbronionym. Jest to jednak przejście spontaniczne (w odróżnieniu od przejścia  $M \rightarrow F$ ). Otóż umówiono się nazywać fotoluminescencję związaną wyłącznie z przejściami spontanicznymi fluorescencją, fosforescencją zaś – fotoluminescencją, do której wyzwolenia niezbędny jest udział energii cieplnej ośrodka. Z fosforescencją związane są przejścia  $M \rightarrow F$  i  $F \rightarrow N$ , z których pierwsze zachodzi kosztem energii cieplnej. Emisja pasma długożyciowego  $M \rightarrow N$  jest emisją spontaniczną i nazywana jest fluorescencją długotrwałą (choć czas świecenia w tym przypadku jest dłuższy niż czas świecenia fosforescencji w temperaturach wyższych).

\* Odczyt wygłoszony na XII Zjeździe Fizyków Polskich 1. XI. 1949 w Warszawie. Przy opracowaniu niniejszego korzystałem głównie z dzieł Riehla (10) i Krögera (5).

Zjawiska fotoluminescencji kryształów są bardziej skomplikowane i wymagają też bardziej skomplikowanych schematów poziomów do ich dyskusji.

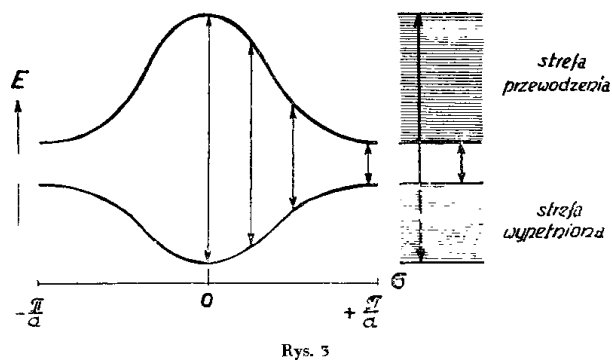
## 2. Poziomy energetyczne i przejścia elektronowe w kryształach

Do dyskusji zjawisk fotoluminescencji kryształów wystarczy nam model uproszczony kryształu, a mianowicie model kryształu jednowymiarowego. Przebieg energii potencjalnej i schemat poziomów w idealnym kryształcie jednowymiarowym przedstawia rys. 2.



Rys. 2

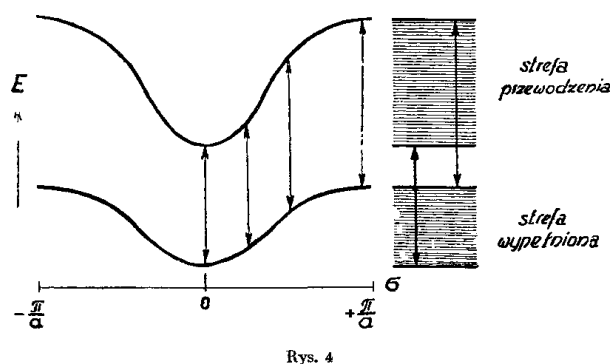
Poza (nieco rozszerzonymi) poziomami indywidualnych atomów, uwidocznione są na schemacie dwie „strefy”, składające się z bardzo wielkiej liczby bardzo bliskich poziomów. W izolatorach strefa dolna jest całkowicie wypełniona elektronami (w myśl zakazu Pauliego liczba elektronów, które mogą znajdować się na poziomach, wchodzących w skład strefy, jest ograniczona), strefa zaś górna – strefa przewodzenia – jest pusta. Przejścia elektronowe ze strefy wypełnionej do strefy przewodzenia zachodzić mogą m.in. pod wpływem pochłonięcia przez kryształ kwantu światelnego. Przejścia te są ograniczone przez pewną regułę wyboru. Aby tę regułę wyjaśnić, skorzystamy z typowych wykresów przedstawiających związek zachodzący pomiędzy energią elektronu a jego pędem „zredukowanym”, a raczej jego wektorem falowym  $\vec{\sigma} = (\frac{2\pi}{\lambda}) = \frac{p}{h}$ . Dla elektronu swobodnego mamy  $E = \frac{p^2}{2m}$ . Inaczej jest dla elektronu w kryształce, gdzie  $E = \frac{p^2}{2m^*}$  przy czym  $m^*$  oznacza t. zw. masę efektywną elektronu ( $m^* - m$ ). To  $m^*$  zależy od pędu zredukowanego, a więc i od  $\vec{\sigma}$ . Rys. 3 i rys. 4 przedstawiają dwa możliwe przypadki zależności  $E$  od  $\vec{\sigma}$  dla obu stref (przez  $a$  oznaczona jest stała siatki). Rys. 3 przedstawia przypadek, gdy charakter zależności  $E$  od  $\vec{\sigma}$  dla strefy górnej jest inny niż dla strefy dolnej; rys. 4 – przypadek, gdy charakter tej zależności jest ten sam dla obu stref. Obok wykresów podane są schematy poziomów, z których się strefy składają. Otóż w myśl reguły wyboru dla przejść optycznych te tylko przejścia są dozwolone,



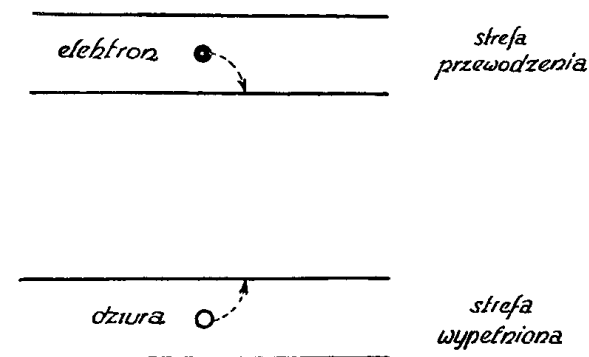
Rys. 3

dla których  $\vec{\sigma}$  nie ulega zmianie ani co do wielkości, ani co do kierunku. Nie są więc możliwe optyczne przejścia pomiędzy poziomami należącymi do tej samej strefy. Przejścia pomiędzy poziomami, należącymi do różnych stref, można uzmysłowić za pomocą prostych pionowych (tylko „pionowe” przejścia są dozwolone). W przypadku, przedstawionym na rys. 3, najniższy energetycznie poziom strefy przewodzenia odpowiada najwyższej wartości pędu. W strefie wypełnionej (dolnej) pęd elektronu rośnie wraz z jego energią. W tym przypadku poziomy w obu strefach są „przeciwbieżne”. Z najniższego poziomu strefy dolnej możliwe jest przejście na najwyższy poziom strefy przewodzenia i z najwyższego poziomu strefy dolnej na najniższy poziom strefy przewodzenia (patrz rys. 3).

Inaczej jest w przypadku przedstawionym na rys. 4, gdzie poziomy obu stref są „zgodniebieżne”. Przykłady



Rys. 4



Rys. 5

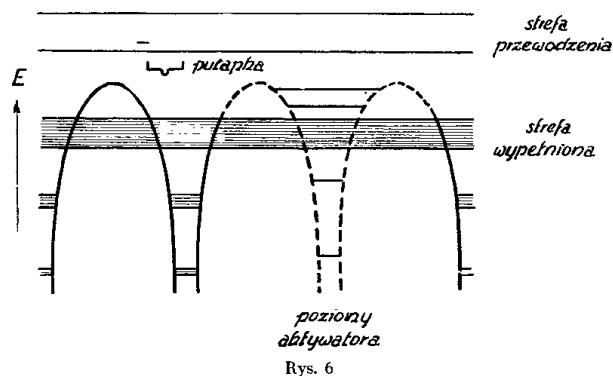
możliwych przejść zaznaczone są na schemacie poziomów obok krzywych.

Gdy elektron zostanie przeniesiony z jednego z poziomów strefy dolnej do jednego z poziomów strefy przewodzenia, w strefie dolnej pozostanie „dziura”, która zachowuje się jak elektron o ładunku dodatnim. W kryształach idealnych, w których nie byłoby oddziaływania elektronów z siatką, pędy elektronu i dziury nie ulegałyby zmianie z biegiem czasu (elektrony nie przekazywałyby swej energii siatce). Możliwy więc byłby powrót elektronu do strefy dolnej, czyli rekombinacja elektronu z dziurą, z emisją promieniowania.

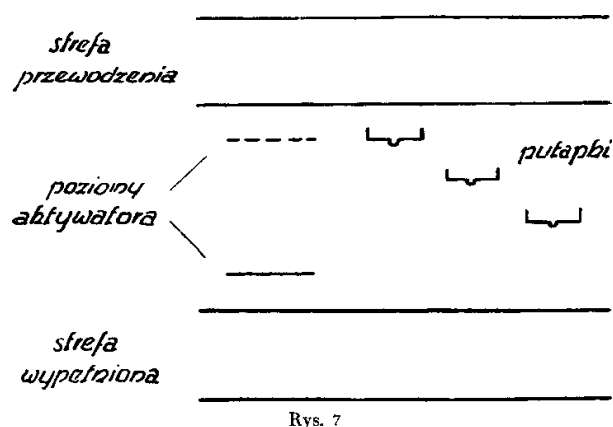
Jednakże w kryształach rzeczywistych elektron wzbudzony spada stopniowo, lecz w bardzo krótkim czasie, na coraz to niższe poziomy strefy górnej (bez emisji promieniowania – dzięki wzajemnemu oddziaływaniu elektronu i siatki, dziura zaś „dyfunduje” do najwyższych poziomów strefy dolnej (rys. 5). Przejścia optyczne (to znaczy, z emisją promieniowania) pomiędzy zmienionymi poziomami elektronu i dziury są zakazane przez regułę wyboru. Dotyczy to nawet przypadku, przedstawionego na rys. 3, ponieważ reguła wyboru wymaga, aby przy przejściach optycznych zachowana była nie tylko wartość bezwzględna pędu, lecz i jego kierunek, taki zaś przypadek jest nieskończenie mało prawdopodobny. Ponieważ dyfuzja elektronów i dziur w rzeczywistych kryształach zachodzi bardzo szybko, rekombinacja elektronu i dziury z emisją promieniowania praktycznie biorąc nie zachodzi – elektrony powracają do strefy dolnej bez emisji promieniowania. Wyjaśnienia zjawisk fotoluminescencji kryształów szukać więc należy na innej drodze.

Najwybitniej występują zjawiska fotoluminescencji w t. zw. aktywowanych kryształach, to znaczy w takich, w których oprócz składników siatki macierzystej znajdują się również domieszki atomów „obcych”. Zjawiska te występują również i w kryształach czystych, jednakże charakter ich, jak się zdaje, nie odbiega od charakteru zjawisk w kryształach aktywowanych.

W kryształach aktywowanych istnieją oprócz poziomów, wchodzących w skład stref, również i zlokalizowane, dość ostre poziomy atomów domieszki, czyli aktywatora (fosforogenu). Nazwiemy je poziomami zakłóceniami. Doświadczenia zmusza do przyjęcia w tych kryształach jeszcze innego rodzaju poziomów zlokalizowanych, t. zw. pułapek elektronowych. Pochodzenie tych pułapek nie wydaje się jeszcze całkowicie wyjaśnione. Wyrażano przypuszczenie, że tworzą się one tam, gdzie atom obcy (lub własny) znajduje się między węzłami siatki. Schemat poziomów siatki z poziomami zakłóceniami i pułapkami elektronowymi przedstawia rys. 6.



W dalszym ciągu korzystać będziemy ze schematu uproszczonego (rys. 7).



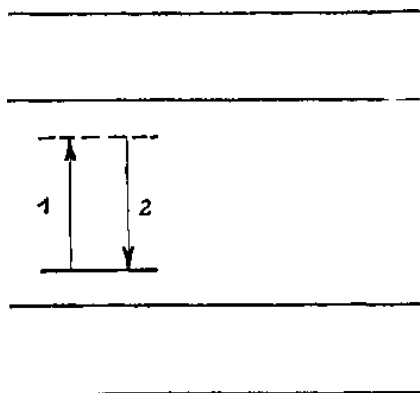
Rozpatrzmy teraz procesy, które prowadzą do fotoluminescencji takich kryształów.

1) Pochłanianie światła wzbudzającego związane z przejściem elektronowym pomiędzy poziomami aktywatora (rys. 8). Emisja następuje przez powrót elektronu do poziomu normalnego aktywatora.

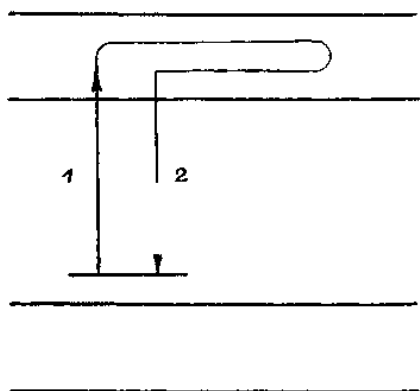
Pochłanianie światła wzbudzającego jest słabe, ponieważ pochłaniają jedynie aktywatory. Widmo zależy od rodzaju aktywatora. Zanik świecenia w czasie jest wykładniczy (reakcja monomolekularna). Fotoprzewodnictwo nie występuje.

2) Pochłanianie światła wzbudzającego związane z przejściem elektronu z poziomu aktywatora do strefy przewodzenia. Emisja następuje, gdy jeden z elektronów ze strefy przewodzenia (elektronów wzbudzonych) spadnie na wolny poziom aktywatora (rys. 9).

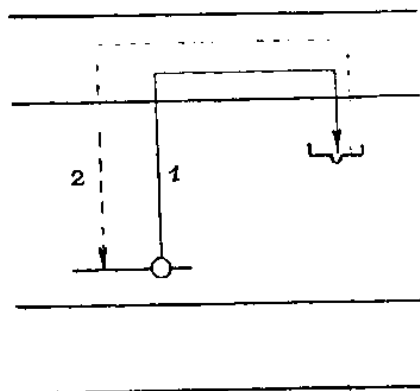
W procesie tym pułapki elektronowe udziału nie biorą; jest to proces krótkotrwały („Momentanprozess”). Posiada charakter reakcji bimolekularnej. Zanik świecenia wyraża się wzorem  $I_t = I_0 / (1 + A I_0^{1/2} t)^2$  i mało zależy od temperatury. Występuje fotoprzewodnictwo, ponieważ przez wzbudzenie elektrony zostają przeniesione do strefy przewodzenia. Proces ten jest



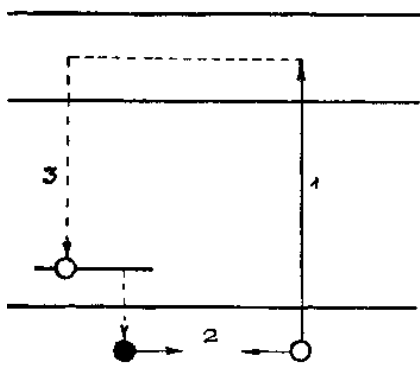
Rys. 8



Rys. 9



Rys. 10



Rys. 11

bardzo mało prawdopodobny, gdyż elektrony, znajdujące się w strefie przewodzenia, są z dużym prawdopodobieństwem wyłapywane przez pułapki elektronowe. Bardziej prawdopodobny jest proces następujący:

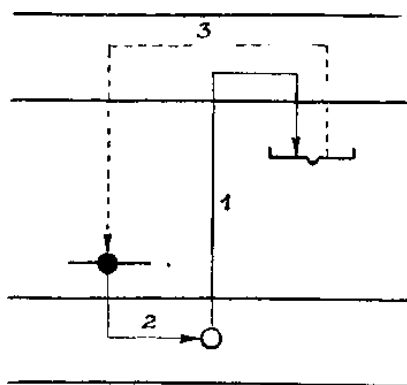
3) Pochłanianie jak w procesie 2, z tą różnicą, że elektrony przeniesione do strefy przewodzenia, łapano są przez pułapki (rys. 10).

Dzięki energii cieplnej (lub też pod wpływem naświetlania fosforu światłem podczerwym o odpowiedniej długości fali) elektrony z pułapek zostają z powrotem przeniesione do strefy przewodzenia, skąd spadają na wolne poziomy aktywatora z emisją światła fosforescencji. Prawo zaniku zależy od rozkładu głębokości pułapek (głębokością pułapki nazywamy różnicę poziomów energetycznych najniższego poziomu strefy przewodzenia i poziomu pułapki). Czas świecenia wybitnie zależy od temperatury i jest na ogół znacznie dłuższy niż w procesach poprzednich. Pasma emitowane nazywamy pasmem długotrwałego świecenia („Dauererregungsbande”).

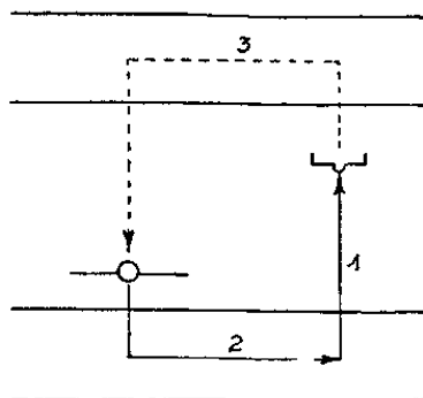
4) Wzbudzenie zachodzi przez przeniesienie elektronu ze strefy wypełnionej do strefy przewodzenia (zwykle przez pochłonięcie światła nadfioletowego – „Ultraviolettprozess”). Elektron z obsadzonego poziomu aktywatora zajmuje wolne miejsce w strefie wypełnionej. Emisja następuje przez spadek jednego z elektronów ze strefy przewodzenia na zwolniony poziom aktywatora (rys. 11). Pochłanianie światła wzbudzającego jest bardzo silne. Wyświetlanie zachodzi spontanicznie. Zanik świecenia jest bardzo szybki i zachodzi według prawa reakcji bimolekularnej (jak w procesie 2.). Procesowi temu towarzyszy fotoprzewodnictwo.

5) Wzbudzenie następuje przez przeniesienie elektronu ze strefy wypełnionej do strefy przewodzenia (a więc, jak w procesie 4, przez pochłonięcie światła przez siatkę macierzystą). Elektron ten zostaje złapany przez pułapkę. Czas przebywania elektronów w pułapkach zależy od głębokości pułapek i temperatury fosforu; czas ten, praktycznie biorąc, determinuje czas świecenia fosforu. Elektron przeniesiony termicznie z pułapki do strefy przewodzenia spada na wolny poziom jednego z aktywatorów z emisją pasma fosforescencji. Pochłanianie światła wzbudzającego (nadfioletowego – „Ultraviolettprozess”) jest bardzo silne – światło to zostaje całkowicie pochłonięte w warstwie rzędu  $10^4$  cm – skutkiem czego fosforescencja jest słaba. I w tym procesie występuje fotoprzewodnictwo (rys. 12).

6) Wzbudzenie następuje dzięki pochłonięciu światła, które przenosi elektron ze strefy wypełnionej bezpośrednio do poziomu jednej z wolnych pułapek. Miejsce tego elektronu w strefie wypełnionej zajmuje



Rys. 12

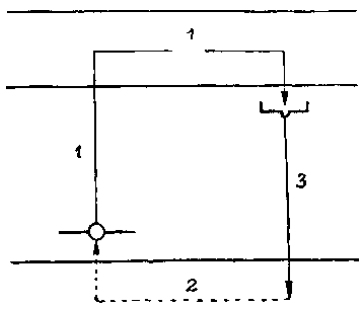


Rys. 13

elektron zewnętrzny jednego z aktywatorów. Na zwolniony poziom aktywatora spadają emitując pasmo fosforescencji elektrony ze strefy przewodzenia pochodzące z pułapki (rys. 13).

W procesie tym wzbudzana jest wyłącznie fosforescencja (dziura w strefie wypełnionej, powstająca przez przeniesienie elektronu z tej strefy do pułapki, zostaje bardzo szybko wypełniona przez elektron z poziomu aktywatora). Emitowane w tym procesie pasmo jest również pasmem długotrwałego wzbudzenia („Dauererregungsbande”). Przejście odwrotne do przejścia, związanego z absorpcją światła praktycznie nie występuje<sup>1</sup>.

1. Kröger (5) podaje jednak również i taką możliwość:



Rys. 14

Powyższy przegląd procesów prowadzących do fotoluminescencji nasuwa wniosek, że emisja światła zachodzi wyłącznie w miejscach zakłóconych siatki krystalicznej (w przypadkach fosforów aktywowanych tam, gdzie się znajdują aktywatory). Na ogół energia wzbudzenia wędruje z miejsca, w którym zaszło wzbudzenie, do miejsca, w którym znajduje się aktywator (lub, w przypadku fosforu nie aktywowanego, czyli „czystego”, do miejsca zakłóconego siatki).

Przy dostatecznej głębokości pułapek i przy dostatecznie dużym natężeniu światła wzbudzającego zachodzi (zwłaszcza w temperaturach niższych) zjawisko nasycenia: wszystkie pułapki zostają wypełnione. Natężenie światła fosforescencji osiąga swe maximum. Pojawiają się nowe pasma pochłaniania w podczerwieni, związane z przejściami elektronów z pułapek do strefy przewodzenia. Pochłonięcie światła w tych pasmach prowadzi do wyświecania fosforu<sup>2</sup> i wygaszania fosforescencji. Pierwsze z tych zjawisk przeważa przy absorpcji światła podczerwonego bardziej długofalowego, drugie przy absorpcji fal podczerwonych krótszych. Wynikałoby z tego, że elektrony, znajdujące się na niższych poziomach strefy przewodzenia, posiadają większe prawdopodobieństwo przejścia na wolne poziomy aktywatora z emisją promieniowania niż elektrony znajdujące się na wyższych poziomach tej strefy, które muszą więc posiadać większe prawdopodobieństwo dezaktywacji bez promieniowania.

Próby teoretycznego wyjaśnienia wygaszania fotoluminescencji kryształów (czyli przejść bez emisji promieniowania) podali Peierls (7) oraz Möglich i Rompe (6). Peierls tłumaczy zjawisko zamiany energii elektronowej w kryształach na energię cieplną sprzężeniem elektronów z siatką. Przy słabym sprzężeniu można stosować rachunek zakłóceń. W kryształach o słabym sprzężeniu tylko część energii elektronu jest zamieniana na ciepło, czyli rozpraszana. Kryształy takie nazywa Peierls „rozpraszaczami”. Przy silnym sprzężeniu rachunek zakłóceń nie da się przeprowadzić. Kryształy, w których sprzężenie elektronów z siatką jest silne, nazywa on „czystymi rozpraszaczami”. Kryształy takie nie wykazują zjawiska fotoluminescencji.

Möglich i Rompe przyjmują, że możliwy jest akt jednorazowej zamiany energii wzbudzenia elektronu na wielką liczbę (od 50 do 100) fononów, czyli kwantów fal sprężystych kryształu.

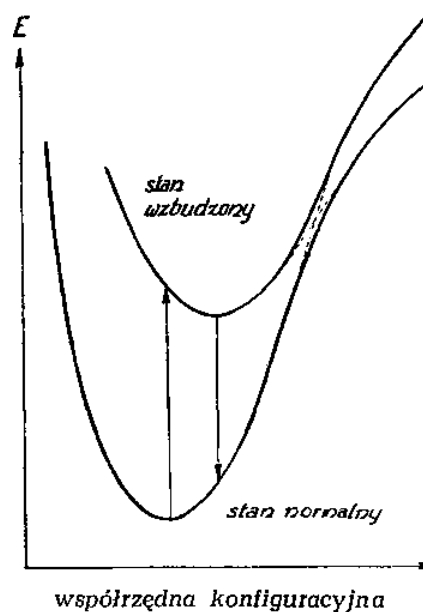
2. Zjawisko wyświecania fosforu polega na przyspieszeniu procesu emisji światła przez naświetlenie światłem podczerwonym. Elektrony przenoszone z pułapek do strefy przewodzenia dzięki pochłonięciu odpowiedniej fali spadają na wolne poziomy aktywatorów z emisją fosforescencji.

Na prawdopodobieństwo  $W$  takiego procesu podają oni wzór następujący:

$$W \geq AT^{E/(\eta\nu)},$$

gdzie  $A$  jest pewną stałą,  $T$  temperaturą bezwzględną,  $E$  ilością energii elektronowej zamienioną na energię fononów i  $\nu$  graniczną częstotliwością fal sprężystych danego kryształu. Postać wzoru wskazuje na to, że prawdopodobieństwo zamiany energii elektronowej na energię fononów rośnie bardzo szybko z temperaturą (wykładnik przy  $T$  jest rzędu 50 – 100). Tym można wytłumaczyć fakt, że niektóre ciała fosforyzują tylko w temperaturach niskich.

Do wyjaśnienia niektórych cech fotoluminescencji kryształów stosowany jest obok wyżej dyskutowanego modelu fosforu również i obraz inny. Obraz ten opiera się na zastosowaniu krzywych potencjalnych i zasady Francka–Condon. Energia potencjalna centrum luminescencji zależy od konfiguracji otaczających go atomów (lub jonów) i od stanu wzbudzenia tego centrum. Jeżeli zespół współrzędnych wszystkich jąder atomowych zastąpimy przez jedną współrzędną, t. zw. współrzędną konfiguracyjną, będziemy mogli wykreślić zależność energii potencjalnej centrum od tej współrzędnej i dyskutować zjawiska, zachodzące w centrach składających się z bardzo wielu atomów, w sposób podobny do stosowanego w przypadku dwu atomów<sup>3</sup>. Rys. 15 przedstawia krzywe potencjalne dla luminoforu. Krzywa dolna przedstawia energię potencjalną centrum luminescencji w zależności od współrzędnej konfiguracyjnej dla stanu normalnego centrum luminescencji, krzywa górna dla stanu wzbudzonego. W przypadku tym krzywe się nie przecinają. W myśl zasady Francka–Condon, najprawdopodobniejszymi są te przejścia, przy których położenia jąder atomowych i ich pędy nie ulegają w momencie przeskoku elektronowego zmianie. Na wykresie krzywych potencjalnych będą to przejścia „pionowe”. Różnica rzędnych dwu krzywych dla określonej współrzędnej konfiguracyjnej jest proporcjonalna do częstotliwości światła absorbowanego lub emitowanego przy danej konfiguracji centrum. Najprawdopodobniejszą konfiguracją centrum jest ta, która odpowiada minimum energii potencjalnej. Przejście pionowe z minimum krzywej dolnej daje w przybliżeniu położenie maximum w paśmie absorpcji. Konfiguracja, posiadana przez centrum natychmiast po wzbudzeniu, nie odpowiada minimum energii potencjalnej centrum wzbudzonego. Nadmiar energii potencjalnej zostaje zamieniony na energię kinetyczną jąder, a następnie rozproszony



Rys. 15

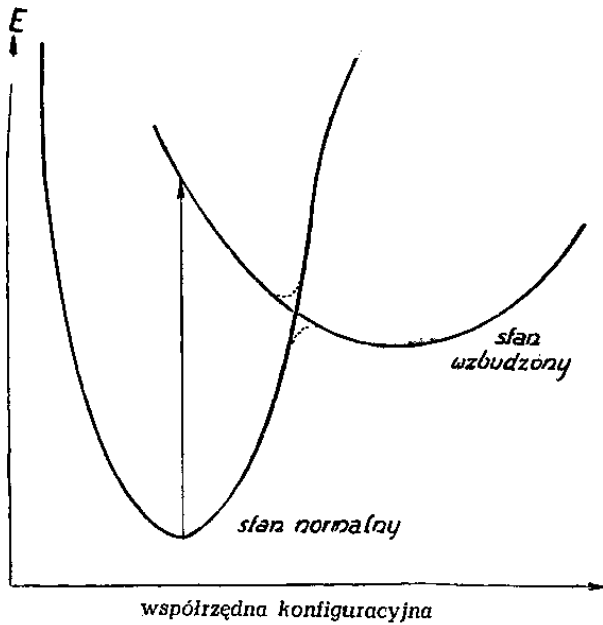
w całym kryształe w postaci energii cieplnej. Zanim nastąpi akt emisji ustala się nowy stan równowagi cieplnej centrum z otoczeniem. Przejście pionowe z minimum krzywej górnej do dolnej daje w przybliżeniu położenie maximum w paśmie emitowanym. Jak łatwo widzieć, położenie maximum pasma emitowanego jest przesunięte w stronę fal długich w stosunku do maximum pasma absorpcji, jak tego wymaga reguła Stokesa (por. A. Jabłoński (3)). Prób wytłumaczenia tego przesunięcia na gruncie poprzednio dyskutowanego modelu fosforu dotychczas nie robiono.

Jeżeli krzywe przecinają się, może nastąpić przejście z krzywej górnej do dolnej bez emisji promieniowania. Następuje, więc, częściowe lub całkowite wygaszenie fotoluminescencji. Rys. 16 przedstawia krzywe potencjalne dla ciała, w którym fotoluminescencja jest praktycznie całkowicie wygaszana, czyli dla czystego pochłaniacza.

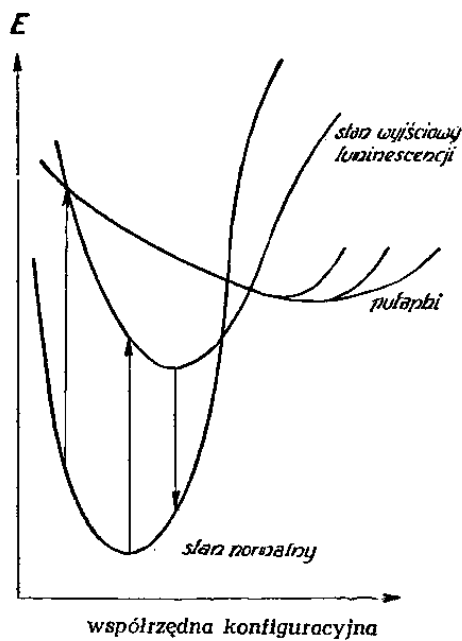
Zaproponowany przez Pringsheima (8) schemat (rys. 17) tłumaczy przesunięcie pasma emisji w stosunku do pasma absorpcji, występowanie fluorescencji i fosforescencji (pułapki) oraz częściowe wygaszenie świecenia. Można również za pomocą tego schematu wyjaśnić wyżej wspomnianą zależność od długości fali podczerwonej stosunku prawdopodobieństwa wyświecania do prawdopodobieństwa wygaszania. Nie będę się jednak nad tym dłużej zatrzymywał.

Chociaż krzywe potencjalne oddają duże usługi przy dyskusji zjawisk fotoluminescencji kryształów, mogą one w najlepszym razie służyć jedynie do jakościowego wyjaśnienia obserwowanych faktów.

3. Por. A. Jabłoński (3).



Rys. 16



Rys. 17

### 3. Pułapki elektronowe a krzywe zaniku i jarzenia się fosforów

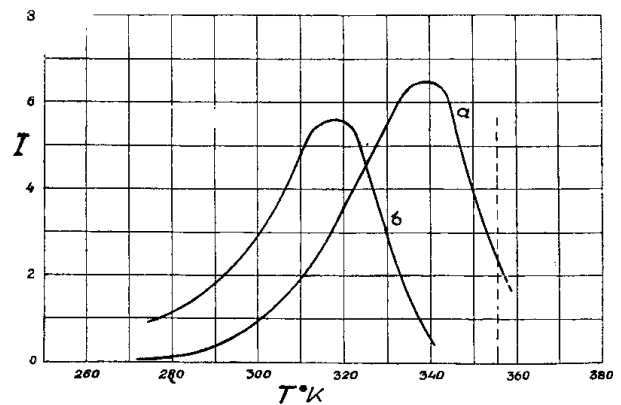
Z nowszych prac z dziedziny fosforescencji kryształów, najładniejszymi wydają się prace Randalla i Wilkinsa (9) i Garlicka i Wilkinsa (2). Autorzy ci zajmują się głównie związkiem, jaki zachodzi pomiędzy rozkładem głębokości pułapek i krzywą wzrostu i zaniku świecenia, oraz związkiem tego rozkładu z krzywą jarzenia się. krzywa jarzenia się jest to krzywa, przedstawiająca zależność natężenia fosforescencji od jednostajnie rosnącej w czasie temperatury fosforu, wzbudzonego w temperaturze niskiej. Aby więc otrzymać

krzywą jarzenia się, należy fosfor oziębić do temperatury, w której fosforescencja jest zamrożona, naświetlić i następnie (po zakończeniu wzbudzenia!) ogrzewać go w ten sposób, aby  $\frac{dT}{dt} = \beta$  było stałe ( $T$  temperatura fosforu,  $t$  czas mierzony od chwili rozpoczęcia ogrzewania). W ten sposób  $T - T_0$  ( $T_0$  temperatura początkowa fosforu) jest proporcjonalne do  $t$ . Czas świecenia fosforu zależy, praktycznie biorąc, wyłącznie od czasu przebywania elektronów w pułapkach. Elektron, przeniesiony termicznie do strefy przewodzenia, spada na wolny poziom aktywatora w czasie bardzo krótkim w porównaniu z czasem jego przebywania w pułapce. Prawdopodobieństwo termicznego przeniesienia elektronu z pułapki do strefy przewodzenia zależy od głębokości pułapki i od temperatury fosforu. Wyrazić je można wzorem:  $p = s \cdot \exp(-E/kT)$ , gdzie  $E$  jest głębokością pułapki,  $k$  stałą Boltzmanna,  $T$  temperaturą bezwzględną fosforu i  $s$  pewną stałą, którą wyznaczyć można doświadczalnie. Rys. 18 przedstawia dwa przykłady krzywych jarzenia się, obliczonych teoretycznie przez Randalla i Wilkinsa. Poczynając od temperatur niskich natężenie fosforescencji rośnie ze wzrostem temperatury, przechodzi przez maximum i następnie spada (dzięki temu, że liczba elektronów, pozostających jeszcze w pułapkach, maleje); natężenie spada do zera, gdy wszystkie elektrony wypędzone są z pułapek. Oznaczmy temperaturę, w której występuje maximum jarzenia się, przez  $T_G$ . Otóż, okazuje się, że  $T_G$  spełnia następujące równanie:

$$s e^{-E/kT_G [1+f(s,\beta)]} = 1,$$

gdzie  $f(s, \beta) \ll 1$ . Stąd

$$E = T_G [1 + f(s, \beta)] k \log s. \quad (1)$$



Rys. 18

Teoretyczne krzywe jarzenia się dla fosforu o jednakowej głębokości pułapek  $E = 0.67$  eV i dla dwu różnych prędkości ogrzewania fosforu, (a)  $2 \cdot 5^0$  na sek., (b)  $0 \cdot 5^0$  na sek.,  $s = 2 \cdot 9 \times 10^9$  sek.<sup>-1</sup> (Randall i Wilkins, l. c.)



Jeżeli fosforescencja zachodzi przy stałej temperaturze fosforu, to średni czas świecenia (równy odwrotności prawdopodobieństwa termicznego przeniesienia elektronu z pułapki do strefy przewodzenia) równy jest

$$\tau = 1/\rho = s^{-1} e^{E/kT}, \quad (2)$$

skąd:

$$\log \tau = EkT - \log s.$$

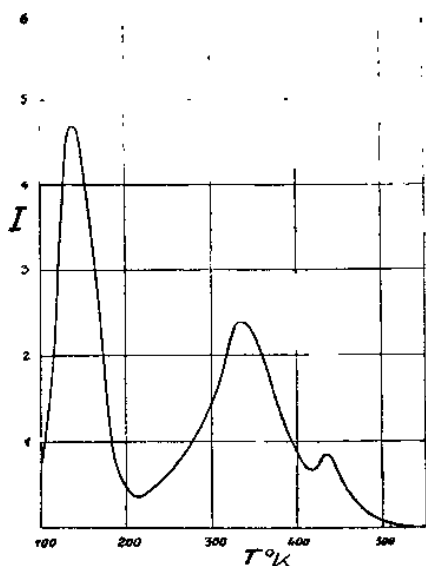
Podstawiając do (2)  $E$  z równania (1), otrzymujemy:

$$\log \tau = \log s \frac{T_G [1 + f(s, \beta)] - T}{T} \quad (3)$$

Wyrażenie (3) daje związek, zachodzący pomiędzy średnim czasem świecenia fosforu o jednakowej głębokości pułapek i  $T_G$  czyli t. zw. temperaturą jarzenia się.

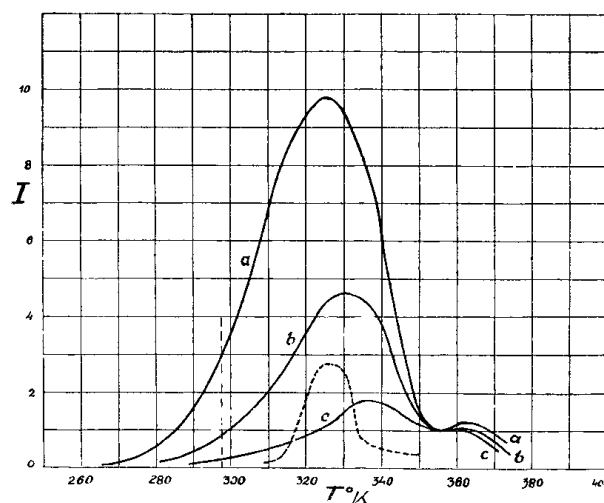
Jeżeli fosfor posiada pułapki o kilku, ściśle określonych i dostatecznie różnych głębokościach, na krzywej jarzenia się występuje odpowiednia liczba maximów, z których każde leży przy temperaturze jarzenia się dla pułapek o danej głębokości. Rys. 19 daje nam przykład takiej krzywej, otrzymanej doświadczalnie dla fosforu SrS-Bi.

Gdy rozkład głębokości pułapek jest ciągły, krzywa jarzenia się jest wynikiem nałożenia się szeregu bardzo bliskich krzywych, należących do pułapek o różnej głębokości. Poza ogólnym maximum krzywej jarzenia



Rys. 19

Krzywa jarzenia się dla SrS-Bi, (Randall i Wilkins, l. c.)



Rys. 20

Krzywe jarzenia się fosforu KCl-Tl dla różnych czasów pomiędzy zakończeniem wzbudzenia a obserwacją jarzenia się: (a) 10 sek., (b) 7 min., (c) 33 min. Temperatura przed oziębieniem 287° K. Krzywa kreskowana daje prawdopodobny rozkład głębokości pułapek. Prosta kreskowana wskazuje na temperaturę, w której fosfor wyświecał się przed jego oziębieniem. (Randall i Wilkins, l. c.)

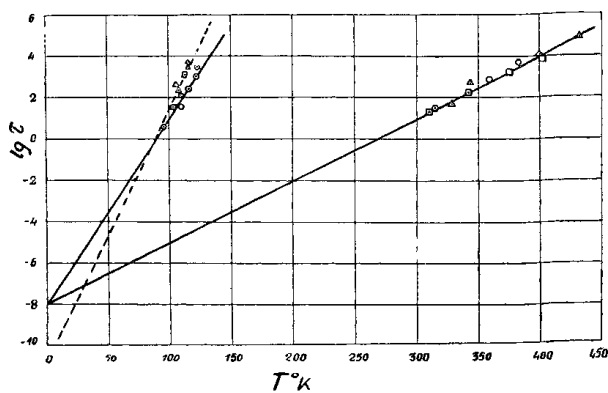
się nie ujawniają się żadne maxima wtórne, związane z różnymi grupami pułapek (jeżeli do każdej z grup zaliczymy te pułapki, które posiadają jednakową głębokość). Nie jest rzeczą łatwą rozłożenie takiej złożonej krzywej na krzywe, z których ta złożona krzywa powstaje.

Z grubsza można przyjąć, że każdy punkt takiej krzywej wyznacza temperaturę jarzenia się pewnej grupy pułapek o pewnej określonej głębokości (temperatura ta odpowiadałaby maximum krzywej jarzenia się, gdyby tylko pułapki o tej głębokości istniały w danym fosforze). Rzędna każdego punktu krzywej złożonej byłaby proporcjonalna do liczby pułapek o danej głębokości, odcięta zaś, czyli, jak przyjęliśmy, temperatura jarzenia się, wyznaczałaby odpowiednią głębokość pułapek. Dla sprawdzenia dopuszczalności powyższych upraszczających założeń, Randall i Wilkins wykonali specjalne doświadczenia. Wzbudzali oni fosfor w pewnej temperaturze (np. 290 lub 90° K), dostatecznie wysokiej, aby dany fosfor mógł fosforyzować. Po zakończeniu wzbudzenia pozwalali fosforowi wyświecać się w tej temperaturze przez pewien czas, a następnie oziębiali go i przeprowadzali badanie krzywej jarzenia się. Stosując różne czasy pomiędzy zakończeniem wzbudzenia a oziębieniem fosforu, otrzymywali oni szereg krzywych jarzenia się. Przykład otrzymanych w ten sposób krzywych, widzimy na rys. 20.

Z krzywych tych możemy odczytać czas zaniku świecenia dla każdego punktu osi odciętych. Każdy z tych punktów odpowiada, jak założyliśmy, tempera-

turze jarzenia się, związanej z elektronami z pułapek o określonej głębokości (porównaj wzór (1)). Czas zaniku pułapek płytszych jest krótszy niż czas zaniku pułapek głębszych. Jeżeli upraszczające założenie Randalla i Wilkinsa jest „słuszne”, części krzywych, odpowiadające niższym temperaturom jarzenia się, muszą zanikać szybciej niż te części, które odpowiadają temperaturom wyższym. Jak widzimy z podanego tu przykładu (Rys. 20), doświadczenie całkowicie potwierdza przewidywania Randalla i Wilkinsa.

Jeżeli przyjmiemy, że  $s$  i  $f(s, \beta)$  są wielkościami stałymi, a wyświecanie przed oziębieniem odbywa się w ciągu jednej serii doświadczeń w tej samej temperaturze  $T$ , to, jak wykazuje wzór (3),  $\log \tau$ , czyli logarytm czasu połówkowego zaniku świecenia, jest funkcją liniową temperatury jarzenia się  $T_G$ . Doświadczenie całkowicie potwierdza ten wniosek. Rys. 21 przedstawia wykres logarytmu czasu świecenia jako funkcji temperatury jarzenia się, oparty na wynikach badania szeregu fosforów. Punkty doświadczalne układają się wyraźnie na prostych, których pochYLENIE zależy od temperatury wyświecania się fosforów przed oziębieniem. Wzór (3) wykazuje, że jeżeli  $T_G[1 + f(s, \beta)] - T = 0$ , to  $\log \tau = 0$ . A więc proste przecinają oś odciętych w punkcie  $T_G = T_1$ , spełniającym powyższe równanie. Można więc, na podstawie wykresu rys. 21, wyznaczyć  $f(s, \beta) = \frac{T - T_1}{T}$ . Dla  $T_G = 0$ ,  $\log \tau = -\log s$ . Punkt przecięcia prostych z osią rzędnych daje więc wartość  $s$ .



Rys. 21

Logarytm połówkowego czasu świecenia jako funkcja temperatury jarzenia się (czyli głębokości pułapek). Temperatura wyświecania się około 90 i 290° K. Ekstrapolowane proste przecinają oś rzędnych w punkcie  $-\log s$

Temp., w której zachodziło wyświecanie się	Fosfor
290	□ ZnS (Nr 2)
293	○ SrS (Nr 1)
283	△ SrS (Nr 3)
90	○ SrS (Nr 1)
90	□ Boran kadmu + Mn
90	○ Chlorofosforan kadmu + Mn (Randall i Wilkins, l. c.)

Jak się okazuje  $s$  jest rzędu  $10^{8 \pm 1}$  sek.<sup>-1</sup> dla siarczków cynku i strontu. Dla fosforów kadmowych  $s$  jest rzędu  $10^{11}$  sek.<sup>-1</sup>, jednakże wartość ta wyznaczona została na podstawie mniej dokładnych pomiarów.

Przypomnijmy tu, że prawdopodobieństwo „wypędzenia” elektronu z pułapki wyraża się wzorem:

$$p = s \cdot e^{-\frac{E}{kT}}, \quad (4)$$

gdzie  $E$  oznacza głębokość pułapki,  $k$  stałą Boltzmanna i  $T$  temperaturę kryształu.

Widzimy więc, że badania fosforescencji pozwalają na zdobycie ciekawych wiadomości o pułapkach elektronowych.

Głębokość pułapek można wyznaczyć również i na drodze bardziej bezpośredniej. Można oziębic fosfor do temperatury, w której fosforencja jest zamrożona, a następnie go wzbudzić. W tych warunkach fosforescencja nie występuje – wszystkie złapane elektrony pozostają w pułapkach przez czas praktycznie nieograniczony. Jeżeli taki fosfor naświetlimy promieniami podczerwonymi a następnie ogrzejemy, to fosfor taki będzie świecił (termoluminescencja) lub nie, w zależności od tego, jaka jest częstość drgań fali podczerwonej, użytej do naświetlania.

Jeżeli fosfor nie świeci, znaczy to, że częstość drgań fali podczerwonej jest wystarczająca do wypędzenia elektronów z pułapek. Oznaczając przez  $\nu_m$  najmniejszą częstość drgań, wystarczającą do wypędzenia elektronów, otrzymujemy na głębokość pułapek  $E = h\nu_m$ .

Omówimy teraz krótko prawa zaniku czasowego fosforescencji wynikające z faktu, że czas przebywania elektronów w pułapkach gra w procesach zaniku fosforescencji rolę najistotniejszą. Krzywa zaniku fosforescencji zależy od temperatury fosforu (por. wz. (4)) i od rozkładu głębokości pułapek. Teoretyczną krzywą zaniku obliczyć możemy, jeżeli założymy jakiś określony rozkład głębokości pułapek. W poniższej teorii Randalla i Wilkinsa (9) zakłada się poza tym, że elektrony, wyzwolane z pułapek, nie są ponownie przez pułapki wyłapywane. Dopuszczalność tego założenia jest przez tych autorów uzasadniona.

Rozpatrzmy z początku przypadek najprostszy: wszystkie pułapki posiadają tę samą głębokość.

Oznaczmy przez  $n$  liczbę elektronów znajdujących się w pułapkach w chwili  $t$  od zakończenia wzbudzenia fosforu. Natężenie fosforescencji  $I$  jest proporcjonalne do  $dn/dt$ . Ze wzoru (4) mamy:

$$dn/dt = -np = -nse^{-E/kT}. \quad (5)$$

Całkowanie daje:

$$n = n_0 s e^{-E/kT} \exp(-ste^{-E/kT}) \quad (6)$$

czyli

$$I = I_0 \exp(-ste^{-E/kT}). \quad (7)$$

Otrzymujemy więc zanik wykładniczy.

Na ogół fosfory posiadają pułapki o różnych głębokościach. Niech  $N_E dE$  oznacza liczbę pułapek o głębokości zawartej pomiędzy  $E$  i  $E + dE$ . Wtedy z (6) wynika, że natężenie fosforescencji w chwili  $t$  od zakończenia wzbudzenia wyrazi się wzorem:

$$I_t = \text{const} \int_0^\infty N_E s e^{-E/kT} \exp(-ste^{-E/kT}) dE. \quad (8)$$

Jeżeli  $N_E = \text{const}$  (rozkład jednostajny), całkowanie prowadzi do

$$I_t = \frac{N_E kT}{t} (1 - e^{-st}). \quad (9)$$

Ponieważ pomiary natężenia dokonywane są praktycznie zawsze dla  $t$  spełniających warunek  $st \gg 1$ , zamiast (8) zupełnie wystarcza wzór

$$I_t = \frac{N_E kT}{t} \quad (10)$$

Dla rozkładu wykładniczego głębokości pułapek elektronowych ( $N_E = Ae^{-\alpha E}$ ), Randall i Wilkins dochodzą do wzoru

$$I_t \approx f(skT) B t^{-(\alpha kT + 1)}, \quad (11)$$

którego nie będziemy tu bliżej uzasadniać. We wzorze tym  $f(skT)$  jest pewną funkcją niezależną od  $t$ ,  $B$  zaś pewną stałą. Równanie (10) wskazuje na to, że w omawianym przypadku natężenie fosforescencji jest proporcjonalne do odwrotności pewnej potęgi czasu, który upłynął od chwili zakończenia wzbudzenia. Dla  $\alpha = 0$ , czyli rozkładu jednostajnego, otrzymuje się prawo zaniku, wyrażone wzorem (9). Dla  $\alpha kT + 1 = 2$ , otrzymuje się prawo zaniku podobne do wynikającego z założenia, że elektrony wzbudzone rekombinują z wolnymi poziomami aktywatorów w myśl prawa reakcji bimolekularnych. Pułapki, w myśl tych założeń, nie miałyby brać żadnego udziału w tych procesach. Jak wykazuje rachunek, czas rekombinacji musiałby być rzędu  $10^{-5}$  sek. Dla czasów dłuższych czas świecenia zależy więc praktycznie tylko od czasu, spędzanego przez elektrony w pułapkach.

Tabela 1. (Randall i Wilkins, l. c.) Prawo zaniku fosforescencji  $I \sim t^x$

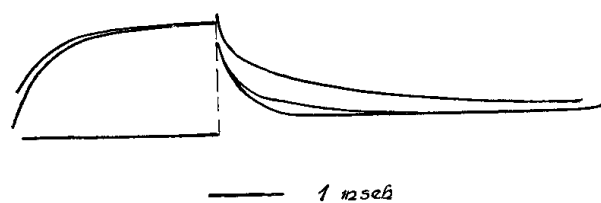
Fosfor	$x$ otrzymane z krzywej zaniku fosforescencji	$x$ obliczone na podstawie krzywej jarzenia się (przyjęto $s = 10^9 \text{ sek.}^{-1}$ )
ZnS-Cu (Nr 2)	1.50	1.57
ZnS-Cu	1.38	1.31
ZnS-Cu	1.50	1.51
ZnS-Cu. Ag	1.32	1.30
ZnS. CdS-Cu	1.65	1.57
ZnS-Cu	2.0	2.0

Oznaczając  $\alpha kT + 1$  przez  $x$ , możemy (10) napisać w postaci  $I \sim t^{-x}$ . Otrzymane z doświadczenia wartości wykładnika  $x$  podane są w tabeli 1.

Jak wykazuje tabela 1, wartości  $x$  wahają się w dość szerokich granicach.

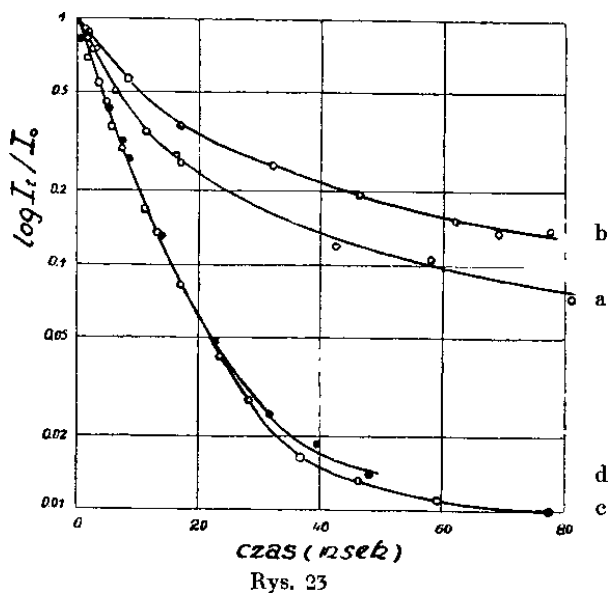
Szybkość zaniku fosforescencji zależy *ceteris paribus* od czasu naświetlania (wzbudzenia) fosforu i od natężenia światła wzbudzającego. Zależność od natężenia światła wzbudzającego tłumaczy się tym, że elektrony już w czasie wzbudzenia uciekają z pułapek. Z płytkich pułapek ucieka więcej elektronów, z głębokich mniej. W czasie naświetlania (dostatecznie długiego) ustala się pewien stan równowagi ruchomej. Przy wzbudzaniu słabym natężeniem światła wypełniają się głównie pułapki głębokie – otrzymuje się zanik powolniejszy. Przy wzbudzaniu światłem o dużym natężeniu silnie są obsadzone również i pułapki płytke, co prowadzi do szybkiego zaniku fosforescencji.

Przy wzbudzaniu krótkotrwałym stan równowagi ruchomej nie ustala się; nawet z pułapek płytkich elektrony nie zdążą uciec przed zakończeniem wzbudzenia; pułapki płytke nie są upośledzone w porównaniu z pułapkami głębokimi. Przy długim naświetlaniu stężenie pułapek obsadzonych jest większe dla pułapek głębokich niż dla płytkich. Ponieważ szybkość zaniku



Rys. 22

Rys. 15. Krzywe zaniku fosforescencji czystego ZnS w 293° K dla różnych czasów wzbudzenia. Krzywa górna: wzbudzenie długie, natężenie  $I = 1$ ; krzywa średnia: wzbudzenie długie,  $I = 9$  (rzędna tak dopasowana, aby w chwili początkowej natężenie było takie same, jak w krzywej  $I = 0$ ); krzywa dolna: wzbudzenie krótkie  $I = 1$ . (Garlicki Wilkins, l. c.)



Rys. 16. Krzywe zaniku fosforescencji ZnS-Mn.

- a. wzbudzenie  $0,36 \mu, I = 9,$
- b. „  $0,36 \mu, I = 1,$
- c. „  $0,43 \mu, I = 9,$
- d. „  $0,43 \mu, I = 1.$

(Garlicki Wilkins, l. c.)

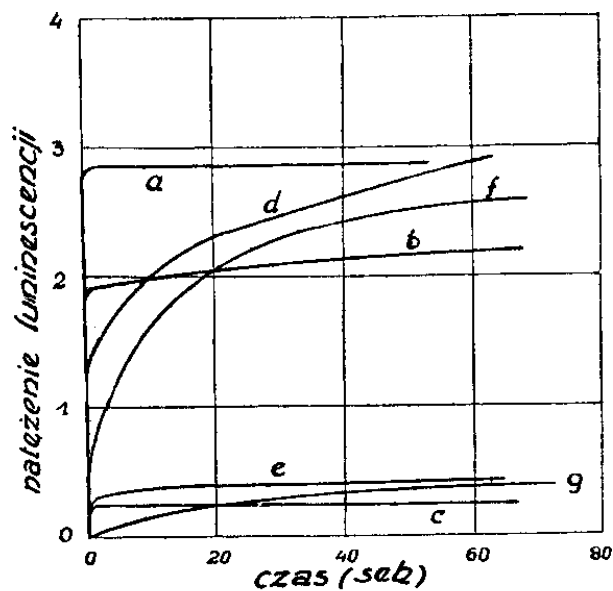
fosforescencji zależy od głębokości obsadzonych pułapek, więc jeżeli w procesie świecenia biorą udział pułapki, fosfory naświetlone krócej powinny wykazywać zanik szybszy niż naświetlone dłużej.

Zależność szybkości zaniku fosforescencji od czasu naświetlania może być zużytkowane do stwierdzenia, czy w procesie świecenia danego fosforu biorą udział pułapki, czy też nie.

Doświadczenia Garlicka i Wilkinsa (2), wykonane z czystym fosforem ZnS (bez domieszki), wykazały istnienie powyższej zależności dla tego fosforu. Stąd wniosek, że nawet w przypadku czystego ZnS pułapki (bardzo płytkie – czas świecenia bardzo krótki) biorą udział istotny w procesie fosforescencji. Krzywe narastania i zaniku fosforescencji ZnS przy różnych czasach trwania wzbudzenia daje rys. 22.

Jak wykazują krzywe, najszybszy zanik otrzymuje się przy krótkim naświetlaniu fosforu. Przy naświetlaniu długim szybszy zanik otrzymuje się przy silniejszym natężeniu światła wzbudającego. Zachowanie się jest więc w całkowitej zgodzie z przewidywaniami teorii „pułapkowej”. Przemawia ono zdecydowanie przeciw bimolekularnej teorii fosforescencji, w myśl której należałoby oczekiwać, że przy krótkim wzbudzeniu spadek natężenia będzie powolniejszy i krzywa pokrywać się będzie z krzywą, otrzymaną przy wzbudzeniu słabszym natężeniem.

Wspomnę jeszcze, że w niektórych przypadkach początek krzywej zaniku świecenia ma charakter wy-



Rys. 24

Rys. 17. Krzywe narastania świecenia ZnS-Mn, przy wzbudzeniu różnymi długościami fal; a:  $0,43 \mu$ ; b:  $0,36 \mu$ ; c:  $0,36 \mu$  o słabym natężeniu; d:  $0,33 \mu$ ; e:  $0,33 \mu$  o słabym natężeniu; f:  $0,31 \mu$ ; g:  $0,31 \mu$  o słabym natężeniu (Garlicki Wilkins, l. c.)

kładniczy, dalsza zaś jej część posiada charakter typowy dla fosforescencji kryształów. Zanik taki otrzymuje się np. dla fosforu ZnS-Mn (rys. 23). W stadium początkowym świecą wzbudzone jony Mn (bez udziału pułapek elektronowych; przejście elektronowe zachodzi pomiędzy zlokalizowanymi poziomami aktywatora). W dalszym stadium świecenia biorą udział pułapki elektronowe, szybkość zaniku zostaje zwolniona. Krzywe narastania natężenia świecenia w czasie wzbudzenia przy użyciu różnych długości fal światła wzbudającego wyraźnie wskazują na ten podwójny mechanizm świecenia. Przy wzbudzeniu falami dłuższymi elektron przenoszony jest z niższego poziomu aktywatora na wyższy poziom zlokalizowany, należący do tegoż aktywatora. Za pomocą fal krótszych elektrony przenoszone są do strefy przewodzenia, a więc do pułapek. W pierwszym przypadku narastanie świecenia jest bardzo szybkie, w drugim zaś powolne (por. rys. 24).

#### 4. Zakończenie

W niniejszym krótkim przeglądzie obecnego stanu wiadomości o fotoluminescencji kryształów zmuszeni byliśmy pominąć wiele punktów istotnych. Nie mogliśmy np. uwzględnić metod doświadczalnych badania fotoluminescencji. Nie zostało bliżej omówione zjawisko termoluminescencji oraz fotoprzewodnictwa fosforów. Nietknięte też były zastosowania praktyczne fos-

forów. Bardziej szczegółowo zostały omówione jedynie pułapki elektronowe i ich znaczenie w procesach fotoluminescencji kryształów. I tu jednak pozostała pewna luka – opuszczone zostało omówienie pewnych zjawisk, które, jak przyjmują niektórzy autorzy (np. Garlicki i Gibson (1)), wskazywałyby na to, że pułapki elektronowe znajdują się w bliskim sąsiedztwie aktywatorów (atomów zakłócających).

Jak się wydaje, chociażby na podstawie tak niekompletnego przeglądu, jak niniejszy, zjawiska fotoluminescencji kryształów są w grubszych zarysach poznane. Nie jest jeszcze jednak osiągnięty stan wiedzy, który by pozwolił przewidywać z góry własności różnych fosforów (przed ich wykonaniem), a więc projektować fosfory o żądanych właściwościach.

Toruń, luty 1950 r.

- (1) Garlick G. F. J. and Gibson A. F., *Journ. Of Opt. Soc.* 39, 935 (1949)
- (2) Garlick G. F. J. and Wilkins M. H. F., *Proc. Roy. Soc. (A)* 184, 408 (1945)
- (3) Jabłoński A., *ZS. f. Phys.* 73, 460 (1931)
- (4) Jabłoński A., *Nature* 131, 839 (1933); *ZS. f. Phys.*, 94, 38 (1935)
- (5) Kroger F. A., *Some aspects of the luminescence of solids*, Amsterdam (1948)
- (6) Moglich F. und Rompe R., *ZS. f. Phys.* 115, 707 (1940)
- (7) Peierls B., *Ann. d. Phys.* 4, 121 (1930); 5, 244 (1930), 12, 154 (1932)

- (8) Pringsheim P., *Rev. Mod. Phys.* 14, 132 (1942)
- (9) Randall J. T. and Wilkins M. H. F. *Proc. Roy. Soc. (A)* 184, 347, 365, 390 (1945)
- (10) Riehl N., *Physik und technische Anwendungen der Lumineszenz*, Berlin (1941)

**Uwaga dodana przy korekcie:** W zreferowanej na str. 297–298 niniejszego artykułu teorii zaniku świecenia fosforów Randalla i Wilkinsa (9) zakłada się, że elektrony raz wyzwolone z pułapek nie są, praktycznie biorąc, ponownie przez pułapki wyłapywane, czyli, że tzw. „retrapping” elektronów jest do pominięcia. Założenie to jest krytykowane przez szereg autorów (E. I. Adirowicz, W. W. Antonow-Romanowski, H. A. Klasens i M. E. Wise, R. C. Herman i C. F. Meyer, D. Curie), na co zwraca uwagę E. I. Adirowicz w swej recenzji z książki G. F. J. Garlicka (*Luminescent Materials*, Oxford, 1949) w „Uspiechach Fizycznych Nauk”, tom XLI, 419 (1950), gdzie też jest podana literatura tego zagadnienia. Uwzględnienie „retrapping” prowadzi do wzorów odmiennych od otrzymanych przez Randalla i Wilkinsa (por. H. A. Klasens i M. E. Wise, *Nature*, 158, 583 (1946)). Na razie, o ile mi wiadomo, wprowadzono wzory na zanik świecenia z uwzględnieniem „retrapping” jedynie dla przypadku fosforów o pułapkach o jednakowej głębokości. Opinie co do konieczności uwzględnienia „retrapping” są jeszcze wciąż podzielone (por. wyżej wspomnianą recenzję A. I. Adirowicza i książkę G. F. J. Garlicka).

## Urywki rozmowy z Aleksandrem Jabłońskim o jego drodze naukowej

Sławomir Kalembka

Artykuł ukazał się w *Postęпах Fizyki* 1982, t. 33, z. 1–2, s. 69–73.

Dnia 17 grudnia 1976 r. w gabinecie profesora Aleksandra Jabłońskiego w Collegium Physicum Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu odbyła się rozmowa, której fragmenty przytaczamy. Była to rozmowa–wywiad, będąca tym co historycy nazywają „wywoływaniem” źródeł historycznych Uczestniczyli w niej, jako interlokutorzy, profesor Roman Stanisław Ingarden – fizyk i docent Sławomir Kalembka – historyk. Profesorowi Jabłońskiemu dostarczono wcześniej ankietę, zbiór pytań, na które odpowiedział krótko na piśmie, co mu odświeżyło wspomnienia i tym samym posłużyło w trakcie wywiadu. Po przepisaniu na maszynie nagranych na taśmie magnetofonowej tekstu, w lutym 1977 r. prof. Jabłoński dokonał poprawek i autoryzował swą wypowiedź. Sprawami redakcyjnymi zajmował się doc. Kalembka. Cały Wywiad w ostatecznym kształcie, zajmuje 44 strony maszynopisu i jest m. in. przechowywany w Pracowni Historii Fizyki Biblioteki Głównej UMK.

Grudniowy wywiad Profesora Jabłońskiego był jednym z przejawów działalności Komisji Historii Fizyki, powołanej w tymże 1976 r. przy Zarządzie Głównym Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Postawiła ona przed sobą, obok innych celów, zadanie przeprowadzania wywiadów z seniorami polskiej fizyki dla utrwalenia jej dziejów. Jak zapewne dowodzi cytowany tu wywiad, nie jest to praca jałowa.

Z dosyć obszernego tekstu wybrano niektóre fragmenty, przedstawiające drogę naukową Profesora Jabłońskiego, jego kontakty z wybitnymi fizykami i jego poglądy na niektóre problemy fizyki.

Sławomir Kalembka

Instytut Historii i Archiwistyki Uniwersytet Mikołaja Kopernika Toruń

**J[abłoński]:** Przyjąłem propozycję profesora Pieńkowskiego i zostałem pomocniczym pracownikiem naukowym. Pracowałem dalej naukowo i w 1930 roku złożyłem pracę doktorską: „O wpływie zmiany długości fali wzbudzającej na widma fluorescencji”.

**K[alembka]:** Co Pana Profesora skłoniło do wyboru tej tematyki?<sup>1</sup>

**J:** Profesor Pieńkowski zaproponował mi. Był świetnym organizatorem, ale o tendencjach dyktatorskich.

(...)

**J:** No i dalej pracowałem i w czasie tej pracy, po doktoracie, profesor Pieńkowski wysłał mnie do Berlina, do uniwersytetu – Friedrich Wilhelm Universität – do profesora [Petersa]<sup>2</sup> Pringsheima, który był najlepszym specjalistą w dziedzinie fotoluminescencji. Z tym profesorem pracowałem, wykonałem kilka prac, kilka samodzielnych prac.

(...)

**J:** To był rok 1930 i 1931 – dziewięć miesięcy i tam szereg prac wykonałem wspólnie z Pringsheimem, jedną wspólnie z Pringsheimem i z Rompem, który później

---

1. W Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego w 1925 r. Por. artykuł T. Skalińskiego i J. Szudego o prof. Jabłońskim, zamieszczony w niniejszym zeszycie *Postępów Fizyki* (przyp. Red.).

---

2. Uwagi w nawiasach kwadratowych zostały dodane przez Autora opracowania wywiadu – doc. S. Kalembkę, który oparł się na uzupełnieniach dokonanych na piśmie przez prof. A-Jabłońskiego (przyp. Red.).

był przewodniczącym Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego w NRD.

(...)

J: Ponieważ stypendium rockefellerowskie było przyznane na rok, a ja byłem dziewięć miesięcy w Berlinie, więc profesor Pieńkowski postarał się o przedłużenie o parę miesięcy i za poradą Pringsheima nie zostałem w Berlinie, tylko pojechałem do Hamburga, gdzie kierownikiem Zakładu Chemii Fizycznej był Otto Stern – laureat Nagrody Nobla. Tam pracowałem pięć miesięcy, ale zrobiłem pracę z dziedziny własnej, u profesora Sterna nie zdążyłem żadnej zrobić. Wróciłem do Warszawy i dalej pracowałem. W 1934 roku złożyłem moją rozprawę habilitacyjną, której tytuł mogę podać: „O wpływie oddziaływań międzycząsteczkowych na zjawiska absorpcji i emisji światła”.

(...)

K: Panie Profesorze, wracając do ówczesnych studiów i badań własnych, nasuwa się pewne pytanie – Jak Pan Profesor ocenia poziom ówczesnych studiów w Berlinie i Hamburgu?

J: O studiach mogę niewiele powiedzieć, ale – jeżeli chodzi o mój pobyt w Berlinie to oprócz tego, że pracowałem u Pringsheima, chodziłem na wykłady [Erwina] Schrödingera – bardzo miły człowiek i bardzo miłe wykłady. On miał cały wykład napisany na kartkach i gdy wykład się kończył robił sobie znak ołówkiem. Największe wrażenie zrobiło na mnie [cotygodniowe] kolokwium fizyczne, które tam istniało. Brali w nim udział fizycy mniej i bardziej znani z Berlina i spod Berlina [Poczdamu i Babelsbergu], no i tam przewodniczył Nemst a poza tym na kolokwium byli obecni Max Planck, Einstein [dokąd nie wyjechał do Stanów Zjednoczonych], Pringsheim, Liza Meitner, Grotrian [London] i cały szereg innych wybitnych fizyków. Często się zdarzało, że jakiś fizyk przyjechał z innego kraju i miał wykład.

(...)

J: W kolokwium brali udział wspólnie pracownicy naukowcy Instytutów Fizyki Doświadczalnej i Fizyki Teoretycznej. Ta wspólnota bardzo mnie fascynowała i marzyłem o tym, żeby takie kolokwium stworzyć.

K: To kolokwium jak często się odbywało?

J: Raz na tydzień.

K: I nawet co najwybitniejsi fizycy bywali tam regularnie?

J: No właśnie, był tylko jeden wyjątek, a poza tym wszyscy chodzili. Po kolokwium odbywało się „Nachsit-zung”, wszyscy szli do kawiarni i tam sobie rozmawiali na różne tematy naukowe i inne. Bardzo bliskie współzycie.

K: To na pewno w jakiś sposób pozytywnie wpływało na rozwój fizyki niemieckiej. Wymiana myśli.

(...)

J: Profesor Pieńkowski uzyskał dla mnie przedłużenie stypendium rockefellerowskiego i ja wyjechałem do Otto Sterna [do Hamburga, gdzie przebywałem na przełomie 1931 i 1932 r.]. Tam też było kolokwium, [ale] o nieco innym charakterze. W Berlinie referowano ważniejsze prace. W Hamburgu referaty były przeglądowe, tzn. specjaliści z jakiejś dziedziny referowali tę dziedzinę, no i w Hamburgu napisałem jedną pracę [nie z dziedziny Sterna], ale miałem możliwość dyskusji z profesorem [W. J. Lenzem], który się zajmował rozszerzeniem linii widmowych – to był temat, którym się zajmowałem.

(...)

K: Jak układały się stosunki z profesorem Pringsheimem?

J: Bardzo serdeczne stosunki. Pringsheim dwukrotnie przyjechał do Polski. Jeden raz przed moim wyjazdem do niego, a później w czasie Międzynarodowej Konferencji Luminescencji w Warszawie<sup>3</sup>. Później myśmy korespondowali, różne zagadnienia w tej korespondencji omawialiśmy.

I[ngarden]: I on się przeniósł szybko do Ameryki. Kiedy?

J: Ponieważ on był pochodzenia żydowskiego, więc udało mu się z początku wyjechać na południe Francji, a później do Stanów Zjednoczonych. Po wojnie przyjechał do Polski [Pokazuje fotografię stojącą na biurku i komentuje:] Pringsheim w kapeluszu, Pringsheimowa, Franek, Kastler.

(...)

3. W 1936 r. (przyp. Red.).

**K:** Jak Pan Profesor ocenia poziom fizyki polskiej w tym czasie. Byliśmy blisko średniej światowej?

**J:** Różne ośrodki, miały różne specjalności. Warszawski ośrodek, jeśli chodzi o dziedzinę fotoluminescencji, był ośrodkiem ważkim, niektóre prace były bardzo ważne, ale nie było tego, żeby jakiś ośrodek miał specjalność dominującą na świecie. Były niektóre prace, np. teoretyczne profesora Rubinowicza, ale i takie rzeczy, np. Niewodniczański wykrył przejścia w atomach, które były przejściami dipolowymi magnetycznymi, po raz pierwszy.

**I:** Dane profesora Rubinowicza doświadczalnie potwierdził Niewodniczański.

(...)

**J:** Idealne stosunki międzyludzkie panowały na Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie, do którego przeniósłem się w kwietniu 1938 roku, dzięki namowom profesora Józefa Patkowskiego i profesora Wacława Dziewulskiego. Chodziło mi o to, żebym mógł więcej pracować samodzielnie. (...) Tam, [tzn. w Wilnie] stosunki były bardzo dobre między fizyką i astronomią. Współpraca z profesorem Dziewulskim, profesor Iwanowską. Stosunki międzyludzkie mnie pociągały, chociaż profesor Pieńkowski nie miał ochoty mnie puścić z Warszawy, ale pojechałem tam. [Tam, na USB Jabłoński wykladał fizykę doświadczalną – S. K.].

**K:** Czym się zajmowano w ośrodku wileńskim. Czy była [określona, ścisła] specjalność?

**J:** Ja powiem, czym ja się zajmowałem z Horodniczym. (...) „Ciśnieniowym rozszerzeniem linii widmowych” i dwie takie notatki wysłaliśmy do Nature. Jedna ukazała się przed wybuchem wojny, a druga po wybuchu. (...)

**J:** Ja pracowałem [w Szkocji] naukowo [wykladał od 1943 r. na polskim Wydziale Lekarskim uniwersytetu w Edynburgu – S. K.] i jedną pracę wysłałem do Physical Review w Stanach Zjednoczonych i została wydrukowana [była to praca o ciśnieniowym rozszerzaniu linii widmowych]. Chodziłem na kolokwia, które prowadził Max Born i tam wygłosiłem trzy referaty: jeden z mojej specjalności – dwa posiedzenia to zajęło, a jeden o twórczości Sterna, w związku z nagrodą Nobla dla Sterna. [Tymczasem wojna się skończyła] i przyjechał Pieńkowski do Wielkiej Brytanii [trzykrotny rektor UW, wówczas też pełnił te obowiązki], w listopadzie 1945 r. i namawiał mnie do powrotu do Polski.

Mówił, że kultura polska ucierpiała w czasie wojny, że trzeba pracować nad jej odbudową. (...) Wyjechałem do Warszawy i zostałem adiunktem–docentem Warszawskiego Uniwersytetu.

(...)

**K:** Co zdecydowało, że Pan Profesor przeniósł się do Torunia? Tam gdzie była [wówczas] pustka naukowa i tradycji w fizyce nie było?

**J:** Mnie się zdaje, że dla Polski było sprawą ważną, żeby w tej części Polski, w której ośrodków naukowych nie było, żeby powstały. Mógłbym zostać w Warszawie, bardzo mnie namawiał profesor Pieńkowski. Ale w Toruniu miałem pełną swobodę – zajęcia organizacyjne, prowadziłem wykłady i ćwiczenia, no i doprowadziło się w końcu do tego, że zbudowano chociaż część murów... Po przeniesieniu się do tego gmachu<sup>4</sup> [zbudowanego w latach 1948–1951] można było rozpocząć prace doświadczalne,

(...)

**I:** Pan Profesor też jest twórcą tej dziedziny<sup>5</sup>. Może kilka słów o najważniejszych swoich pracach mógłby Pan Profesor powiedzieć.

**J:** Najważniejszą jest praca dotycząca mechanizmu fluorescencji i fosforescencji – powszechnie znana. Później zajmowałem się ciśnieniowym rozszerzeniem linii widmowych. Ta moja praca została rozwinięta przez Szudego, tutejszego fizyka i Baylisa z Uniwersytetu Windsor w Kanadzie.

(...)

**I:** Czy można jeszcze zapytać Pana Profesora odnośnie schematu poziomów elektronowych drobin fluoryzujących i fosforyzujących w luminiscencji, co wytłumaczyło to zjawisko? Jak Pan Profesor doszedł do tego, proszę ewentualnie o parę uwag, bo to jest jedno z najważniejszych odkryć w tej dziedzinie?

**J:** Kiedyś profesor Förster, który był w Toruniu na kilka tygodni przed śmiercią, pytał, co mi nasunęło schemat poziomów. Ja wówczas powiedziałem, że nie pamiętam.

4. Por. A. Jabłoński – Collegium Physicum Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Postępy Fizyki 3, 371 (1952) (przyp. Red.).

5. Tj. luminescencji (przyp. Red.).



Później pomyślałem sobie, że może to związane było z tym, iż na początku zrobiłem pracę na temat fluorescencji par kadmu, ale to rtęć, kadm i cynk mają podobne sytuacje, tzn., że występuje linia rezonansowa bezpośrednio wzbudzona, lecz później zachodzi przejście do poziomu metatrwałego i emitowana jest fluorescencja widzialna. Tymi sprawami zajmował się Mrozowski. Ta fluorescencja widzialna jest długożyłowa, właściwie ma odpowiednik w roztworach barwników – fosforescencja, może to mi nasunęło, żeby podobny schemat wprowadzić, by wytłumaczyć te zjawiska, które występują w roztworach. Jeśli chodzi o ocenę własnych prac to ważnymi ustaleniami były: reguła sumacyjna, która dotyczy natężeń pasm występujących przy jakimś jednym przejściu elektronowym, występuje rozkład natężeń pomiędzy pasma oscylacyjne i to znalazło się obecnie u Herzberga w monografii<sup>6</sup>. Poza tym może wytłumaczenie w ogóle jak wygląda widmo absorpcji i widmo fluorescencji w roztworach, no i jak można wytłumaczyć, przynajmniej jakościowo, stokesowskie przesunięcie widma fluorescencji w stosunku do widma adsorpcji Temu poświęcona była jeszcze w dawnych latach ogłoszona praca.

---

6. G. Herzberg, *Molecular Spectra and Molecular Structure*, t. J – *Spectra of Diatomic Molecules*, Van Nostrand. Princeton 1950, str. 203 (przyp. Red.).

I: A jeśli chodzi o rolę tych, tzw. stanów trójkowych?

J: To było w pierwszym temacie, którym się zajmowałem. W drugim, o trójkowych stanach nie ma mowy. Trójkowe stany grają ważną rolę, bo przejście ze stanu singletowego do trójkowego powoduje zmniejszenie obsadzenia stanu wzbudzonego singletowego.

(...)

I: Czy Pan Profesor widzi związek między swymi pracami i laserami?

J: W laserach istotną rolę grają przejścia wymuszone, a ja się zajmowałem taką sytuacją, gdy przejścia wymuszone mogą być pominięte.

I: To zmienia jak gdyby termodynamikę, ale kiedy chodzi o podobieństwo schematów linii...

J: Jeśli chodzi o schematy poziomów to są one niezależne od zjawisk, do których ten schemat jest stosowany.

## Aleksander Jabłoński (1898–1980)

Tadeusz Skaliński\*, Józef Szudy\*\*

\*Instytut Fizyki PAN Warszawa, \*\*Instytut Fizyki Uniwersytet Mikołaja Kopernika Toruń

Artykuł ukazał się w *Postęпах Fizyki* 1982, t. 33, z. 1–2, 61–69.

W dniu 9 września 1980 roku zmarł Aleksander Jabłoński, profesor zwyczajny Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk, członek honorowy Polskiego Towarzystwa Fizycznego, wybitny specjalista w dziedzinie fizyki atomowej i molekularnej i twórca toruńskiego ośrodka badań fizycznych.

Aleksander Jabłoński urodził się dnia 26 lutego 1898 roku w Woskriesienowce w guberni kurskiej na Ukrainie. Po uzyskaniu w roku 1916 matury w gimnazjum w Charkowie rozpoczyna na tamtejszym uniwersytecie studia w zakresie fizyki. Wypadki wojenne lat 1914–1920 nie sprzyjają studiom, jednakże Jabłoński, mimo kilku przerw związanych ze służbą wojskową najpierw w wojsku rosyjskim a następnie w formującym się w owym czasie wojsku polskim, kontynuuje swe studia (od roku 1919 już w Uniwersytecie Warszawskim) i kończy je w roku 1925 zostając powołany na stanowisko młodszego asystenta w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej<sup>1</sup>.

Zakład ten, kierowany przez prof. Stefana Pieńkowskiego, rozpoczyna w tym czasie pionierską działalność w dziedzinie badań nad fluorescencją, fosforescencją i absorpcją promieniowania przez atomy i cząsteczki. W tej też tematyce zostały wykonane przez Jabłońskiego wspólnie z Pieńkowskim pierwsze prace i nadały one kierunek zainteresowaniom naukowym, którym Jabłoński pozostał wierny przez całe swoje życie. Głównym problemem, jaki go interesował, był los pochłoniętej przez atomy i cząsteczki energii. Zagadnienie to obejmowało absorpcję, fluorescencję, fosforescencję i przejścia bezpromieniste (dezaktywacja bezpromienista). Jabłońskiego interesuje również wpływ na te procesy zewnętrznych oddziaływań zaburzających. Cechą charakterystyczną działalności naukowej

Jabłońskiego było łączenie pracy teoretycznej (analizującej badane zjawiska) z badaniami doświadczalnymi, których zadaniem jest bezpośrednia weryfikacja wyników teoretycznych.

W roku 1930 Jabłoński otrzymał stopień doktora filozofii na podstawie pracy „O wpływie zmiany długości fali wzbudzającej na widma fluorescencji”. Po doktoracie, jako stypendysta Fundacji Rockefellera, spędza lata 1930–31 w Berlinie w Zakładzie prowadzonym przez Petera Pringsheima (jednego z najwybitniejszych badaczy zjawisk fluorescencji i fosforescencji) oraz w Hamburgu, w pracowni Otto Sterna, gdzie zapoznał się z niedawno odkrytą techniką promieni atomowych i molekularnych. Mimo tej pasjonującej tematyki, nawet w Hamburgu jego działalność naukowa zwrócona była ku zagadnieniom spektroskopii atomowo-molekularnej. Dostrzegając już w tym czasie płodność idei przedstawienia oddziaływań międzyatomowych i międzycząsteczkowych przy pomocy krzywych potencjalnych Francka i stosując do przejść elektronowych w rozpatrywanych układach zasadę Francka–Condon, Jabłoński formułuje w roku 1931 pierwszą wersję (jeszcze jakościową) kwantowo-mechanicznego ujęcia zagadnienia ciśnieniowego rozszerzenia linii widmowych [1]. Praca ta stanowiła ideowy punkt wyjścia tzw. quasi-molekularnego modelu zjawiska ciśnieniowego rozszerzenia linii, który do dziś stanowi podstawę różnych formułowanych ilościowo teorii.

W tym właśnie okresie dojrzewa u Jabłońskiego pierwsza koncepcja struktury centrum, odpowiedzialnego za luminescencję barwnika w roztworze. Centrum takie tworzy cząsteczka barwnika otoczona cząsteczkami rozpuszczalnika. Analiza oddziaływań cząsteczki barwnika z otoczeniem, przy uwzględnieniu dynamicznej ewolucji konfiguracji takiego centrum w czasie, pozwala wytłumaczyć podstawowe dla fluorescencji i potwierdzone przez doświadczenie zjawiska: 1) prawa Stokesa o wzajemnym przesunięciu

---

1. Por. także rozmowę R. S. Ingirdsna i S. Kalemki z Aleksandrem Jabłońskim w niniejszym zeszycie *Postępów Fizyki* (przypr. Red.).

widm emisji i absorpcji, 2) zwierciadlanej symetrii tych widm i 3) faktu, że w roztworach o małej lepkości widmo fluorescencji przy wzbudzeniu monochromatycznym nie zależy od długości fali wzbudzającej. Natomiast dla układów, w których konfiguracja centrum została ustalona (adsorbaty i szkliwa aktywowane), z analizy Jabłońskiego wynika brak takiej niezależności.

Innym problemem podjętym przez Jabłońskiego był spadek wydajności fluorescencji przy monochromatycznym wzbudzeniu w obszarze antystokesowskim (tj. przy wzbudzeniu długością fali większą niż maksimum rozkładu fluorescencji). Choć zjawisko to jeszcze przez wiele lat nasuwało poważne trudności interpretacyjne, już wówczas Jabłoński przypisał je istnieniu konkurencyjnej, nieaktywnej absorpcji, której pasma nałożone są na pasmo absorpcji prowadzącej do luminescencji, zabierając coraz to większą część energii pochłoniętej. Wiele lat później (1954) sprecyzował naturę tej nieaktywnej absorpcji przypisując ją różnego rodzaju asocjatom. Liczne prace jego uczniów potwierdziły doświadczalnie ten pogląd.

Fundamentalne znaczenie dla analizy procesów fotoluminescencji ma wprowadzony w roku 1935 przez Jabłońskiego schemat poziomów cząsteczki luminezującej, zawierający w najprostszym ujęciu – obok krótkożyłowego stanu „fluorescencyjnego” F – co najmniej jeden poziom metatrwały M usytuowany nieco poniżej poziomu F [2]. Przejścia z M do stanu podstawowego N (względnie odwrotnie) są zabronione przez reguły wyboru. Poziom M jest obsadzony przez cząsteczki przybywające doń z F (raczej w sposób bezpromienisty). Przy dostatecznie wysokiej temperaturze mogą zachodzić przejścia odwrotne M–F na koszt energii ruchu cieplnego, po czym następuje wyświecenie cząsteczki z poziomu F. Kilka lat później G. N. Lewis i M. Kasha i niezależnie A. N. Terenin wyrazili pogląd, że poziom metatrwały jest poziomem trójkowym. Pogląd ten został jednoznacznie potwierdzony doświadczalnie dopiero w końcu lat pięćdziesiątych techniką elektronowego rezonansu paramagnetycznego. Schemat poziomów cząsteczki luminezującej, zwany dziś powszechnie schematem Jabłońskiego, wszedł jako klasyczny element do światowej literatury fizyko-chemicznej w opisie struktury elektronowej cząsteczek luminezujących oraz różnych procesów fotochemicznych, zachodzących w tych cząsteczkach. Z tym schematem wiąże się odkrycie (w latach sześćdziesiątych) akcji laserowej w organicznych substancjach fluoryzujących.

W dalszym rozwoju swych zainteresowań Jabłoński zwraca się ku zagadnieniu polaryzacji fotoluminescencji [3], Przyporządkowuje on cząsteczce dwa

anizotropowe oscylatory wirtualne, jeden odpowiedzialny za absorpcję, drugi za emisję promieniowania. Pozwoliło to na ilościowe wytłumaczenie efektów polaryzacyjnych w promieniowaniu luminescencji i niezrozumiałych poprzednio różnic w stanie polaryzacji światła emitowanego przez różne cząsteczki. Badaniom teoretycznym Jabłońskiego towarzyszą jego doświadczenia nad zależnością stopnia polaryzacji luminescencji od lepkości roztworu (w szczególności dla przypadków granicznych cząsteczek w ośrodku o olbrzymiej lepkością a więc nie wykonujących ruchów rotacyjnych).

W przypadku gdy wzbudzone cząsteczki wykonują rotacyjne ruchy Browna okazuje się, że ta rotacja wywiera wpływ na średni czas zaniku świecenia mierzony metodą fluorometryczną. Jabłoński wykazuje, że istnieje tylko jeden kąt obserwacji w stosunku do kierunku drgań wektora elektrycznego światła wzbudzającego, przy którym mierzony czas zaniku odpowiada rzeczywistości. Doświadczenia wykonane wspólnie z W. Szymanowskim potwierdziły te przewidywania [4].

Znaczna część omówionych tu badań weszła w skład rozprawy habilitacyjnej Jabłońskiego [5]. Po habilitacji w 1934 roku zainteresowania Jabłońskiego kierują się ku zagadnieniu ciśnieniowego rozszerzenia linii widmowych. W odróżnieniu od pracy z roku 1931 [1], która wyrażała w sposób bardzo ogólny ideę sposobu potraktowania zagadnienia, przechodzi obecnie do opartego na mechanice kwantowej ujęcia ilościowego. Dwie prace na ten temat ogłosił w *Acta Physica Polonica* (1937, 1938), jedną zaś już po wybuchu II wojny światowej w *Physica* (1940) [6, 7]. Badania te zapoczątkowane zostały w Warszawie, a od kwietnia 1938 były kontynuowane w Wilnie na Uniwersytecie Stefana Batorego, dokąd Jabłoński przeniósł się kierując tam faktycznie pracami spektroskopowymi.

Ujęcie Jabłońskiego zagadnienia ciśnieniowego rozszerzenia linii widmowych nawiązuje do kwantowo-mechanicznej teorii rozkładu natężeń w widmach molekularnych. Atom emitujący lub absorbujący wraz z  $n$  zaburzaczami zostaje tu potraktowany jako gigantyczna  $(n + 1)$ -atomowa cząsteczka. W takim układzie oprócz energii wzbudzenia elektronowego mamy do czynienia z energiami ruchów translacyjnych atomów zaburzających względem atomu emitującego. Stanowi to analogię do energii oscylacyjnej w zwykłej cząsteczce. Stosując do takiego układu kwantowe metody rachunku przybliżonego (przybliżenie Borna–Oppenheimera i kwantowo-mechaniczne sformułowanie zasady Francka–Condon) wiąże Jabłoński prawdopodobieństwo przejścia odpowiadające różnym konfiguracjom z rozkładem natężeń

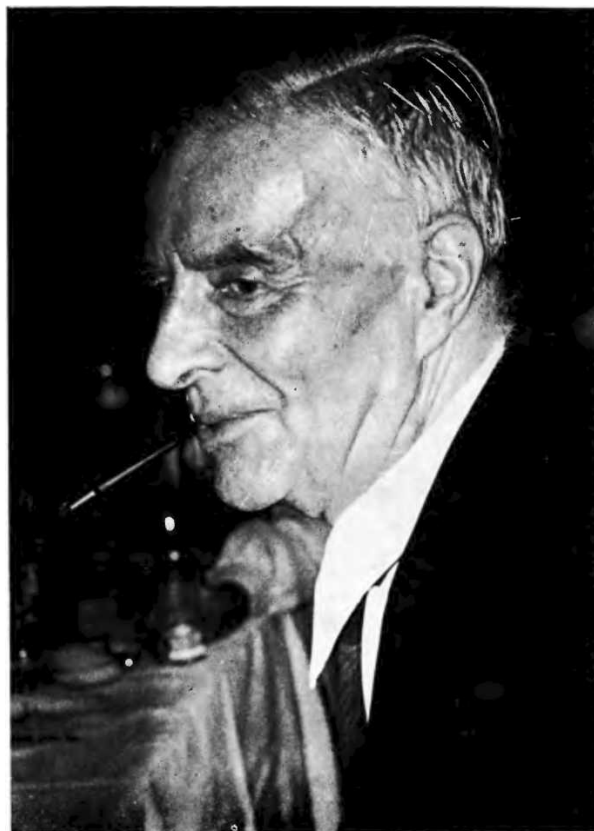
w rozszerzonej linii widmowej. Jednym z testów tej teorii były doświadczenia wykonane przez Jabłońskiego w Wilnie wspólnie z H. Horodniczym, dotyczące wpływu temperatury na szerokość linii widmowych [8].

Wybuch wojny z Niemcami w roku 1939 zastaje Jabłońskiego znów w szeregach armii polskiej. Po kampanii wrześniowej przez różne obozy wraz z armią polską na wschodzie dostaje się przez Irak do Wielkiej Brytanii wraz z transportem oficerów i żołnierzy. W latach 1943–45 jest wykładowcą fizyki na Polskim Wydziale Lekarskim w Edynburgu. Jednocześnie aktywnie pracuje naukowo i bierze czynny udział w kolokwium, prowadzonym na uniwersytecie w Edynburgu przez Maxa Borna. Z tego okresu pochodzi najogólniejsza wersja kwantowej teorii ciśnieniowego rozszerzenia linii widmowych opublikowana w roku 1945 [9], która ma do dnia dzisiejszego fundamentalne znaczenie w badaniach efektów optyczno-zderzeniowych.

Po zakończeniu wojny, w listopadzie 1945 roku Jabłoński powraca do kraju. Po kilku miesiącach pracy w Warszawie (znów w Zakładzie prof. Pieńkowskiego na Hożej) otrzymuje nominację na profesora zwyczajnego w nowo utworzonym Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu i podejmuje tam organizację nauczania i badań fizycznych. Rozpoczynając pracę w niezwykle trudnych warunkach powojennych, bez odpowiedniego lokalu, z bardzo nielicznym gronem współpracowników i bez aparatury doprowadził Jabłoński w okresie swej działalności ośrodek fizyki w Toruniu do stanu rozkwitu i do poziomu liczącej się w świecie placówki naukowej.

Dzięki poparciu pierwszego rektora Uniwersytetu Mikołaja Kopernika prof. L. Kolankowskiego, w roku 1948 rozpoczęto budowę gmachu Collegium Physicum przy ulicy Grudziądzkiej 5. Gmach ten został oddany do użytku w roku 1951 i od tej chwili datuje się rozwój badań w zakresie fizyki doświadczalnej w ośrodku toruńskim. Dzięki kilkuletniej współpracy z Instytutem Fizyki Polskiej Akademii Nauk, wzbogacono wydatnie wyposażenie do badań spektroskopowych i zwiększono liczbę pracowników naukowych.

W latach pięćdziesiątych Jabłoński przystępuje do uogólnienia wprowadzonego przez siebie poprzednio modelu centrum luminescującego. Opracowuje, mianowicie, powłokowy model takiego centrum i przy jego pomocy rozwija kolejno teorię wygaszania, zaniku luminescencji i jej polaryzacji [10–12]. Centrum luminescujące składa się z wzbudzonej cząsteczki barwnika otoczonej cząsteczkami rozpuszczalnika. W otoczeniu cząsteczki luminescującej mogą znajdować się również niewzbudzone cząsteczki barwnika. Całe otoczenie wybranej cząsteczki zostaje podzielone



Aleksander Jabłoński

na monomolekularne powłoki, w których w różny sposób mogą być rozmieszczone cząsteczki zaburzające oraz ewentualnie niewzbudzone cząsteczki barwnika. Taka konfiguracja nie jest ustalona w czasie, lecz może ulegać skokowym zmianom (ich prawdopodobieństwo będzie m. in. zależne od lepkości roztworu). W ten sposób prymitywne pojęcie zderzenia zaburzającego zastąpione zostaje o wiele bardziej sprecyzowanym zjawiskiem spotkania (pozostawianiem przez pewien czas cząsteczek zaburzających w sąsiedztwie cząsteczki wzbudzonej). Stosując formalizm statystyczny, nawiązujący do prac Smoluchowskiego, Jabłoński wyprowadził równania opisujące kinetykę wygaszania fotoluminescencji. Głównym osiągnięciem było tu sformułowanie ogólnej teorii, której wnioski w przypadkach szczególnych prowadzą do wielu zależności wyprowadzonych poprzednio przez innych autorów dla pewnych szczególnych przypadków.

Wnioski z tej teorii dotyczą wygaszania, charakteru gaśnięcia, depolaryzacji (ze szczególnym uwzględnieniem tzw. samodepolaryzacji) oraz drgań torsyjnych cząsteczki. W teorii Jabłońskiego stężeniowej depolaryzacji fotoluminescencji przyjmuje się, że zasadniczym czynnikiem depolaryzacyjnym jest migracja energii od jednej cząsteczki barwnika do drugiej. W latach sześćdziesiątych Jabłoński zwrócił uwagę

na jeszcze jeden efekt, który może przyczynić się do zwiększenia depolaryzacji fotoluminescencji. Jest nim tzw. „wstrząs początkowy” polegający na wzmożeniu ruchu oscylacyjnego cząsteczki, jej ruchu jako całości oraz ruchu cząsteczek otaczających kosztem części energii – pochłoniętej przez cząsteczkę w akcie absorpcji. Część tej energii jest rozpraszana w ośrodku w postaci fal sprężystych, część powoduje lokalne ogrzanie, przyczyniając się w efekcie do wzmożenia depolaryzacji fluorescencji. Teoria tego efektu przewiduje jego zależność od długości Mi światła wzbudzającego, co potwierdziło doświadczenie [13].

Wyprzedzając o dziesiątki lat metodę badań cząsteczek w matrycach niskotemperaturowych (pojedyncze cząsteczki wbudowane w sieć krystaliczną zestalonego gazu szlachetnego) Jabłoński wykazał w pracy ogłoszonej w roku 1934 [14], że badania fluorescencji roztworów sztywnych mogą być wykorzystane jako, cenne źródło informacji o kierunkach momentów przejścia w cząsteczkach. Ta metoda, znana obecnie jako metoda Jabłońskiego, została rozwinięta w końcu lat sześćdziesiątych i zastosowana do badania drobin organicznych, które uzyskały orientację w matrycach polimero-nych. Jednym z przykładów ewolucji tej metody było uzyskanie przez Landa filtrów polaryzujących.

W latach 1963–68 Jabłoński znów powraca do teorii ciśnieniowego rozszerzenia linii widmowych. Opierając się na konsekwentnym stosowaniu zasady Francka–Condon nadaje tej teorii nową, bardziej nadającą się do szczegółowych obliczeń postać. Ogólną ideę tego nowego ujęcia można przedstawić następująco. Jak poprzednio, rozpatruje się układ złożony z atomu wykonującego przejście optyczne i zaburzaczy rozłożonych statystycznie w otaczającej przestrzeni. Cała przestrzeń otaczająca atom zaburzany zostaje podzielona sferą oddziaływania (o promieniu  $r_0$ ) na dwa obszary. Wewnętrzny – w którym aż do odległości  $r_0$  oddziaływanie z jakimkolwiek zaburzaczem jest znacznie większe niż sumaryczne oddziaływanie między atomem optycznie czynnym ze wszystkimi zaburzaczami znajdującymi się w odległości większej od  $r_0$ , tj. w obszarze zewnętrznym. W obszarze wewnętrznym niekoniecznie musi znajdować się tylko jeden zaburzacz. Jabłoński pokazuje jednak, jak przy znajomości funkcji opisującej oddziaływanie z jednym zaburzaczem wewnątrz sfery czynnej i wynikającym z tego zaburzenia kształtem rozszerzonej linii można wypro-wadzić wyrażenia na odpowiednie rozkłady natężeń dla przypadku dwóch i więcej zaburzaczy wewnątrz sfery czynnej. Rozkład poszukiwany – to superpozycja wszystkich możliwych rozkładów, a działanie atomów z zewnątrz sfery czynnej wywołuje przesunięcie całej linii.

Jak to jednak zauważa Jabłoński, analogia między wieloatomową cząsteczką „zwykłą” i cząsteczką chwilową utworzoną z atomu optycznie czynnego i zaburzaczy nie jest zupełna, o ile bowiem czas życia zwykłej cząsteczki w stanie niewzbudzonym elektronowo można uznać w praktyce za nieograniczony, a w stanie wzbudzonym za wyznaczony przez prawdopodobieństwo przejść, to dla układu rozpatrywanego jest zupełnie inaczej. Taka quasi-cząsteczka ma bardzo krótki czas życia (wyznaczony przez kolejne wejścia lub wyjścia zaburzaczy do sfery czynnej) i to staje się dodatkowym powodem rozszerzenia linii. Skończoność czasu życia quasi-cząsteczki prowadzi bowiem do „rozmycia” krzywych potencjalnych w odpowiednich stanach elektronowych.

Jabłoński pokazał jak obliczyć to rozmycie i wykazał, że dla granicznego przypadku małych ciśnień gazu zaburzającego wyrażenia jego teorii przechodzą we wzory Lorentza. W ten sposób teoria ta zniosła podział na „teorie zderzeniowe” i „teorie statystyczne” zawierając uwzględnienie różnych efektów, których wystąpienie jest uwarunkowane wartościami parametrów opisujących stan układu fizycznego. Przeprowadzone dotąd obliczenia numeryczne rozkładu natężeń na podstawie tej teorii dla linii rezonansowej rtęci i kilku linii atomów metali alkalicznych, zaburzonych przez gazy obce dały zadowalającą zgodność z wynikami doświadczalnymi.

Profesor Jabłoński ogłosił drukiem 101 prac na tematy związane ze zjawiskami luminescencji i ciśnieniowego rozszerzenia linii. Znaczenie tych prac ilustruje liczba i rozmiar cytatów z jego publikacji podawanych w licznych monografiach poświęconych zagadnieniom luminescencji i spektroskopii atomowo-molekularnej. Niektóre z tych prac miały również wpływ na badania w innych dziedzinach. Na przykład praca z roku 1931 [1], w której Jabłoński wprowadził po raz pierwszy quasi-molekularny model ciśnieniowego rozszerzenia linii, stanowiła również punkt wyjścia do opisu widm jonów lub cząsteczek domieszkowych w fazie skondensowanej. Jego słynny schemat poziomów energetycznych cząsteczki luminescującej [2] posłużył jako wskazówka do odkrycia lasera barwnikowego.

Osobowość, profesora Jabłońskiego wywierała ogromny wpływ na jego uczniów i współpracowników. Był on dla nich wzorem bezkompromisowego poszukiwania prawdy naukowej, a jednocześnie dawał przykład swą systematyczną, rzetelną codzienną pracą. Jednym z wielu owoców jego działalności było wykształcenie licznej kadry profesorów i docentów, kontynuujących badania przez niego rozpoczęte w licznych instytucjach polskich i zagranicznych. Kilka uniwersyte-

tów obdarzyło go wysoką godnością doktora honoris causa, a w roku 1964 za wybitne osiągnięcia w badaniach luminescencji (w szczególności zaś za stworzenie modelu luminescencji) została przyznana Jabłońskiemu nagroda państwowa I stopnia. Był odznaczony Krzyżem Walecznych, Złotym Krzyżem Zasługi, Krzyżem Oficerskim i Komandorskim Orderu Odrodzenia Polski.

Profesor Jabłoński był zasłużonym działaczem Polskiego Towarzystwa Fizycznego [18]. Był on założycielem Oddziału Toruńskiego PTF i jego pierwszym przewodniczącym. Przez szereg lat sprawował funkcję przewodniczącego i wiceprzewodniczącego Zarządu Głównego PTF. W uznaniu jego wielkich zasług Polskie Towarzystwo Fizyczne przyznała mu swe najwyższe wyróżnienia: członkostwo honorowe i medal Smoluchowskiego. Brał udział we wszystkich zjazdach fizyków polskich (z wyjątkiem pierwszego). Jeszcze we wrześniu 1979 roku, mimo bardzo złego stanu zdrowia, uczestniczył w większości posiedzeń XXVI Zjazdu Fizyków Polskich w Toruniu.

Poza nauką, wielką pasją życiową prof. Jabłońskiego była muzyka. Jako skrzypek odebrał wykształcenie zawodowe w tej dziedzinie oraz przez kilka lat (1921–1926) grał w orkiestrze Teatru Wielkiego w Warszawie w grupie pierwszych skrzypiec. To ogromne zamiłowanie do muzyki sprawiło, że niemal do ostatnich dni życia grywał w zespołach kameralnych. Towarzyszyła mu w jego działalności muzycznej żona – wierna towarzysząca życia.

## Literatura

Podajemy tu jedynie odnośniki do prac Profesora A. Jabłońskiego, omawianych w niniejszym artykule<sup>2</sup>.

- [1] Über die Stossverbreiterung der Spektrallinien und den Energieaustausch bei Zusammenstößen, *Z. Phys.* 70, 723 (1931).

2. Pełna bibliografia prac naukowych prof. Jabłońskiego (100 pozycji) została opublikowana w roku 1978 w okolicznościowej broszurze „Profesor Aleksander Jabłoński (w 80 rocznicę urodzin)”, wydanej przez Instytut Fizyki UMK, Toruń 26 luty 1978. Nie zawiera ona ostatniej pracy (101): „Time Dependence of the Emission Anisotropy of Fluorescence of Liquid Solutions Extded by a Short Pulse of Polarized Light”, *Bull. Acad. Pol. Sei.. Ser. Sei. Phys. Astron.* 27, 1 (1979).

- [2] Über den Mechanismus der Photolumineszenz von Farbstoffphosphoren, *Z. Phys.* 94, 38 (1935).
- [3] Zur Theorie der Polarization der Photolumineszenz von Farbstofflösungen, *Z. Phys.* 96, 236 (1935).
- [4] Thermal Rotations of Fluorescent Molecules and Duration of Luminescence, *Nature* 135, 582 (1935), (z W. Szymanowskim).
- [5] O wpływie oddziaływań międzycząsteczkowych na zjawiska absorpcji i emisji światła, *Prace Zakładu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego*, Nr 136, Warszawa 1934 (praca habilitacyjna).
- [6] Über die wellenmechanische Behandlung der Linienverbreiterung, *Acta Phys. Pol.* 6, 371 (1937); 7, 196 (1938).
- [7] Pressure Broadening of Spectral Lines, *Physica*, 6, 541 (1940).
- [8] Temperature Influence on the Pressure Broadening of Spectral Lines, *Nature* 142, 1122 (1938); 144, 594 (1938), (z H. Horodniczym).
- [9] General Theory of Pressure Broadening of Spectral Lines, *Phys. Rev.* 68, 78 (1945).
- [10] Quenching of Photoluminescence of Solutions, *Acta Phys. Pol.* 13, 175 (1954).
- [11] Self-depolarization and Decay of Photoluminescence of Solutions, *Acta Phys. Pol.* 14, 295 (1955).
- [12] Decay of Photoluminescence of Solutions, *Acta Phys. Pol.* 16, 471 (1957).
- [13] Polarization of Fluorescence of Solutions, *Acta Phys. Pol.* 26, 427 (1964).
- [14] Polarized Photoluminescence of Adsorbed Molecules of Dyes, *Nature* 133, 140 (1934).
- [15] Pressure Effects on Spectral Lines, *Acta Phys. Pol.* 23, 493 (1963).
- [16] Inclusion of the Lorentz Effect into Theories of Pressure Broadening of Spectral Lines based on the Franck-Condon Principle, *Acta Phys. Pol.* 27, 49 (1965).
- [17] On the Quasi-Molecular Treatment of Pressure Effect on Spectral Lines, *Proceedings of the International Conference on Optical Pumping and Atomic Line Shape OPaLS*, pod red. T. Skalińskiego, PWN Warszawa, 1969, str. 323.
- [18] Wspomnienia o działalności PTF, *Postępy Fizyki* 21, 321 (1970).

# W lepkiem mikroświecie: krótka lekcja pływania w miodzie

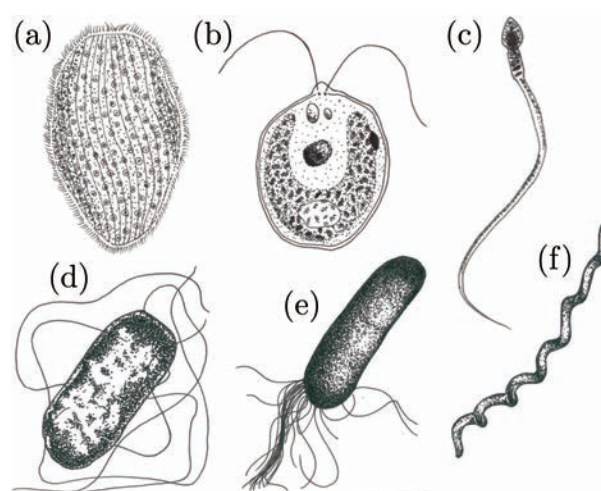
Maciej Lisicki

Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Mikroorganizmy odgrywają ważną rolę w życiu na naszej planecie. Nie tylko przeważają nad innymi stworzeniami liczebnością, ale również, odpowiadając za wiele procesów fizjologicznych, służą całemu ekosystemowi Ziemi. Odkrycie i pierwszą obserwację miniaturowych żyjątek zawdzięczamy zapewne Antoniemu van Leuwenhoekowi (1632–1723), konstruktorowi mikroskopu. Jednak przeszło dwieście lat wcześniej turecki uczyony Ak Şemsettin argumentował, że niewidoczne dla oka żywe „mikroby” są odpowiedzialne za rozprzestrzenianie się chorób, a inspiracje dla podobnych twierdzeń pojawiały się już w starożytności. Od pierwszego wejrzenia bogactwo mikroświata inspirowało wśród naukowców pytania natury biologicznej i medycznej, ale również fizycznej. Wiele uwagi poświęcono analizie ich kształtów, sposobów poruszania się i różnorodności wypełnianych przez nie nisz ekologicznych. Na Rys. 1 przedstawiamy kilka przykładów jednokomórkowych mikroorganizmów: bakterie posiadające jedno lub wiele długich wici bądź poruszające się przez periodyczne zmiany kształtu swoich komórek, algi posiadające jedną parę krótkich wici poruszających się synchronicznie oraz plemniki wytwarzające fale biegnące wzdłuż swoich ciał. Pomimo różnic morfologicznych i środowiskowych, przy rozmiarach od nano- do mikrometrów, wszystkie te organizmy poruszają się w środowisku płynnym (na przykład w wodzie), a zatem prawa hydrodynamiki nakładają uniwersalne ograniczenia na ich ruch.

Żeby zrozumieć, jak płyną ciecze w małej skali, przyjrzyjmy się prawom ich przepływu. Równania hydrodynamiki Naviera–Stokesa ulegają wówczas znacznemu uproszczeniu. Dla danych charakterystycznych parametrów ruchu i ośrodka, w którym on zachodzi, charakter przepływu określa bezwymiarowa liczba Reynoldsa, dana przez

$$\text{Re} = \frac{\rho UL}{\mu}, \quad (1)$$



Rys. 1. Kilku reprezentantów z bestiarusza pływających jednokomórkowych mikroorganizmów: (a) orzęsek *Opalina rana-rum*, (b) alga *Chlamydomonas reinhardtii*, (c) plemnik ludzki, (d) bakteria (pałeczka okrężnicy) *Escherichia coli*, (e) bakteria *Halobacterium*, (f) bakteria (krętek) *Borrelia burgdorferi*. Skala rysunku nie jest zachowana, ale żaden z organizmów nie przekracza rozmiarów 10  $\mu\text{m}$ . Rys. M. F. Velho-Rodrigues

gdzie  $U$  i  $L$  są typową prędkością i rozmiarem obiektu poruszającego się w płynie,  $\rho$  jest gęstością ośrodka, zaś  $\mu$  jest jego lepkością dynamiczną. Liczba ta jest jednocześnie miarą względnej wielkości sił bezwładności  $f_b \sim \rho U^2 L^2$  (czyli wielkości nieliniowych członów adwekcyjnych) do sił lepkich  $f_\mu \sim \mu UL$  w równaniach hydrodynamiki Naviera–Stokesa,  $\text{Re} = f_b/f_\mu$ . Mała liczba Reynoldsa oznacza zatem, że efekty lepkie dominują nad zanedbywalnymi efektami bezwładności płynu. Elegancką alternatywną interpretację liczby Reynoldsa podał E. M. Purcell [1]: zauważmy, że wielkość  $\mathcal{F} = \mu^2/\rho$  ma wymiar siły i łatwo wyprowadzić relacje  $\text{Re} = (f_b/\mathcal{F})^{1/2} = f_\mu/\mathcal{F}$ . Liczba Reynoldsa równa jedności odpowiada zatem  $f_b = f_\mu = \mathcal{F}$ , niezależnie od wielkości ciała, na które działają siły. Na ciało poruszające się w przepływie o niskiej liczbie Reynoldsa działają zatem siły rzędu  $\mathcal{F}$ , które dla wody wynosi

$\mathcal{F} \approx 1$  nN. A jakie są liczby Reynoldsa dla pływających mikroorganizmów? Bakteria *E. coli* z Rys. 1(d) o rozmiarach  $L \approx 1 - 10 \mu\text{m}$  i prędkości  $U \approx 10 \mu\text{m/s}$  w wodzie ( $\rho \approx 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu \approx 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) ma liczbę Reynoldsa  $Re \approx 10^{-5} - 10^{-4}$ . Ludzki plemnik z Rys. 1(c) z  $U \approx 200 \mu\text{m/s}$  i  $L \approx 50 \mu\text{m}$  porusza się z  $Re \approx 10^{-2}$ . Większe organizmy jednokomórkowe, takie jak algi, mogą osiągać  $Re$  rzędu 0.1. We wszystkich tych przypadkach możemy zatem badać ich dynamikę przyjmując  $Re = 0$ , a zatem zupełnie zaniedbując obecność sił bezwładności. Ogromną zaletą tego podejścia jest liniowość uzyskanych równań lepkiej hydrodynamiki, nazywanych równaniami Stokesa

$$\nabla p = \mu \nabla^2 \mathbf{v}, \quad \nabla \cdot \mathbf{v} = 0, \quad (2)$$

i wypisanych powyżej dla cieczy nieściśliwej. Patrząc na równania hydrodynamiki w oderwaniu od konkretnego układu fizycznego dojdziemy do wniosku, że przepływy o takiej samej liczbie Reynoldsa mają taki sam charakter. Małe liczby Reynoldsa w kontekście mikroorganizmów wynikają z ich niewielkich rozmiarów i prędkości. Zauważmy jednak, że podobną wartość  $Re$  otrzymalibyśmy rozważając ruch bardzo lepkiej cieczy. Okazuje się, że doskonałym przykładem takiej cieczy są np. lodowce, które niezwykle powoli spływają z górskich dolin. Można się o tym przekonać obserwując ruch kamieni, chorągiewek lub czujników GPS umieszczonych na ich powierzchniach. Typowe skale prędkości ich ruchu to dziesiątki bądź setki metrów na rok, ale przy ogromnej lepkości  $\mu \sim 10^{13} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  liczba Reynoldsa pozostaje zaniedbywalna, nawet pomimo gwałtownego przyspieszenia tempa ich topnienia spowodowanego zmianami klimatu [4]. Zauważmy jednak, że jeśli mamy do czynienia ze znacznie mniej lepką cieczą w mniejszych skalach przestrzennych, również możemy otrzymać te same wartości  $Re$ . Nasuwa się zatem myśl, że możemy badać zachowanie bardzo małych mikrobów i orgonnych lodowców w laboratorium przy pomocy... miodu. Przy lepkości rzędu  $\mu \sim 10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , na skalach laboratoryjnych ( $L \sim 1 \text{ cm}$ ,  $U \sim \text{mm/s}$ ), nadal pozostajemy w sferze przepływów lepkich, a jednocześnie możemy zajrzeć w głąb dynamiki znacznie trudniejszych do bezpośredniego badania struktur. Należy oczywiście pamiętać, że w zależności od skali inne znaczenie będą miały np. efekty powierzchniowe, ale można zaplanować eksperymenty, które doskonale unaoczniają nam prawa ruchu lepkich cieczy, stosowalne z powodzeniem np. do badania oddziaływania pól lodowych Antarktydy nasuwających się na powierzchnię Oceanu Arktycznego [3].

Liniowość równań (2) ma ważne konsekwencje dla ruchu mikroobiektów w płynach. Jednym z klasycz-

nych wyników w ramach teorii przepływów lepkich, uzyskanych przez G. G. Stokesa w 1855 r., jest siła oporu  $F$  działająca na kulę o promieniu  $a$  poruszającą się z prędkością  $U$ , dana przez

$$F = -6\pi\mu aU. \quad (3)$$

Jest ona oczywiście skierowana przeciwnie do prędkości. Jeśli zatem chcemy, żeby ciało w lepkim płynie poruszało się ze stałą prędkością, musimy na nie działać stałą siłą. Jeśli tej siły zabraknie, ciało zatrzyma się niemal natychmiast, zgodnie zresztą z intuicją o braku bezwładności. W tym aspekcie w lepkiem mikroświecie obowiązują prawa dynamiki Arystotelesa, który wiązał siłę właśnie z prędkością poruszającego się ciała. Płynię z tego jeszcze jeden wniosek – własność nazywana kinematyczną odwracalnością przepływów. Mówi ona, że jeśli odwrócimy kierunek sił działających na układ, kierunek prędkości ulegnie odwróceniu i układ odtworzy swoją trajektorię „wstecz” w czasie. Efekt ten można widowiskowo zademonstrować eksperymentalnie, jak pokazał w 1966 G. I. Taylor w pięknym filmie dla amerykańskiego National Committee for Fluid Mechanics Films ([5], dostępny również w serwisie YouTube). Eksperyment ten został szczegółowo opisany w *Postęпах Fizyki* w 2008 roku [8] i powtórzony w ramach 14. Pikniku Naukowego w 2010 r. Taylor pokazał również na przykładzie mechanicznej ryby, zanurzonej w miodzie i machającej ogonem na boki, że odwracalne w czasie (periodyczne) proste ruchy nie pozwalają na pływanie w lepkiej cieczy. Podobny mechaniczny pływak wyposażony w „ogonek” w kształcie korkociągu poradził sobie znacznie lepiej. W czym zatem tkwi sekret ruchu bakteryjnych wici?

Konsekwencją braku bezwładności, powiązaną ze wspomnianym wyżej światem Arystotelesa, jest zmieniowana forma praw dynamiki Newtona. Ze względu na natychmiastowe reakcje płynu na zmiany sił, w każdej chwili czasu suma sił zewnętrznych  $F_e$  i sił oporu hydrodynamicznego  $F_h$  działających na ciało zanurzone w bardzo lepkiej cieczy jest równa zeru. Podobne prawo można sformułować dla momentów sił tarcia  $T_h$  i zewnętrznych momentów siły  $T_e$ . Prawa Newtona przyjmują zatem postać:

$$F_h + F_e = 0, \quad (4)$$

$$T_h + T_e = 0. \quad (5)$$

Siły zewnętrzne mogą pochodzić od zewnętrznych pól (elektrycznego, magnetycznego, bądź grawitacyjnego), ale również mogą być lokalnie wytwarzane przez same mikroorganizmy. W tej sytuacji bilans wewnętrznych sił napędowych i ich momentów oraz sił oporu hydrodynamicznego (proporcjonalnych



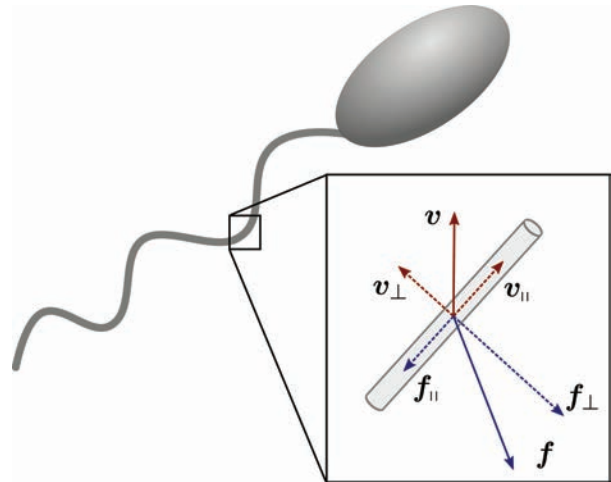
do prędkości) prowadzi do ustalenia prędkości ich pływania.

Wiele mikroorganizmów, takich jak bakterie czy plemniki, ma ciała o kształcie wydłużonym wzdłuż osi wyznaczającej kierunek ich ruchu. Mówiąc bardzo ogólnie, składają się one z pasywnej główki oraz jednego lub wielu cienkich włókien (wici), które wykonują ruch, na skutek którego organizm się porusza. Eukarioty (posiadające jądro komórkowe), takie jak plemniki czy algi, napędzane są przez aktywne deformacje ich wici w postaci fal biegnących, wytwarzane na całej ich długości. Organizmy prokariotyczne, na przykład bakterie, wyposażone są w pasywne włókna, które nie mogą aktywnie się wyginać, ale są wprowadzane w ruch obrotowy przez mortory molekularne umieszczone u ich podstawy na powierzchni komórki. Podobnie jak łożysko kulkowe, pozwalają one na obrót całego włókna w żądanym kierunku. Ponieważ na bakterię jako całość nie może działać wypadkowy moment siły, szybki obrót wici równoważony jest przez wolny obrót głowy bakterii w przeciwnym kierunku.

Niezależnie od molekularnego mechanizmu ruchu wici, pływanie mikroorganizmów jest możliwe dzięki anizotropii sił oporu hydrodynamicznego działających na wić. Poniżej wyjaśnimy intuicyjnie, na czym polega mechanizm napędowy oparty na siłach oporu. Rozważmy bakterię z pojedynczą wicią, jak na Rys. 2. Ze względu na ruch obrotowy silnika molekularnego u podstawy wici, porusza się ona względem płynu z prędkością  $v(s)$ , gdzie  $s$  jest lokalną współrzędną wzdłuż wici. Dla asymptotycznie cienkich włókien lokalna siła oporu hydrodynamicznego na jednostkę długości jest dana (lokalnie) w każdym punkcie wici przez liniową (oczywiście!) relację

$$\mathbf{f} = -\zeta_{\parallel}\mathbf{v}_{\parallel} - \zeta_{\perp}\mathbf{v}_{\perp}, \quad (6)$$

gdzie  $\mathbf{v}_{\parallel}$  i  $\mathbf{v}_{\perp}$  są składowymi prędkości, odpowiednio, równoległą i prostopadłą do wici w rozważanym punkcie; współczynniki  $\zeta_{\parallel}$  i  $\zeta_{\perp}$  określają siłę oporu (dla cienkich włókien  $\zeta_{\perp}/\zeta_{\parallel} \approx 2$ ). Ze względu na lokalną różnicę pomiędzy siłą oporu działającą na wić w kierunku prostopadłym i równoległym do kierunku stycznej do jej osi, na skutek ruchu wici względem otaczającego płynu generowana jest siła, której niezrównoważona składowa w kierunku osi mikropływaka jest siłą napędową w bilansie (4). Siła ta jest proporcjonalna do anizotropii hydrodynamicznej wici, danej przez  $(\zeta_{\parallel} - \zeta_{\perp})$  [6]. W każdej chwili czasu siła „napędowa” jest równoważona przez sumę sił oporu działających na wić i na główkę bakterii, zaś równowaga ta wyznacza całkowitą prędkość pływania organizmu  $U$ .



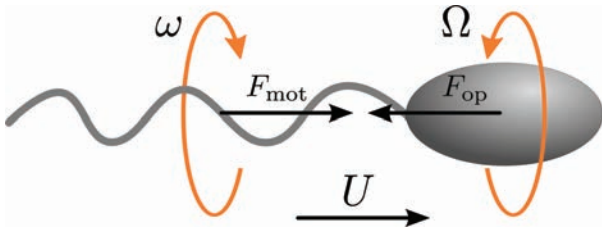
Rys. 2. Mechanizm napędowy oparty na anizotropii sił oporu hydrodynamicznego. Siła oporu działająca na cienkie włókno poruszające się z (lokalną) prędkością  $v$  względem płynu jest większa w kierunku prostopadłym do jego osi, niż w kierunku równoległym, a zatem wypadkowa siła oporu  $f$  ma składową w kierunku ruchu organizmu i prostopadłą do lokalnego kierunku prędkości (szczegóły oznaczeń w tekście)

Spróbujmy zatem skonstruować uproszczony model matematyczny bakterii, składającej się ze sferycznej główki oraz jednej spiralnej wici, podobnej do korkociągu. Pomińmy na razie fakt, że w rzeczywistości wici posiadają pewną elastyczność. Gdybyśmy rozważyli jedynie helisę (a właściwie jedynie jej ruch wzdłuż własnej osi), którą moglibyśmy obracać zadaną prędkością kątową  $\omega$  i poruszać z prędkością  $v$ , oraz mogliśmy zmierzyć działające wówczas na nią siłę  $F$  i moment siły oporu hydrodynamicznego  $T$ , ze względu na liniowość praw mikrohydrodynamiki możemy powiązać je poprzez pewną symetryczną macierz

$$\begin{pmatrix} F \\ T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ B & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix}, \quad (7)$$

nazywaną macierzą oporu. Podobnie możemy wprowadzić macierz oporu dla główki bakterii. Ze względu na symetrię osiową główki, wyrazy sprzęgające ruch postępowy i obrotowy znikają ( $B_0 = 0$ ) i ma ona strukturę diagonalną (dla kulistej główki o promieniu  $a$  mieliśmy  $A_0 = 6\pi\mu a$  i  $D_0 = 8\pi\mu a^3$ ). Główna obraca się z prędkością kątową  $\Omega$  wyznaczoną przez warunek znikania całkowitego momentu siły (5). Zakładamy przy tym, że obecność główki nie zmienia sił oporu hydrodynamicznego działających na wić.

Chwilę uwagi musimy poświęcić konwencji wyboru kierunków na naszym rysunku. Załóżmy, że helikalna wić jest prawoskrętna, a zatem jej obrót z prędkością kątową  $\omega > 0$  prowadzić będzie do ruchu w prawo z  $U > 0$ . Przy takim wyborze elementy macierzowe



Rys. 3. Bakteria porusza się z prędkością  $U$  w płynie w wyniku równowagi sił napędowych  $F_{\text{mot}}$  pochodzących od rotacji wici z prędkością kątową  $\omega$  i sił oporu hydrodynamicznego  $F_{\text{op}}$ . Ze względu na warunek równowagi momentów sił, główka bakterii obraca się z prędkością kątową  $\Omega$  przeciwnie do kierunku obrotu wici

będą ujemne:  $B < 0$ , podobnie jak kierunek obrotu główki bakterii  $\Omega < 0$ .

Siła napędowa pochodząca od obracającej się wici,  $F_{\text{mot}}$ , równoważy siłę oporu hydrodynamicznego  $F_{\text{op}}$  działającego na główkę

$$F_{\text{op}} = A_0 U. \quad (8)$$

Przy tym wyborze znaków, bilans sił i momentów sił przyjmuje postać

$$A_0 U = -AU - B\omega, \quad (9)$$

$$D_0 \Omega = -BU - D\omega, \quad (10)$$

skąd łatwo znajdujemy prędkość pływania jako

$$U = -\frac{B}{A + A_0} \omega. \quad (11)$$

A zatem bez sprzężenia ruchu translacyjnego i rotacyjnego wici ( $B \neq 0$ ) pływanie jest niemożliwe. Prędkość jest wyznaczona przez sprzężenie ruchu translacyjnego i rotacyjnego wici i opór hydrodynamiczny główki (ponieważ typowo  $A_0 \gg A$ ). Z warunku znikania momentów sił znaleźć możemy również prędkość kątową główki  $\Omega$ . Zdefiniujemy jeszcze prędkość kątową bakteryjnego motoru,  $\Omega_m = \omega - \Omega$ , będącą względną prędkością wici wokół stacjonarnej z jej punktu widzenia komórki. Wówczas możemy jeszcze znaleźć związek

$$U = -\frac{BD_0}{(A_0 + A)(C_0 + C) - B^2} \Omega_m. \quad (12)$$

Prędkość pływania bakterii jest zatem proporcjonalna do prędkości kątowej „wirnika”, który wprawia w ruch wic. Opierając się na tych relacjach, można skonstruować wielkości charakteryzujące moc silnika i moc dysypowaną na pływanie by stwierdzić, że efektywność

zamiany pracy na energię ruchu jest bardzo niewielka, nie przekraczająca kilku procent [2].

W rzeczywistości nawet ruch bakterii jest znacznie bardziej złożony. Wici posiadają pewną elastyczność, a zatem niezupełnie podlegają ograniczeniom nakładanym na nie przez kinematyczną odwracalność przepływów. Ponadto wiele bakterii posiada kilka wici, które podczas pływania splatają w jedną wiązkę, zaś zmiana kierunku pływania polega na jej rozpleceniu w przypadkowy sposób (tzw. *run-and-tumble*) [6]. To zresztą tylko jeden z możliwych scenariuszy, do których dochodzą jeszcze zmiany kształtu ciała i tempa rotacji poszczególnych wici. Natura wyposaża bakterie i inne pływające mikroorganizmy w wielkie bogactwo technik poruszania się. Nie sposób nawet wspomnieć ich wszystkich w tak krótkim podsumowaniu, jednak ze względu na fundamentalne ograniczenia związane z lepkiem charakterem przepływu i niską liczbą Reynoldsa, proste modele dynamiczne pozwalają zrozumieć podstawowe reguły rządzące płynnym mikroświatem. Kiedy myślimy o pływaniu mikroskopijnych organizmów, analogie o basenie pełnym miodu mogą być niezwykle użytecznym narzędziem wizualizacji i pomóc zrozumieć obserwowane w ich ruchu zjawiska. Poza tym, w odróżnieniu od eksperymentów chemicznych, zabawy z miodem mogą okazać się nie tylko pożyteczne, ale i smaczne!

**Podziękowanie.** Autor dziękuje Marcosowi Velho-Rodriguesowi za udzielenie rysunków pływających mikroorganizmów

## Literatura

- [1] E. M. Purcell, *Life at low Reynolds number*, Am. J. Phys. 45, 3 (1977).
- [2] E. M. Purcell, *The efficiency of propulsion by a rotating flagellum*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 94, 11307–11311 (1997).
- [3] M. G. Worster, *Dynamics of Marine Ice Sheets*, Procedia IUTAM 10, 263 (2014).
- [4] National Snow & Ice Data Center, <https://nsidc.org/glisms/glaciermelt>
- [5] G. I. Taylor, *Low Reynolds numbers flows*, National Committee for Fluid Mechanics Films, <http://web.mit.edu/hml/ncfmf.html>
- [6] E. Lauga, *Bacterial hydrodynamics*, Annu. Rev. Fluid Mech. 48, 105 (2016).
- [7] E. Lauga, T. J. Powers, *The hydrodynamics of swimming microorganisms*, Rep. Prog. Phys. 72, 096601 (2009).
- [8] A. Myłyk, M. L. Ekiel-Jeżewska, *Odwracalność mikroprzepływów*, Postępy Fizyki 59, 238 (2008).

---

# Iskrzenie

Andrzej Mencwel

Instytut Kultury Polskiej. Wydział Polonistyki Uniwersytetu Warszawskiego

Michała Nawrockiego poznałem bliżej podczas tego wielkiego zawirowania, jakie przechodziliśmy na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych zeszłego już wieku. Wszystko się wtedy zbiegało – w skali wielkiego przełomu historycznego i poszczególnych środowisk naukowych. Gdzie się naprawdę zbliżyliśmy, tego nie potrafię teraz rozsupłać, bo wszystko wówczas się zawężyło: Towarzystwo Krzewienia i Popierania Nauk, Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej, warszawski Festiwal Nauki i różne szczeble władz uniwersyteckich (od katedr poprzez wydziały po senat). Często spotykaliśmy się osobiście i współdziałaliśmy, coraz lepiej się rozumiejąc. Ale różnice też dawały o sobie znać, i to przy różnych okazjach. Michał był fizykiem z humanistycznym czytaniem, dlatego lubił sobie żartować z polonisty, a ja mu też nie pozostawałem dłużny i drwiłem sobie ze scjentyzmu. Z obu naszych stron nie były to jednak złośliwości, lecz oznaki prawdziwego zainteresowania. Michał czytał literaturę piękną i lubił o niej rozmawiać, a mnie zajmował status poznawczy twierdzeń naukowych.

Choć ja byłem starszy wiekiem, to Michał przewyższał mnie doświadczeniem społecznym. Był jednym z liderów uniwersyteckiej „Solidarności”, działał w podziemnych strukturach akademickich, a kiedy

przyszła do niego chwila przełomu, wiedział, co i jak robić. Na mnie ciążył pewien dziedzinowy partykularyzm i początkowo rozumowałem raczej w kategoriach interesów instytutowych, czy wydziałowych, podczas gdy Michał czuł się odpowiedzialny za cały uniwersytet i miejsce nauki w Polsce. Nie wiem, czym to tłumaczyć, ale humaniści w naszej uczelni są cokolwiek drugorzędni, czego poświadczeniem jest to, że rektorzy UW, od dwóch przynajmniej pokoleń, wywodzą się z nauk ścisłych. Co do mnie, można powiedzieć, że wzrastałem przy Michale, a zgraliśmy się najbardziej przy przenosinach biblioteki uniwersyteckiej do nowego gmachu na Dobrej. Michał był wtedy odpowiedzialnym prorektorem, a ja przewodniczyłem senackiej komisji bibliotecznej. Mogę też powiedzieć, że Instytut Kultury Polskiej, dzięki Niemu znalazł swoją siedzibę w tzw. szpitalu św. Rocha. Najdłużej, bo przez jakieś piętnaście lat, spotykaliśmy się w Radzie Programowej Festiwalu Nauki i zwykle siadaliśmy tak, aby widzieć się nawzajem. Wydaje mi się teraz, że oczami mówiliśmy do siebie więcej niż słowami, chociaż nie należeliśmy do milczków. Czasem w tych oczach iskrzyło i to również składa się na tę dobrą pamięć, którą o Nim zachowuję. Wieścią o Jego nagłym i niespodziewanym odejściu poczułem się osobiście ugodzony i z trudem przyjmuję ją nadal.

---

# Wspomnienie o profesorze Michale Nawrockim

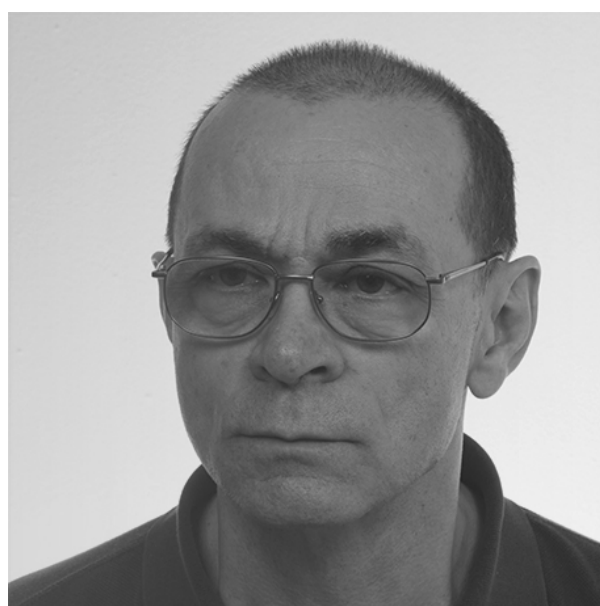
Jan Suffczyński

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Moje wspomnienie o zmarłym rok temu, w maju 2018 roku profesorze Michale Nawrockim piszę z perspektywy Jego późnego ucznia. Większa część mojej drogi naukowej związana była z osobą prof. Nawrockiego – pod Jego kierunkiem zrealizowałem pracę magisterską i doktorską, a w ostatnich latach współpracowaliśmy, opiekując się studentami. Niniejsze wspomnienie nie aspiruje do roli noty biograficznej, a jest raczej spojrzeniem na osobę Profesora z perspektywy drogi, którą wspólnie szliśmy.

Prof. Nawrockiego poznałem dwie dekady temu, będąc na trzecim lub czwartym roku studiów na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Z Uniwersytetem i z Wydziałem był On związany przez całe swoje naukowe życie. W tamtym czasie prof. Nawrocki był już uznanym autorytetem w dziedzinie badań nad własnościami optycznymi półprzewodników. Najbardziej znane i cytowane są Jego prace poświęcone badaniom magnetooptycznym półprzewodników półmagnetycznych (czyli takich półprzewodników, w których niewielka część kationów podstawiona została jonami o nieznikającym momencie spinowym), takich jak np. kryształy CdSe, CdS lub CdTe domieszkowane manganem. Wiele z tych prac zostało opublikowanych wspólnie z prof. Janem Gajem, a także fizykami francuskimi – prof. Richardem Planelem z Paryża lub prof. Denim Scalbertem z Montpellier, dokąd po pracy w ciągu roku akademickiego w Warszawie, prof. Nawrocki wyjeżdżał każdego roku w lipcu na pomiary.

Tematyka badawcza, którą na przestrzeni lat wspólnie zajmowaliśmy się z prof. Nawrockim, obejmowała dość szerokie spektrum kierunków. Były to, by wymienić najważniejsze z nich, tunelowanie ekscytonów między studniami kwantowymi, emisja pojedynczych fotonów z kropek kwantowych, właściwości ZnO domieszkowanego żelazem, a także efekty polarytonowe w mikronękach z półprzewodników II-VI. W swojej pracy



badawczej prof. Nawrocki wykazywał dużą otwartość na nowe pomysły. Cechowała Go także bardzo duża precyzja myślenia.

Do prof. Nawrockiego przyciągnęła mnie jednak, poza interesującą tematyką badawczą, którą się zajmował, sama Jego osobowość. Zawsze podziwiałem jasność spojrzenia i wyrazistość oglądu rzeczywistości, a także męstwo etyczne, którym kierował się w swoich wyborach moralnych. Cechy te prowadziły często do ostrych, formułowanych w sposób stanowczy, sądów. Zawsze gotowy do wejścia w dyskusję, prof. Nawrocki potrafił wyrażać swoje opinie bez ogródek, nie wahał się konfrontacji. Jak mówił zmarły w tym samym, 2018 roku nieodżałowany prof. Marian Grynberg: „Michał należy do tych, którzy, jeśli potrzeba, nie boją się wstać na zebraniu i powiedzieć: «nie ma Pan racji, Pani Profesorze»”. Miałem uznanie dla szerokości i dystansu spojrzenia, które cechowały prof. Nawrockiego. Chyba właśnie z tego dystansu wynikało jego ostre, często ironiczne, wyczulone na absurd, poczucie humoru.

Imponował mi solidarnościowy rodowód prof. Nawrockiego, a także Jego zaangażowanie społeczne po przełomie 89 roku. Nie manifestował się swoim zaangażowaniem w działalność w ramach opozycji antykomunistycznej w okresie PRL. Pamięć o solidarnościowych czasach odświeżał jednak niekiedy w opowiadanych przez siebie migawkowo, choć ze szczegółami historiach. Należała do nich np. ta o działalności w Społecznym Komitecie Nauki, czyli organizowanym w ramach podziemnej Solidarności rozbudowanym systemie przyznawania grantów naukowych badaczom z różnych dziedzin, działającym podobnie jak dzisiejsze Narodowe Centrum Nauki. Inna tego typu historia wiązała się z (zakończoną jednoznacznym sukcesem) obroną statutu Uniwersytetu Warszawskiego przed zmianami istotnie ograniczającymi autonomię uczelni na przełomie lat 70 i 80.

Nieraz zastanawiałem się, jak udaje się prof. Nawrockiemu łączyć tyle różnych aktywności na uczelni i poza nią, by wspomnieć choćby przewodniczenie Radzie Naukowej Instytutu Fizyki Doświadczalnej i pełnienie roli kierownika Zakładu Fizyki Ciała Stałego na Wydziale Fizyki UW przy jednoczesnym członkostwie i zaangażowaniu w działalność w ramach Komitetu Helsińskiego, Komitetu Naukoznawstwa PAN, Rady Programowej Festiwalu Nauki, Komitetu Programowym miesięcznika «Delta», Towarzystwa Nauko-

wego Warszawskiego i Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Sądzę, że decydowała o tym konsekwencja i zdecydowanie w działaniu, które cechowały prof. Nawrockiego, a także to, że do postawionego celu dążył w sposób uporządkowany i zdyscyplinowany, dbając o dobrą organizację pracy. Prof. Nawrocki umiał przy tym delegować zadania i nie wahał się powierzać odpowiedzialności swoim współpracownikom. Z tym łączyło się zaufanie, którym obdarzał tych, którym zdecydował się tę odpowiedzialność powierzyć. Studenci i młodszy współpracownicy bardzo cenili sobie to zaufanie i fakt, że, choć sporo młodszy, byli traktowani poważnie przez Profesora. Jednocześnie sami często polegałszy na Jego zdaniu i ufaliśmy Jego opinii.

Warto podkreślić, że prof. Nawrocki zachęcał nas nie tylko do brania na siebie odpowiedzialności, ale także do angażowania się w imię szeroko pojętego dobra wspólnego – zarówno w świecie akademickim, jak i poza nim. Patrząc z pewnej perspektywy, oceniam, że był to rodzaj działania wychowawczego, nastawionego na rozwój Jego młodszych współpracowników.

W osobie prof. Nawrockiego odszedł nasz Mistrz nie tylko w domenę nauki, ale także Przewodnik w świecie wartości i spraw ludzkich. Brakuje nam i będzie brakowało Jego rady, wyważonej opinii i wyjątkowego poczucia humoru.

#### NOMINACJE PROFESORSKIE W 2018 ROKU

- 7 III – Jan Nowiński (Politechnika Warszawska)
- 7 III – Anna Perelomova (Politechnika Gdańska)
- 14 III – Franciszek Krok (Uniwersytet Jagielloński w Krakowie)
- 14 III – Andrzej Wawro (Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie)
- 21 VI – Paweł Bilski (Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN w Krakowie)
- 21 VI – Roman Ciuryło (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu)
- 21 VI – Boudewijn Roukema (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu)
- 3 X – Bogusław Tomanek (Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN w Krakowie)
- 18 X – Grzegorz Sęk (Politechnika Wrocławska)
- 14 XI – Mikhail Brik (Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie)
- 14 XI – Robert Kudrawiec (Politechnika Wrocławska)

Źródło: [www.prezydent.pl](http://www.prezydent.pl)

# 50-ta rocznica śmierci Profesora Henryka Niewodniczańskiego

Małgorzata Nowina-Konopka

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Zegnając ważnego człowieka na końcu jego nekrologu ludzie zwykle piszą: na zawsze pozostanie w naszych sercach i w naszej pamięci. „Na zawsze”, a niekiedy już w ciągu roku brakuje czasu czy uwagi, by tę obietnicę spełnić.

Profesora Henryka Niewodniczańskiego najwierniej zachowali w sercach jego uczniowie i pierwsi następcy. Świadczy o tym utrzymanie rodzinnego klimatu i wielki entuzjizm dla badań naukowych w jednostkach naukowych, którymi kierowali. Świadczą też uroczyste obchody kolejne rocznice Jego śmierci. Barwne opowiadania o fascynującej indywidualności Profesora: naukowca, mistrza i człowieka miały na celu przybliżenie Jego postaci następnym generacjom, by i dla nich stał się wzorem i drogowskazem.

Czas płynie nieubłaganie. Najbliżsi współpracownicy Profesora w większości już są po tamtej stronie życia. Dziś fizyką krakowską steruje pokolenie prawnuków naukowych Profesora. Atmosfera panująca niegdyś w utworzonym przez Profesora Instytucie Fizyki Jądrowej oraz Uniwersyteckim Instytucie Fizyki to już baśń z dawno minionych czasów. Ale popiersia, portrety i fotografie Profesora, nagrody Jego imienia, wykazy najważniejszych osiągnięć naukowych wskazują, że był uczonym wielkiego formatu: twórcą Instytutu Fizyki Jądrowej, dyrektorem Instytutu Fizyki UJ, prorektorem Uniwersytetu Jagiellońskiego, należał do plejady najwybitniejszych polskich fizyków.

Pięćdziesiątą rocznicę śmierci Profesora obchodzono w dwóch etapach. Chronologicznie wcześniej, bo już 13 grudnia 2018 odbyło się Organizowane przez Oddział Krakowski Polskiego Towarzystwa Fizycznego na III Kampusie UJ, Konwersatorium Fizyczne całkowicie poświęcone pamięci Profesora. Tuż przed nim dyrektorzy Instytutu Fizyki UJ prof. Roman Płaneta, dr hab. Paweł Góra i dr hab. Monika Marzec, w asyście licznie zgromadzonych gości, złożyli kwiaty pod popiersiem Profesora Henryka Niewodniczańskiego na II piętrze segmentu A.



Fot. 1. Dyrektorzy IF UJ prof. Roman Płaneta i dr hab. Paweł Moskal składają kwiaty pod popiersiem Profesora (fot. Krzysztof Magda)

Otwierając konwersatorium prezes OK PTF prof. Józef Spałek powitał licznie zebranych gości: przedstawicieli rodziny Profesora Henryka Niewodniczańskiego – córkę dr Justynę Blinowską, syna prof. Jerzego Niewodniczańskiego z córką Katarzyną Janicką i wnukiem Łukaszem Osuchowskim. Powitał dyrektorów Instytutu Fizyki Jądrowej PAN, aktywnych i emerytowanych Profesorów UJ, IFJ, AGH, Prezesa Polskiej Akademii Umiejętności prof. Białasa i wszystkich dostojnych gości, którzy tak licznie przybyli na tę uroczystość wypełniając po brzegi amfiteatralne audytorium. Liczba obecnych osiągnęła blisko 130 osób.

Pierwszym punktem programu uroczystości było wręczenie Nagrody imienia Henryka Niewodniczańskiego ustanowionej przez Radę Naukową IF UJ w 1978 r. dla najlepszego absolwenta fizyki UJ. Nagrodę przyznawano w drodze konkursu, co 3–5 lat. W 2018 r. rozstrzygnięto konkurs po raz dwunasty. Laureatką została dr hab. Karolina Adrjanowicz z Uniwersytetu Śląskiego. Dziękując za wyróżnienie dr hab. Adrjanowicz powiedziała, że jest dumna bo otrzymała tę nagrodę jako pierwsza kobieta.



Fot. 2. Wręczenie nagrody (fot. Krzysztof Magda)



Fot. 4. Rodzina Profesora HN (fot. Krzysztof Magda)

Główną częścią uroczystości był oczywiście wykład: „O Profesorze Henryku Niewodniczańskim w 50-tą rocznicę śmierci” wygłoszony przez prof. Krzysztofa Królasa (IF UJ). Na podstawie archiwalnych dokumentów, starych zdjęć i wspomnień przedstawił postać profesora Henryka Niewodniczańskiego, o którym jego uczniowie mówili: człowiek niezwykły, barwna postać, przyjaciel studentów, obywatel świata oraz budowniczy i organizator fizyki w Krakowie. Referat zawierał też osobiste wspomnienia profesora Królasa, kiedy jako student – starosta roku, kontaktował się z Profesorem zanosząc mu indeksy do podpisu itp.

Referat uzupełnił prof. Jerzy Niewodniczański informując, że luka w życiorysie Ojca pomiędzy maturą a rozpoczęciem studiów była spowodowana udziałem Profesora w I wojnie światowej. Napisał o tym w opracowaniu, które przekazał do biblioteki.

Swoimi wspomnieniami podzielił się jeden z najstarszych obecnie fizyków krakowskich prof. Lucjan Jarczyk (IF UJ). Podziwiał ogromny szacunek okazywany mu jako studentowi przez wielkiego Profesora, który umawiał z nim termin egzaminu, potrafił



Fot. 5. Prof. Krzysztof Królas głoszący referat (fot. Krzysztof Magda)

przeprzeć za zmianę tego terminu, a gdy już był wolny, w środku nocy zapytać czy egzamin jest wtedy możliwy.

Jako przedstawiciel ostatniego rocznika studentów, z którymi Profesor Niewodniczański prowadził zajęcia, wystąpił prof. Bogusław Kamys (IF UJ).



Fot. 3. Prof Jerzy Niewodniczański witany przez prezesa OK PTF (fot. Krzysztof Magda)



Fot. 6. Prof. Bogusław Kamys wspomina Prof. H.N. (fot. Krzysztof Magda)



Fot. 7. Wspominający prof. Lucjan Jarczyk  
(fot. Krzysztof Magda)

Wspominał: „Profesor zdawał sobie sprawę z dystansu odczuwanego przez studentów i dlatego w rozmowie z nami chętnie używał zwrotu «panie kulego» co wraz z lekkim uśmiechem, który często błędził pod Jego wąsem pomagało ocieplić wzajemne relacje. (...) Przykładał dużą wagę do szczegółów więc zwykle na wykład przynosił kilka lub kilkanaście książek lub czasopism naukowych, z których miał zamiar wyświetlać rysunki. Czasami to zamiłowanie do szczegółów odbijało się negatywnie na płynności wykładu. W chwili gdy Profesor to zauważał natychmiast zmieniał suchy wykład w opowieść na zadany temat. Był wspaniałym gawędziarzem.”

Wiele ciepłych słów o Profesorze powiedział dr Tadeusz Waluga (IFJ), niestety był słabo słyszalny. W końcu dyskusja przeniosła się na „głosy z sali”. Z sentymentem wspomniano różne epizody ze spotkań z Profesorem Niewodniczańskim, a jedyną zabawną historyjkę opowiedział prof. Rafał Broda (IFJ PAN).

Ostatnim punktem programu uroczystości było otwarcie wystawy pt. „Henryk Niewodniczański, Krakowski Fizyk z Wilna”. Pani mgr Maria Pawłowska, kierowniczka biblioteki, opowiedziała jak doszło



Fot. 8. W kularach: prof. Andrzej Kisiel, mgr Maria Pawłowska,  
dr Barbara Warczak (fot. Krzysztof Magda)

do zorganizowania przez nią tej wystawy, co udało się na niej zgromadzić i zaprosiła zebranych do zwiedzania. Przybyli goście podziwiali zbiory przy kawie i ciasteczkach ciesząc się z okazji spotkania wymieniali już kameralnie własne wspomnienia z dawnych lat.

W tydzień później 20-go grudnia czyli dokładnie w dniu rocznicy śmierci dyrektorzy Instytutu Fizyki Jądrowej profesorowie Marek Jeżabek i Tadeusz Lesiak wraz z Romanem Płanetą (IF UJ) złożyli kwiaty na grobie Profesora Henryka Niewodniczańskiego na cmentarzu Rakowickim. Było to wczesnym rankiem, bo już o 10-tej w auli bronowickiego instytutu rozpoczęło się uroczyste seminarium poświęcone pamięci Profesora.

Podobnie, jak poprzednio rozpoczęto od wręczenia Nagrody Naukowej im. Henryka Niewodniczańskiego. Ustanowiona w 1996 roku Nagroda przyznawana jest co roku młodemu uczonemu, pracownikom Instytutu i uczestnikom Międzynarodowego Studium Doktoranckiego IFJ PAN za wybitne i twórcze prace naukowe opublikowane w ostatnich trzech latach. Laureaci są wyłaniani w drodze konkursu. Z Nagrodą oprócz dyplomu związana jest gratyfikacja finansowa



Fot. 9. Złożenie kwiatów na cmentarzu Rakowickim  
(fot. Wojciech Zajac)

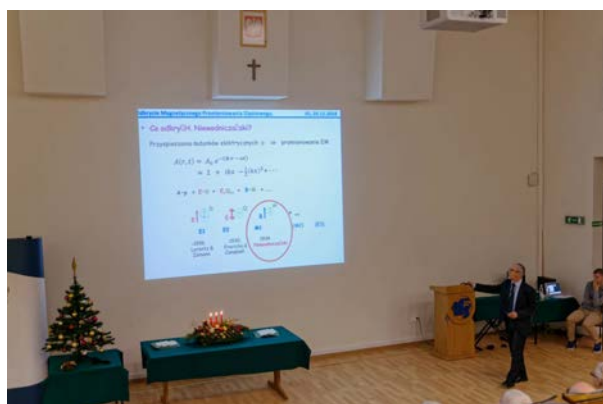




Fot. 10. Dyrektor IFJ PAN prof. Marek Jeżabek otwiera uroczyste seminarium (fot Wojciech Zajęc)



Fot. 12. Referat prof Bogdana Fornala (fot. Wojciech Zajęc)



Fot. 11. Referat prof Wojciecha Gawlika (fot. Wojciech Zajęc)



Fot. 13. Wspomina dr Tadeusz Waluga (fot. Wojciech Zajęc)

każdorazowo ustalana przez Dyrektora Instytutu. W 2018 roku laureatem został dr Andrzej Ptok z Zakładu Komputerowych Badań Materiałów IFJ. W imieniu laureata nagrodę odebrał dr hab. Przemysław Piekarz (prof. IFJ). Przedstawił sylwetkę laureata oraz omówił krótko jego prace i podziękował za wyróżnienie.

Referaty wygłaszane na seminarium dotyczyły dwóch najważniejszych dziedzin naukowych uprawianych przez Profesora: fizyki atomowej i fizyki jądrowej. Referat prof. Wojciecha Gawlika (IFJ) z zakresu fizyki atomowej miał tytuł: „Odkrycie Magnetycznego promieniowania Dipolowego”. Jego główne części to:

- ▶ Co odkrył Profesor Niewodniczański?
- ▶ Skala trudności
- ▶ Jak to zrobił?
- ▶ Znaczenie odkrycia w 1934 r i w 2018 r.

Prof. Bogdan Fornal (IFJ PAN) zatytułował swój wykład: „Profesor Henryk Niewodniczański i jego niespełniona pasja, fizyka jądrowa.”

Oba referaty nagrodzono gromkimi brawami, po czym zabrał głos obecny na uroczystości syn Profesora – prof. Jerzy Niewodniczański uzupełniając refe-

raty o szczegóły biograficzne Ojca. Również dr Tadeusz Waluga, tym razem głośno i wyraźnie, opowiedział parę anegdot o Profesorze. Jak w trudnych stalinowskich czasach zapytał dlaczego Profesor nie zwolni człowieka, który na niego donosi do UB. Profesor odpowiedział: – „Bo ja wiem, że on donosi i co donosi, a on nie wie, że ja wiem, a jak przyjdzie ktoś inny, to nie będę wiedział, więc tak jest lepiej”. Inna zacytowana przez dr Walugę rozmowa z Profesorem dotyczyła słuchania radia w pracy. Nie chodziło o zwykłe audycje, ale o „Radio Wolna Europa”, czy „Głos Ameryki”. No słucham, ale przecież tylko w nocy, to nie można? – „Wszystko można, co nie można, byle z wolna i z ostrożną” – powiedział Profesor. Fantastyczne poczucie humoru Profesora Henryka Niewodniczańskiego pomagało Mu w załatwianiu różnych trudnych spraw na szczeblu rządowym, oczywiście zachwycało jego uczniów i współpracowników. Wiele powiedzonek i anegdot zostało spisanych. Niestety coraz to ubywa żyjących, którzy je mogą przypomnieć.

Po seminarium odbyło się spotkanie opłatkowe, które uświetnił występ Akademickiego Chóru Politechniki Krakowskiej CANTATA.

---

# Kronika

## STYCZEŃ

**Warszawa.** 12 stycznia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego odbył się kolejny wykład z serii „Zapytaj fizyka” zatytułowany „Rotating black holes”, który wygłosił prof. Roy Kerr z Międzynarodowego Centrum Astrofizyki Relatywistycznej (ICRANet) w Pescara we Włoszech.

**Wrocław.** 26 stycznia odbyło się seminarium naukowe Oddziału Wrocławskiego, na którym prof. Stanisław Drożdż wygłosił wykład zatytułowany: „Multiscale correlations in narrative texts”.

## MARZEC

**Wrocław.** 2 marca odbyło się seminarium naukowe Oddziału Wrocławskiego, na którym dr Marcin Dąbrowski wygłosił wykład pt.: „Computational geology”.

**Kielce.** 7 marca w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się seminarium naukowe pt.: „Schrödinger equation with power potentials”, które wygłosił Prof. dr hab. Jacek Karwowski z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

**Kielce.** 14 marca w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się seminarium naukowe pt.: „Radio detection of the ultra high energy cosmic ray air showers in Antarctic”, które wygłosił Dr. Maksym Deliyeriyev z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach.

**Wrocław.** W dniach 14–16 marca, w Jakuszycach–Orle, odbyły X „Szkolne Warsztaty Fizyczne”. Uczestniczyły w nich 30 uczniów z wrocławskich liceów i 7 osób kadry dydaktycznej, nauczycieli szkolnych i akademickich. Współorganizatorem warsztatów jest Oddział Wrocławski PTF.

**Warszawa.** 20 marca na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego odbył się kolejny wykład „Zapytaj fizyka”, zatytułowany „Grafen i magia dwuwymiarowych kryształów”, który wygłosił prof. Andrzej Wysmołek z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Fotorelacja z seminarium jest dostępna na stronach [www](http://www). Więcej na temat „Zapytaj Fizyka” można znaleźć na ostatniej stronie niniejszego numeru Postępów Fizyki.

**Kielce.** 21 marca w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się kolejne seminarium naukowe pt.: „How to study energy loss in a hot and dense medium”, które zostało przygotowane i wygłoszone przez dr. Martina Rohmosera z Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach.

**Wrocław.** 23 marca odbyło się posiedzenie naukowe Oddziału Wrocławskiego, na którym prof. Ewa Rondio wygłosiła wykład pt.: „Neutrino Properties Determined in Oscillation Experiments”.

## KWIECIEŃ

**Wrocław.** 11 kwietnia odbył się Finał XIV Edycji Otwartego Międzyszkolnego Konkursu Fizycznego im. Bożeny Koronkiewicz. W jury – w roli przedstawiciela z ramienia Oddziału Wrocławskiego PTF – zasiadła Ewa Dębowska. Tytuł Laureata oraz nagrodę główną otrzymał: Krzysztof Nowak z Zespołu Szkół Akademickich Politechniki Wrocławskiej, który zaprezentował pracę na temat: „Budowa stanowiska lewitacji magnesu neodymowego przy użyciu elektromagnesu”. Laureatami zostali również: Agnieszka Jażdżewska z I Liceum Ogólnokształcącego im. Juliusza Słowackiego w Oleśnicy, Artur Markiel z Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych w Wodzisławiu Śląskim i Melania Miecz-

kowska z Zespołu Szkół Akademickich Politechniki Wrocławskiej.

**Kielce.** 11 kwietnia w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się seminarium naukowe pt.: „S-matrix approach to hadron gas”, które wygłosił dr. Pok Man Lo z Uniwersytetu Wrocławskiego.

**Kielce.** 12 kwietnia w odbyła się III Wydziałowa Konferencja Kół Naukowych na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach. W organizację konferencji aktywnie włączyła się społeczność Oddziału Kieleckiego PTF.

**Kraków.** 19 kwietnia podczas Konwersatorium Fizycznego Oddziału Krakowskiego PTF ks. Prof. Michał Heller z Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie wygłosił referat pt.: „Fizyka i filozofia Stephena Hawkinga”.

**Warszawa.** 23 kwietnia podczas Konwersatorium im. Jerzego Pniewskiego prof. Władysław Minora z University of Virginia, USA, wygłosił wykład pt.: „A physicist's adventure in a structural biology world”. Streszczenie wykładu można znaleźć na stronach [www.Konwersatorium](http://www.Konwersatorium).

**Kielce.** 24 kwietnia w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się seminarium naukowe pt.: „A simple model of the subdiffusion-absorption process in a membrane system. When does an antibiotic kill bacteria?”, które wygłosił dr hab. Tadeusz Kosztołowicz z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach.

**Wrocław.** W dniach 24–26 października odbyły się XI „Szkolne Warsztaty Fizyczne”, tym razem w Stacji Ekologicznej Uniwersytetu Wrocławskiego „Storczyk” w Karpaczu. Uczestniczyły w nich 30 uczniów z wrocławskich liceów nr V, I i VIII oraz 7 osób kadry dydaktycznej. Impreza została zorganizowana dzięki zaangażowaniu Oddziału Wrocławskiego PTF.

#### MAJ

**Kielce.** 9 maja w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się kolejne seminarium naukowe pt.: „Phase Transitions and Critical Phenomena in Condensed Matter Physics”, które wygłosił Prof. Pavel V. Prudnikov z Wydziału Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu im. Fiodora Dostojewskiego w Omsku, Rosja.

**Kielce.** 23 maja w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się seminarium naukowe pt.: „Materials Science in Superconductor”, które wygłosił Prof. Naomichi Sakai z Shibaura Institute of Technology Tokyo w Japonii.

**Warszawa.** 26 maja odbył się Dzień Otwarty Instytutu Fizyki PAN w trakcie którego można było zwiedzić laboratoria Instytutu, wysłuchać wykładów popularnonaukowych: „Nauka przed wyzwaniem cywilizacyjnymi” (prof. dr hab. Marek Godlewski), „A jednak się kręci... – pokazy z mechaniki” (dr hab. Grzegorz Grabecki, prof. IF PAN), „Zjawiska termoelektryczne i ich zastosowanie w technice” (dr Michał Szot), „Wzrost kryształów półprzewodnikowych do zastosowań w medycynie” (dr Marta Witkowska-Baran, dr Dominika Kochanowska), a dzieci mogły uczestniczyć w warsztatach „Jak powstaje prąd?” – prowadzonych przez dr Beatę Brodowską. Impreza cieszyła się dużym zainteresowaniem wśród zwiedzających.

**Warszawa.** 29 maja odbył się kolejny wykład z cyklu „Zapytaj fizyka”, tym razem zatytułowany „Robin Heart – opowieść o robotach medycznych”, wygłosił prof. Zbigniew Nawrat – dyrektor Instytutu Protez Serca Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii oraz adiunkt w Katedrze Kardiochirurgii i Transplantologii Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Zabrze. Prof. Zbigniew Nawrat gościł niedawno na łamach Postępów Fizyki (numer 1–4/2018).

#### CZERWIEC

**Wrocław.** 1 czerwca odbyło się posiedzenie naukowe Oddziału Wrocławskiego, na którym dr hab. Andrzej Dragan z Uniwersytetu Warszawskiego wygłosił wykład pt. „Relativity vs quantum information”.

**Warszawa.** 4 czerwca podczas Konwersatorium im. Jerzego Pniewskiego, prof. Szymon Malinowski z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego wygłosił wykład pt.: „Historia współczesnej fizyki klimatu i globalne ocieplenie: skąd wiemy jak działa klimat i jak rozumieć prognozy jego zmian?”. Więcej informacji można znaleźć na stronach [www.Konwersatorium](http://www.Konwersatorium).

**Kielce.** 6 czerwca w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się seminarium naukowe pt.: „News from the EBIS facility – production of light nuclei in relativistic heavy-ion collisions”, które wygłosił prof. dr hab. Stanisław Mrówczyński z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach.

**Zakopane.** W dniach 15–23 czerwca odbyła się 58. Krakowska Szkoła Fizyki Teoretycznej pt.: „Neuroscience: Machine Learning Meets Fundamental Theory”. Szkoła zorganizowana została przez Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie i Akademią Górniczo-Hutniczą przy współpracy Instytutu Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Polskiej Akademii Umiejętności, Fundacji Pro Physica i Sekcji Oddziaływań Fundamentalnych PTF. Poruszane na niej były następujące zagadnienia: What makes our brain a human brain; Optogenetics, nanoscience and the neurotechnology frontier; Large scale brain dynamics and neuroinformatics; Machine learning.

**Kielce.** 27 czerwca w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się kolejne seminarium naukowe pt.: „Phenomenological Study of Hadron Properties”, które wygłosiła dr. Zahra Ghalenov z Kosar University of Bojnord w Iranie.

#### LIPIEC

**Warszawa.** 5 lipca wykład z cyklu „Zapytaj fizyka”, zatytułowany „The search for the fundamental theory of the Universe”, wygłosił prof. Fernando Quevedo, profesor na wydziale Matematyki Stosowanej i Fizyki Teoretycznej (DAMTP) na Uniwersytecie w Cambridge oraz dyrektor działającego przy UNESCO Międzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej (ICTP) im. Abdusa Salama w Trieście.

**Pekin, Chiny.** Reprezentacja Polski otrzymała srebrny medal na Międzynarodowym Turniej Młodych Fizyków, zajmując ósme miejsce w rankingu ogólnym. Zawody odbyły się w dniach 19–25 lipca na Uniwersytecie Renmin w Pekinie. W skład drużyny wchodził: Michał Bucoń (kapitan), Zofia Dziekan, Adam Gałązka oraz Igor Sadalski – licealiści oraz członkowie Klubu Naukowego Fenix. W całorocznych przygotowaniach drużynie aktywnie pomagali: Łukasz Gładczuk oraz Radosław Waszkiewicz, poprzedni złoci medaliści turnieju oraz założyciele klubu. Podczas konkursu zmierzyły się ze sobą 32 drużyny z całego świata. W trakcie pięciu intensywnych dni rywalizacji, uczestnicy mieli okazję prezentować swoje rozwiązania problemów, a także o nich dyskutować. Konkurs składał się z 17 problemów badawczych, których tematem było między innymi zbadanie zmiany koloru ze stopniem rozdrobnienia substancji, wyjaśnienie powstawania promiennych rozbłysków na zdjęciach latarni wykonanych nocą czy omówienie zasady działania zaworu Tesli. Turniej stanowił także niepowtarzalną okazję do międzykulturowej wymiany doświad-

czeń i poznania innych pasjonatów fizyki z całego świata.

Co warto podkreślić, Oddział Wrocławski PTF w 2018 roku współorganizował Ogólnopolski Półfinał Turnieju Młodych Fizyków. Startowało w nim 5 drużyn. Zwycięzcą została drużyna IOSEMVIII z VIII Liceum Ogólnokształcącego im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, drugie miejsce zajęła drużyna BRHS5JJ z Zespołu Szkół Ogólnokształcących Nr 5 we Wrocławiu.

**Lizbona, Portugalia.** W dniach od 21 do 29 lipca w Lizbonie odbywały się zawody 49. Międzynarodowej Olimpiady Fizycznej (IPhO 2018). Polskę w Portugalii reprezentowali: Łukasz Białas i Maciej Maruszczak z XIII Liceum Ogólnokształcącego w Szczecinie, Tomasz Cheda i Wojciech Szymański z VI Liceum Ogólnokształcącego w Radomiu oraz Konrad Pawlik z I Liceum Ogólnokształcącego w Krośnie. Uczniowie zostali wyłonieni podczas 67. Olimpiady Fizycznej, której finał odbył się w kwietniu. Na IPhO 2018 Maciej Maruszczak i Wojciech Szymański wywalczyli brązowy medal, a Łukasz Białas i Konrad Pawlik zdobyli wyróżnienie. Gratulujemy!

#### WRZESIEŃ

**Warszawa.** 24 września na Wydziale Fizyki uniwersytetu Warszawskiego odbył się kolejny wykład z cyklu „Zapytaj fizyka” zatytułowany „Physics, Math and Puzzles”, który wygłosił prof. Cumrun Vafa z Harvardu, jeden ze współtwórców teorii strun.

**Warszawa.** W dniach 21–23 września odbyło się XXV Seminarium dla nauczycieli fizyki „Astronomia w szkołach ponadpodstawowych”. Organizatorem spotkania było Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika, PAN w Warszawie. W programie znalazły się wykłady znanych astronomów, pokazy nieba, informacja o międzynarodowych programach szkolnych amatorskich obserwacji, a także wystąpienia uczestników Seminarium. W ostatnim dniu uczestnicy wzięli udział w Dniu Otwartym w Centrum Astronomicznym, organizowanym w ramach Warszawskiego Festiwalu Nauki. W ubiegłym roku w Seminarium brało udział 50 uczestników (w tym około 45 spoza Warszawy).

**Wrocław.** Z inicjatywy i na wniosek Tomasza Greczyło, wiceprzewodniczącego oddziału Wrocławskiego, Zarząd Główny PTF poparł propozycję utworzenia środowiskowego Zespołu ekspertów ds. nauczania fizyki, składającego się z przedstawicieli wszystkich oddziałów Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Zadania Ze-

społu obejmują przygotowanie środowiskowej strategii prac nad dokumentem stanowiącym propozycję nowej podstawy programowej fizyki dla wszystkich poziomów kształcenia. Pierwsze, robocze, spotkanie Zespołu miało miejsce podczas I Kongresu Nauczycieli Fizyki, który odbył się w Łodzi, w dniach 14–16 września (więcej na <http://knfl.uni.lodz.pl/patronaty/>). PTF był jednym z patronów tego Kongresu, a inicjatorem spotkania nauczycieli fizyki, pracowników naukowych i oświatowych był dr Tomasz Greczyło.

#### PAŹDZIERNIK

**Warszawa.** 15 października odbyło się pierwsze połączone konwersatorium Instytutu Fizyki Teoretycznej i Instytutu Fizyki Doświadczalnej im. Jerzego Pniewskiego i Leopolda Infelda, na którym dr hab. Katarzyna Krajewska i prof. dr hab. Czesław Radzewicz z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego wygłosili wykład pt.: „Nobel Prize in Physics 2018: Towards the shortest and the most intense laser pulses”.

**Kielce.** 17 października w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się seminarium naukowe pt.: „Why we should be careful preparing an experiment – the case of target purity”, które wygłosił dr hab. Maciej Rybczyński z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach.

**Warszawa.** 25 października, na kolejnym spotkaniu z cyklu „Zapytaj fizyka”, prof. Maciej Lewenstein z Instytutu Nauk Fotonicznych (ICFO) w Barcelonie przy wsparciu i akompaniamencie zespołu „Spontaneous Chamber Music” w składzie Patryk Zakrocki i Marcin Olak – wygłosił wykład pt.: „Abstrakcja w nauce i sztuce – od kwantowych symulatorów do improwizowanej muzyki”.

**Warszawa.** 29 października w ramach Konwersatorium im. Jerzego Pniewskiego i Leopolda Infelda, organizowanego przez Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, prof. Vatcheslav Mukhanov z Ludwig Maximilian University of Munich, wygłosił wykład pt.: „Quantum Universe: from Subatomic to Galactic Scales”.

#### LISTOPAD

**Kraków.** Od 4 do 9 listopada w Narodowym Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS w Krakowie odbyła się pierwsza regionalna szkoła HERCULES – HERCULES Regional School – adresowana szczególnie do młodych naukowców i doktorantów zainteresowanych prowadzeniem badań naukowych z wykorzystaniem promieniowania synchro-

nowego. Więcej informacji na temat tej inicjatywy znajdą Państwo w kolejnych numerach Postępów Fizyki.

**Katowice.** 10 listopada w Auli Śląskiego Międzyuczelnianego Centrum Edukacji i Badań Interdyscyplinarnych w Chorzowie, odbył się – Spin Day 2018 – patronat nad imprezą objęło Polskie Towarzystwo Fizyczne. Wśród wielu ciekawych odczytów warto przytoczyć kilka ciekawych wykładów: Prof. dr hab. Marek Stankiewicz – „Synchrotron SOLARIS – polskie super światło dla nauki”, prof. zw. dr hab. Marek Zrałek – „Podstawowa teoria mikroświata – jej rozwój i polskie ślady”, prof. zw. dr hab. Maciej Sablik – „Agenci Jej Królewskiej Mości”, red. Wiktor Niedzicki – „Kłopotów od metra”, mgr inż. Łukasz Mucha – „Robotyka w medycynie. Od skalpela do telemedycyny” (więcej informacji na: <http://www.ptf.us.edu.pl/?p=846>).

**Wrocław.** 13 listopada odbyło się posiedzenie naukowe Oddziału Wrocławskiego, na którym prof. Koji Sugioka wygłosił wykład pt.: „Hybrid Femtosecond Laser 3D Processing for Fabrication of Functional Micro/Nano-Devices”.

**Wrocław.** 16 listopada odbyło się seminarium Oddziału Wrocławskiego, na którym prof. Edward Malec wygłosił wykład pt.: „Gravitation and accretion of matter”.

**Kielce.** 21 listopada w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się seminarium naukowe pt.: „Interpretations of Quantum Mechanics”, które wygłosił dr hab. Francesco Giacosa z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach.

#### GRUDZIEŃ

**Bydgoszcz.** 5 i 6 grudnia na Uniwersytecie Technologiczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy odbyło się Sympozjum pt.: „Where Jędrzej Śniadecki met Jan Czochralski”. Bogaty program seminarium obejmował zagadnienia zawierające informacje o intencjonalnie domieszkowanych kryształach hodowanych metodą Chochralskiego do zastosowań optoelektronicznych, fotowoltaicznych, scyntylacyjnych i nie tylko, a także metodach używanych do charakteryzacji tego typu materiałów. Drugi dzień sympozjum poświęcony był zagadnieniom związanym z innowacyjnością, inkubatorami przedsiębiorczości i zdolności patentowej, a także możliwościami jakie daje połączenie nauki i biznesu na przykładzie gospodarki niemieckiej. Dokładną agendę sympozjum można znaleźć pod adresem: <http://www.utp.edu.pl/pl/nauka->

*i-badania/konferencje-naukowe/1552-where-jedrzej-sniadecki-met-jan-czochralski*

**Kielce.** 5 grudnia w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach odbyło się ostatnie w roku seminarium naukowe pt.: „News from the EBIS facility”, które wygłosił prof. dr hab. Marek Pałek z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza w Kielcach.

**Warszawa.** 13 grudnia wykład z cyklu „Zapytaj fizyka”, zatytułowany „Zjawiska atmosferyczne w pokazach fizycznych” wygłosił dr Krzysztof Karpierz z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

**Kraków.** 13 grudnia w ramach Konwersatorium Fizycznego Oddziału Krakowskiego PTF na III Kampusie UJ (Wydział FAIS), odbyła się uroczystość poświęcona Profesorowi Henrykowi Niewodniczańskiemu. Więcej informacji na temat uroczystości zostało zamieszczonych w osobnym artykule–korespondencji z Krakowa.

**Wrocław.** Oddział Wrocławski objął patronatem III Ogólnopolską Studencką Fizyczno-Optyczną Konferencję (Foka), która odbyła się w dniach 15–16 grudnia, we Wrocławiu. (więcej informacji o wydarzeniu można znaleźć pod adresem: <http://www.foka.pwr.edu.pl/>).

**Warszawa.** 17 grudnia na Wydziale Fizyki UW w ramach Konwersatorium im. Jerzego Pniewskiego i Leopolda Infelda, odbył się odczyt, którego prelegentem był laureat tegorocznego „polskiego nobla”, czyli nagrody Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, prof. Krzysztof Pachuck z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego zatytułowany „Probing nuclear structure by the atomic spectroscopy”. Nagroda FNP została przyznana prof. Pachuckiemu w obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich za precyzyjne kwantowo-elektrodynamiczne obliczenia spektroskopowych parametrów lekkich atomów i cząstek.

**Wrocław.** 17 grudnia odbyło się seminarium Oddziału Wrocławskiego, na którym dr Henryk Wojewoda wygłosił wykład zatytułowany „O uniwersalnym wszechświatowym układzie jednostek miar Plancka”.

#### PONADTO W 2018 ROKU

**Wrocław.** W ramach cyklu „Wykładów z fizyki” na Uniwersytecie Wrocławskim odbyły się następujące spotkania: prof. David Blaschke „Neutron stars as precise laboratories for exploring space, time and matter under extreme conditions”, dr Iwona Mróz „Fizyka dla medycyny – kilka przykładów”, dr Radosław Wasielewski „Zaproszenie do elektroniki”, mgr Michał Naskręt „Wesołe partony – kwarki i gluony”, dr Remigiusz Durka „Kostka Rubika i wyższe wymiary”, dr hab. Ewa Dębowska „Kolorowy zawrót głowy, czyli o barwach w przyrodzie” i prof. dr hab. Michał Tomczak „Zorze polarne”.

**Wrocław.** W ramach Seminarium Środowiskowego „Problemy dydaktyki fizyki” przedstawione zostały następujące wykłady: prof. Jan Burdukiewicz „Metody nauk przyrodniczych w badaniach pochodzenia zachowań symbolicznych ludzi paleolitu”, prof. Stanisław Staśko „Wody podziemne Polski – ich zasoby i wiek”, dr Tomasz Greczyło „Podstawa programowa fizyki w szkole ponadpodstawowej”.

**Wrocław.** Na Politechnice Wrocławskiej odbył się kolejny cykl wykładów popularyzujących fizykę. Wygłoszono następujące wykłady: „Kopernik – układ heliocentryczny – NIEPRAWDA! A jak jest w rzeczywistości?” dr hab. Jacek Własak; „Skąd się wzięła teoria względności” dr hab. inż. Jan Masajada; „Silnie zakrzywiona czasoprzestrzeń” prof. dr hab. Andrzej Radosz.

**Kielce.** Członkowie kieleckiego oddziału PTF wraz z pracownikami Zakładu Astrofizyki Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jana Kazimierza współorganizowali cotygodniowe zajęcia w Obserwatorium Astronomicznym, w skład których w tym roku wchodziły: zwiedzanie wystawy meteorytów, obserwowanie plam na Słońcu i nocne obserwacje nieba.

**Kielce.** Członkowie kieleckiego oddziału PTF zorganizowali pokazy różnych zjawisk fizycznych dla uczniów gimnazjów i szkół ponadgimnazjalnych w ramach cyklicznej akcji dydaktycznej Studenckiego Koła Naukowego „Neutrino”. Natomiast w Instytucie Fizyki w mijającym roku realizowany był projekt „UNIWERSYTET MŁODYCH – innowacyjne moduły zajęć wspierające uczniów uzdolnionych w zakresie nauk przyrodniczych i ścisłych”.



**Z kart historii Zakładu Fizyki Ciała Stałego AGH. Stan osobowy Zakładu w 1970 roku:**

W pierwszym rzędzie od dołu, drugą osobą od prawej jest Profesor Ludwik Kozłowski. Sąsiadem Pana Profesora z jego prawej strony jest Profesor Tadeusz Piech.

Zdjęcie jest uzupełnieniem do wspomnienia o profesorze Ludwiku Kozłowskim opublikowanym w poprzednim zeszycie „Postępów Fizyki” (nr 1–6/2018), które otrzymaliśmy od Autora wspomnienia, Profesora Karola Kropa



**Księgarnia  
internetowa  
Wydawnictw  
Uniwersytetu  
Warszawskiego  
[www.wuw.pl](http://www.wuw.pl)**

# Marian Smoluchowski

Selected Scientific Works

---

Editor Bogdan Cichocki

---