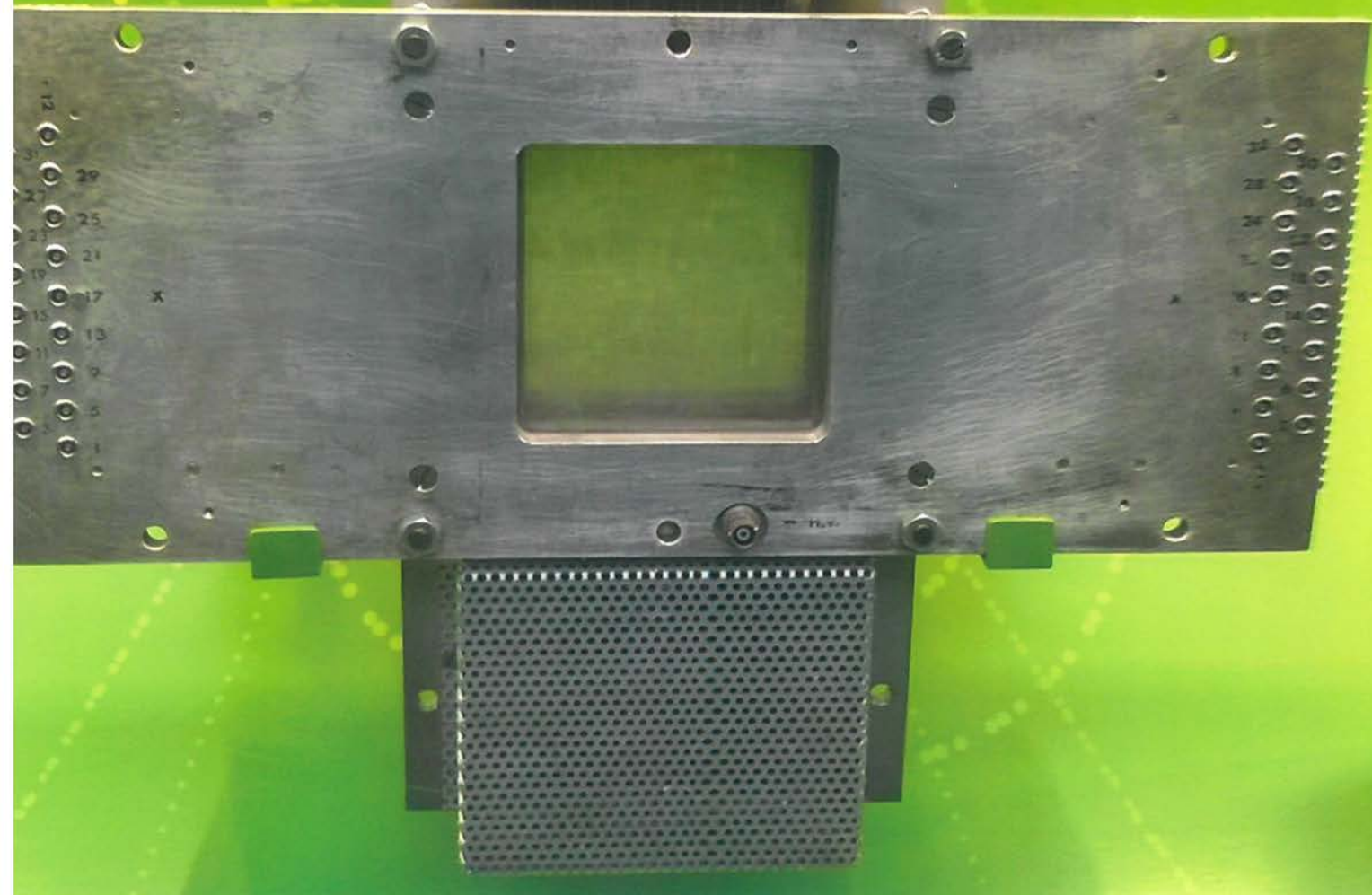
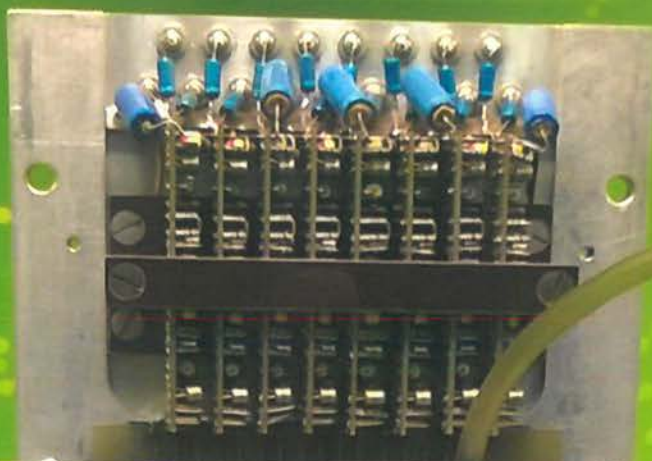
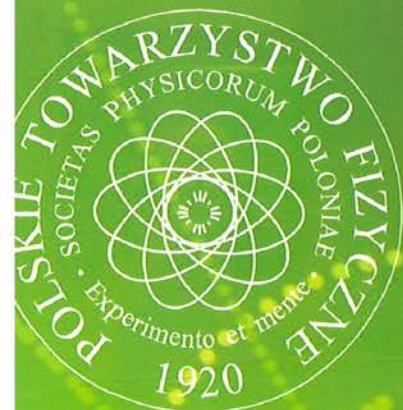


Postępy Fizyki

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ



Alfa, beta, gamma. Jak odkrywano i badano promieniotwórczość naturalną T. Goworek

Doświadczenie myślowe Smoluchowskiego i inne zapadki G. Ślósarek

Leopold Infeld – początki kariery A. K. Wróblewski

Fizyka i filozofia Stephena Hawkinga M. Heller



POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

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

ADRES BIURA ZARZĄDU

ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa
tel. (+22) 553 28 56
pokój 4.56 (IV piętro)
e-mail: 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 Spątek (Kraków)
Jerzy Żuk (Lublin)
Tadeusz Włbig (Łódź)
Ewa Pawelec (Opole)
Henryk Drozdowski (Poznań)
Gawel Żyła (Rzeszów)
Mirosław Brozis (Słupsk)
Mariusz P. Dąbrowski (Szczecin)
Franciszek Rozpłoch (Toruń)
Andrzej Wymołek (Warszawa)
Ewa Dębowska (Wrocław)
Van Cao Long (Zielona Góra)

RADA REDAKCYJNA

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

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

ZESZYT ZREDAGOWAŁ ZESPÓŁ W SKŁADZIE

Wawrzyniec Kaszub
Joanna Szutta
Krzysztof Turzyński

KORRESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Krystyna Perzyńska (Białystok)
Beata A. Pietrewicz (Bydgoszcz)
Piotr Gębara (Częstochowa)
Tomasz Wąsowicz (Gdańsk)
Lucyna Grządził (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)
Tadeusz Stacewicz (Warszawa)
Wojciech Rudno-Rudziński (Wrocław)
Lidia Najder-Kozdrowska (Zielona Góra)

ADRES REDAKCJI

Redakcja „Postępów Fizyki”
Wydział Fizyki UW
Pasteura 5, pok. 2.80
02-093 Warszawa

INFORMACJE DLA AUTORÓW

Czekamy na przystępnie napisane artykuły przeglądowe i monograficzne. Układ pracy powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły w ostatnich zeszytach). Prace złożone w systemie \LaTeX (Microsoft Office, OpenOffice) z ilustracjami o rozdzielczości co najmniej 300 dpi w osobnych plikach prosimy nadsyłać e-mailem pod adresem j.szutta@ptf.net.pl. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania tekstów, ich opracowywania oraz niezbędnych zmian terminologicznych. Autorzy powinni wykonać korektę autorską złożonego artykułu. Publikowanie w *Postęпах Fizyki* wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem utworu autorskiego na stronie *Postępów Fizyki* na podstawie licencji Creative Commons.

Prenumeratę dla osób/institucji niebędących członkami Polskiego Towarzystwa Fizycznego prowadzi Ruch (<http://www.prenumerata.ruch.com.pl>). Prenumeratory, którzy nie chcą korzystać z usług pośredników, powinni wpłacić odpowiednią kwotę na konto główne PTF w Banku Handlowym: 74 1030 0019 0109 8530 0046 3033, a następnie przesłać e-mailowo kopię potwierdzenia wpłaty ZG PTF i do redakcji *Postępów Fizyki*, podając adres, pod który mają być przesyłane *Postępy Fizyki*. Proszę też określić, jakie numery lub jaki rocznik obejmuje wpłata. Pojedynczy numer kosztuje 12 zł, a rocznik 48 zł. Koszty przesyłki pokrywa redakcja.

Czasopismo ukazuje się od 1949 roku.
Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne
Skład i tamanie: Paweł Mleczo (ntp-art.pl)
Druk i oprawa: Moś i Łuczak, Poznań
Nakład: 850 egzemplarzy

ISSN 0032-5430

ISSN 0013-788X

ISSN 1733-1733

Postępy Fizyki

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ



Właściciel: Instytut Fizyki
Dyrektor: prof. dr hab. inż. Andrzej
Kozłowski

Redakcja: ul. Śniadeckich 8
00-950 Warszawa

Wydawca: Instytut Fizyki
ul. Śniadeckich 8
00-950 Warszawa

Publikacja: Instytut Fizyki
ul. Śniadeckich 8
00-950 Warszawa

Komora drutowa skonstruowana
przez Georges'a Charpaka.
Ze zbiorów Musée des arts et métiers

Drodzy Czytelnicy,

Wydawanie kwartalnika przez zespół – w większości – zapaleńców, wypełniających tym specyficznym hobby czas „po godzinach” nie jest zadaniem łatwym. Wiemy, że niektórzy z Państwa czują rozczarowanie, musząc czekać długo na kolejne numery. Oddając w Państwa ręce ten wielokrotny numer, mam nadzieję, że będzie on źródłem wielu przyjemnych doznań. Miniony już rok 2017 obfitował w jubileusze, był w szczególności naszym Rokiem Mariana Smoluchowskiego. Nic więc dziwnego, że w niniejszym numerze raczej spoglądamy w przeszłość i zastanawiamy się, skąd – jako fizycy – przychodzimy. Życzę wielu ciekawych refleksji przy lekturze.

Krzysztof Turzyński
redaktor naczelny

Alfa, beta, gamma. Jak odkrywano i badano promieniotwórczość naturalną

T. Goworek _____ 42

Doświadczenie myślowe Smoluchowskiego i inne zapadki

G. Ślósarek _____ 65

Leopold Infeld – początki kariery

A. K. Wróblewski _____ 71

Fizyka i filozofia Stephena Hawkinga

M. Heller _____ 83

Profesor Jan Fiutak, nasz „Szef”, pionier fizyki teoretycznej na Wybrzeżu

J. Czub, S. Kryszewski, W. Miklaszewski, M. Żukowski _____ 87

Alfa, beta, gamma

Jak odkrywano i badano promieniotwórczość naturalną

Tomasz Goworek

Streszczenie. Artykuł przedstawia zarys historii badań nad promieniotwórczością naturalną, od pierwszych obserwacji Niepce de Saint Victora w r. 1851 do odkrycia jądra atomowego przez Rutherforda w r. 1911.

Pod koniec XIX wieku fizyka wydawała się nauką skończoną, kompletną. Według Alberta Michelsona „wszystkie najważniejsze fundamentalne prawa i fakty w fizyce zostały już odkryte, [...] przyszłych nowych prawd trzeba będzie szukać na szóstym miejscu po przecinku”. Jeśli chodzi o „fakty” czyli dane doświadczalne, to możliwości eksperymentu w dużym stopniu zależą od poziomu techniki i nawet drobne wynalazki i udoskonalenia techniczne, mogą otworzyć nowe pole badań.

Opanowanie techniki wtapiania metalowych elementów w szkło, wytwarzanie dość dobrej próżni¹, uzyskiwanie wysokich napięć za pomocą cewki Ruhmkorffa, pozwoliły ok. roku 1860 na zajęcie się zjawiskiem wyładowań elektrycznych w gazie pod zmniejszonym ciśnieniem. Rurka szklana (tzw. rurka Plücker'a) o dwóch wtopionych na jej końcach elektrodach wypełniana była gazem, do elektrod przykładano dość wysokie napięcie. Przy zmniejszonym ciśnieniu gazu zachodziło wyładowanie jarzeniowe. Gdy ciśnienie jest rzędu 10^{-3} mm Hg nie widać świecenia gazu w rurze, natomiast fluoryzuje szkło naprzeciw katody. Niewidzialne „promienie katodowe” biegną w stronę anody i uderzając w szkło wzbudzają zielonkawą poświatę. Stwierdzono, że promienie te są cząstkami

materialnymi, biegną po liniach prostych, niosą ładunek ujemny i wiązka ich może być odchylana polem magnetycznym. Joseph J. Thomson w roku 1895 wyznaczył dla nich stosunek ładunku elektrycznego do masy q/m . Jeżeli założyć, że ładunek jest identyczny jak ładunek elementarny występujący w zjawiskach elektrolizy roztworów, to masa cząstek tworzących promienie katodowe jest ok. 1800 razy mniejsza od masy najmniejszego atomu – wodoru. Cząstki te Thomson nazwał elektronami. Elektrony mogą wywoływać świecenie szkła, ale dużo łatwiej obserwować je dzięki wywoływanej przez nie fluorescencji związków takich jak siarczki wapnia, kadmu, cynku, albo dający się łatwo rozprzodzić na dużej powierzchni platynocjanek baru.

Przeprowadzając eksperymenty z promieniami katodowymi Wilhelm Röntgen zauważył, że ekran pokryty substancją fluoryzującą świeci również wtedy, gdy umieścić go w pobliżu rury, na zewnątrz. A więc w tym przypadku fluorescencję wzbudzają nie naładowane cząstki promieni katodowych, a jakieś niewidzialne promieniowanie, które przenika przez szkło. Nazwał je „promieniami X”. Okazało się, że ich zdolność przenikania przez materiały silnie zależy od tego, jaki jest skład chemiczny materiału - przechodzą łatwo przez ośrodki zbudowane z pierwiastków lekkich (z początku układu okresowego), pochłaniane są przez pierwiastki ciężkie.

Promienie X wywołują też procesy fotochemiczne, zaczerniają (po wywołaniu) klisze fotograficzne. Röntgen umieścił między źródłem promieni X a kliszą fotograficzną np. pudełko drewniane z monetą wewnątrz. Drewno nie stanowiło większej przeszkody dla

1. Powinno się mówić nie o próżni, a gazie pod bardzo niskim ciśnieniem. W końcu XIX wieku były do dyspozycji pompy próżniowe (Töplera, rotacyjne) pozwalająca na osiągnięcie ciśnień gazu rzędu 10^{-3} mm Hg. Niższe ciśnienia można było uzyskać umieszczając w odpompowanej objętości pochłaniacz (getter) w postaci węgla aktywnego. Ta technika była stosowana w wielu pracach opisanych poniżej.



Rys. 1. Zdjęcie ręki pani Berthy Röntgen prześwietlonej promieniami X

promieni X, natomiast moneta dała jasny krążek na kliszy. Röntgen poprosił żonę, aby umieściła dłoń na drodze promieni. Po wywołaniu kliszy ukazał się na niej szkielet dłoni (i pierścionek), tkanki miękkie były ledwo zauważalne (rys. 1). Röntgen powiedział do żony:

– *Jak się ludzie o tym dowiedzą, powiedzą że Röntgen pewnie zwariował.*

Reakcja pani Berthy Röntgen była trochę inna:

– *Zobaczyłam własną śmierć...*

Odkrycie Röntgena wywołało sensację, pisały o tym wszystkie gazety. Zauważono szybko przydatność zjawiska dla medycyny. Już w cztery miesiące po pierwszym komunikacie Röntgena o promieniach X, ukraiński fizyk Iwan Puluj (pracujący w Pradze) wykonał zdjęcie 7-miesięcznego płodu, po pół roku – prześwietlono w szpitalu w Anglii złamaną rękę, po półtora roku Winston Churchill raportował, że armia angielska w Indiach posiada ruchome ambulanse rentgenowskie.

Dziś wiemy, że promienie X powstają, gdy szybkie elektrony, poruszając się w ośrodku tracą energię, częściowo na emisję fal elektromagnetycznych o bardzo małej długości fali (tzw. promieniowanie hamowania). W czasach Röntgena mechanizm powstawania nie był znany. Przecież naturę promieni katodowych odkrył

J. J. Thomson tylko kilka miesięcy wcześniej, w tym samym roku 1895. W czasach, gdy nie wszyscy byli przekonani o istnieniu atomów, cząstki materialne o masie jeszcze tysiąc razy mniejszej niż atomu budziły powątpiewanie (Röntgen nie wierzył w istnienie elektronów, a podobno w swoim laboratorium zabronił nawet używać takiego słowa).

Promienie uranowe

Promienie Röntgena wywoływały fluorescencję. Henri Poincaré wysunął przypuszczenie, że może istnieje i zjawisko odwrotne, fluorescencji (fosforescencji) towarzyszy emisja promieni Röntgena? Poszukiwaniem relacji promienie X – fluorescencja zajęli się fizycy francuski Henri Becquerel. Becquerelowie od trzech pokoleń byli fizykami, co więcej, członkami Akademii Nauk (warto wspomnieć, że asystent ojca Henri'ego, Edmonda, nazwiskiem Gaston Planté, wynalazł znany wszystkim akumulator ołowiowy).

Becquerel wykorzystał w swych badaniach zgromadzone przez ojca związki uranu; wiele z nich fosforyzuje² po naświetleniu światłem widzialnym. Zatem wystawiał je na działanie światła słonecznego i kładł na zapakowanej w czarny papier kliszy fotograficznej. Klisza się zaczerniała. Jednakże gdy na kliszy położył próbki nie naświetlone, efekt był taki sam. Fosforescencja nie była potrzebna do wzbudzenia w minerałach uranowych promieniowania podobnego do rentgenowskiego. Samorzutne promieniowanie uranowe było równie przenikliwe, zaczerniała klisze, rozładowywało umieszczony na ich drodze elektroskop [1–4]. W gruncie rzeczy nic nowego: w r.1851 Abel Niepce de Saint-Victor (bratanek wynalazcy fotografii, Nicephora) stwierdził że związki uranu działają na papier światłoczuły [5], w późniejszym komunikacie napisał nawet „*nie może to być skutek fosforescencji, a prawdopodobnie niewidzialnego dla naszego oka promieniowania*” [6]. Ojciec Becquerela wiedział o tym odkryciu i nawet wspominał o nim w swej książce o świetle. Przez 40 lat nie było kontynuacji.

Korelacją między świeceniem fluorescencyjnym (fosforescencyjnym) a promieniami X zajmowano się i w innych laboratoriach. Jeszcze przed Becquerelem C. Henry [7] zakomunikował, że promienie X są emitowane przez siarczek cynku, podobny komunikat ogłosił L. J. Troost [8], według G. Niewengłowskiego [9] emitorem promieni X jest też siarczek wapnia. Nastąpiła moda na niewidzialne przenikliwe promieniowania. W Japonii Muraoka [10] stwierdził, że promienie X

2. Mówimy o fosforescencji, gdy świecenie trwa przez czas miaralny po ustaniu czynnika wywołującego je.

towarzyszą świeceniu robaczek świętojańskich (wkrótce to odwołał). We Francji Gustave LeBon [11] odkrył „czarne światło” emitowane przez lampę parafinową, w Niemczech W. Arnold [12] zauważył emisję promieni przez organiczny reten, w Stanach Zjedn. A. F. Kissick [13] obserwował świecenie kredy i cukru, w końcu C. S. Dulley i S. Egbert [14] stwierdzili, że takie promieniowanie dobiega do nas wprost ze Słońca. Badano, przeważnie z negatywnym rezultatem, wielką liczbę potencjalnych emitterów, nie wyłączając takich jak kawa, herbata, cynamon, kleik ryżowy.

Wszystkie odkrycia nowych promieni, oprócz uranowych, okazały się pomyłką. Zwykle ich detekcja odbywała się na drodze zaczerniania klisz fotograficznych. Często przy obróbce chemicznej fotoczułych materiałów zachodziły niekontrolowane procesy powodujące zaczernienie. Były też przypadki mylnych doniesień, dla których trudno znaleźć fizyczne wyjaśnienie źródła błędu. Klasycznym przykładem były „promienie N” odkryte nieco później przez René Blondlot. Wywoływać miały fluorescencję, mogły być ogniskowane przez soczewki aluminiowe i odchylane przez aluminiowy pryzmat, a emitowane były m.in. przez ciało ludzkie. Nie była to jednorazowa pomyłka. Oprócz Blondlota było jeszcze ponad 20 innych autorów, którzy obserwowali promienie N, w tej liczbie i syn Becquerela, Jean. Autorzy pochodzili głównie z Francji, stąd nawet pojawiły się twierdzenia, że tylko nacje romańskie mają wystarczająco wrażliwy wzrok, by zauważyć słabą fluorescencję wywołaną przez te promienie, w przeciwieństwie do Germanów, przytępionych wskutek nadkonsumpcji piwa, czy Anglosasów upośledzonych wskutek mgły. W końcu koncepcja promieni N upadła.

Na tle licznych pseudo-odkryć „promienie uranowe” Becquerela nie wyglądały na rewelację. Świat był zafascynowany promieniami Röntgena. W r. 1896 ukazało się 50 książek o tych promieniach i ok. 1000 komunikatów naukowych, a o promieniach uranowych – kilka. Becquerel opublikował wtedy 7 krótkich komunikatów, w 1897 dwa, w 1898 dał sobie spokój z promieniami uranowymi i zajął się zjawiskiem Zeemana w optyce (Becquerel miał szanse odkryć to zjawisko przed Zeemanem, ale z powodu słabej rozdzielczości jego spektrometru optycznego próba się nie powiodła). Promienie uranowe utonęły w szumie fałszywych doniesień.

Przewodnictwo gazów

Tymczasem w Anglii, w laboratorium Lorda Kelvina (William Thomson) prowadzono badania nad przewodnictwem elektrycznym gazów. W pracach uczest-

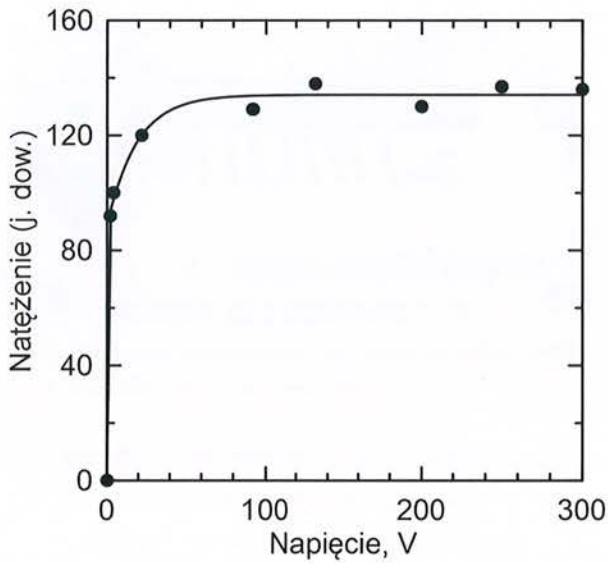
niczył młody fizyk z Krakowa, Marian Smoluchowski³. Równocześnie podobne prace prowadzone były u J. J. Thomsona z udziałem stypendysty z Nowej Zelandii, Ernesta Rutherforda.

Gazy nie wykazują samoistnego przewodnictwa elektrycznego, można je jednak wywołać („zelektryfikować gaz” – jak się wówczas mówiło) pod działaniem czynników zewnętrznych, takich jak światło nadfioletowe, promienie Röntgena, płomień, rozżarzone metale. Zależność natężenia prądu od napięcia okazała się zupełnie inna, niż wynikałoby to z prawa Ohma: ze wzrostem napięcia prąd rósł, ale szybko osiągał wartość stałą, nasycenie (rys. 2). Dla danego gazu (i jego ciśnienia) natężenie prądu było proporcjonalne do intensywności czynnika wywołującego przewodnictwo. Stosowano promienie Röntgena, a co z promieniami uranowymi? Sprowadzono z Francji próbki związków uranu i uran metaliczny. Wyniki Smoluchowskiego i Beattie [15], jak również Thomsona i Rutherforda [16] dla promieni uranowych, były podobne jak dla promieni Röntgena.

Jaki jest mechanizm powstawania przewodnictwa gazów, spróbował wyjaśnić Rutherford: promieniowanie wytwarza w gazie naładowane elektrycznie jony [17]. Ile jonów wytworzy, tyle może dotrzeć do elektrod, prąd jonów nie zależy od przyłożonego napięcia (z wyjątkiem napięć bardzo niskich, nie wystarczających do zebrania wszystkich jonów). Czym są te jony, Rutherford jeszcze nie wiedział. Termin zapożyczył ze zjawiska elektrolizy roztworów, ale wydawało mu się, że są to „agregaty znacznej liczby molekuł” [17]. Jeszcze w 1899 zastrzegł: „nie zakładam, że te jony mają rozmiary atomu, może być, że są wielokrotnością lub podwielokrotnością atomu” [18]. W końcu okazały się one atomami (cząsteczkami) gazu, z których został oderwany elektron. Oprócz dodatknych jonów są zatem w gazie i swobodne elektrony.

W 1898 Rutherford wyjechał do Kanady, gdzie na uniwersytecie w Montrealu kontynuował intensywnie badania promieni uranowych. Natomiast w laboratorium J. J. Thomsona C. T. R. Wilson zauważył, że pod wpływem promieni uranowych następuje kondensacja pary przesyconej poddanej rozprężeniu. W komunikacie zamieszczonym w „Proceedings of Royal Society” w r. 1898 [19] napisał: „eksperymenty z rozprężaniem prawdopodobnie dostarczą jednej z najbardziej czułych metod detekcji tych promieni. Tak się też stało, komora

3. Skoro Thomson używał w publikacjach tytułu lordowskiego, to Galicjanin Smoluchowski, syn radcy dworu cesarskiego, powinien był wykazać się przynajmniej szlachectwem, więc podpisywał prace „Ritter von Smolan Smoluchowski” albo z francuska „Smoluchowski de Smolan”.



Rys. 2. Zależność natężenia prądu od napięcia w powietrzu poddanym działaniu „promieni uranowych”. Według [15]

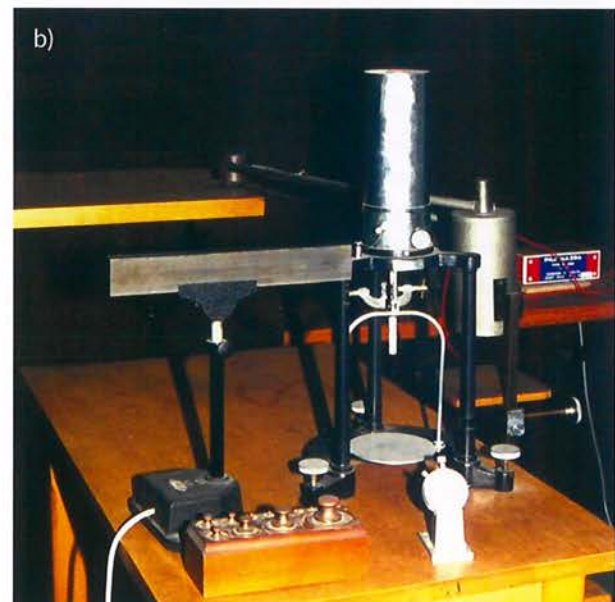
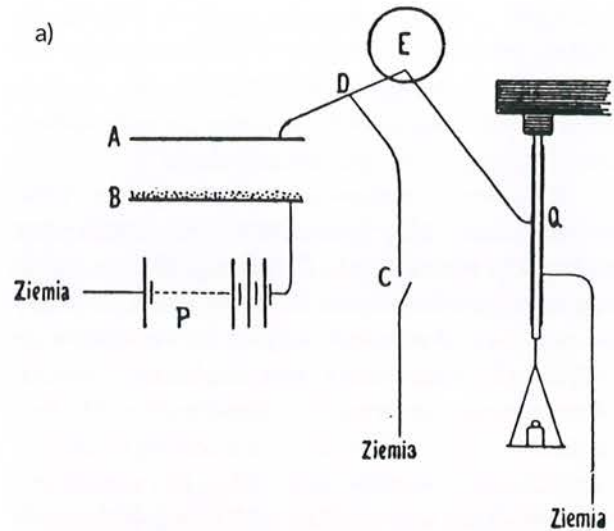
mgłowa Wilsona była szeroko stosowana aż do początku lat 50, głównie w fizyce cząstek elementarnych.

Prądy, wytworzone w eksperymentach ze wzbudzeniem przewodnictwa gazów, były bardzo słabe, potrzebne były bardzo czułe elektrometry do ich pomiaru. Lord Kelvin dowiedział się, że odpowiedni elektrometr zbudował we Francji Piotr Curie, wykorzystując odkryte przez siebie zjawisko piezoelektryczności. Zamówił taki elektrometr, a Piotr Curie dostarczył go osobiście do Anglii.

Pani Curie i rad

Tak więc Piotr Curie widział, że na Wyspach zajmują się m.in. promieniowaniem uranowym, zapewne wspominał o tym żonie. Pani Piotrowa Curie (tak sygnowała prace: Madame Pierre Curie) przystąpiła do badań. O ile dla Kelvina czy Rutherforda obiektem badań był prąd, a promienie uranu narzędziem do jego wytwarzania, dla pani Skłodowskiej-Curie obiektem było promieniowanie, a jego miarą natężenie wytworzonego prądu. Takie podejście pozwoliło na ilościowe ujęcie problemu. Maria nie prowadziła poszukiwań źródeł promieniowania w sposób przypadkowy, jak poprzednicy: żaden pieprz, cynamon, piżmo czy świetliki; postawiła pytanie jakie *pierwiastki* lub związki chemiczne są odpowiedzialne za ten typ promieniowania.

Zasadniczą część jej aparatury (rys. 3) nazwalibyśmy dziś „komorą jonizacyjną” – dwie płytki metalowe o średnicy 8 cm oddalone o 3 cm. Na dolnej płytce na potencjale +100 V umieszczała odmierzoną ilość



Rys. 3. Aparatura Marii Skłodowskiej a) schemat (rysunek z rozprawy doktorskiej Marii Skłodowskiej), b) zdjęcie identycznej aparatury zachowanej w Uniwersytecie Pasteura w Sztrasburgu (foto Gilles Duplâtre)

drobno sproszkowanej próbki, płytka górna w chwili rozpoczęcia pomiaru była na potencjale zero⁴. W czasie pomiaru na górnej płytce gromadził się ładunek przyniesiony przez jony. Ładunek ten był równoważony przez ładunki z piezokwarcu poddanego obciążeniu. Płytki i piezokwarc były połączone z elektrometrem; należało dokładać systematycznie masy obciążającej tak, aby elektrometr stale wskazywał zerowy

4. Posługiwanie się napięciem 100 V nie wzbudza dziś żadnej uwagi. Ale w końcu XIX wieku jedynym praktycznie źródłem stałego napięcia były ogniwa, akumulatory. Stosowanie napięcia 100 V oznaczało połączenie szeregowo 50 akumulatorów. Baterie ogniwa stosowano nawet do otrzymywania napięć rzędu tysięcy woltów.

potencjał. Miarą natężenia prądu (i aktywności próbki) była masa dokładana w jednostce czasu. Na oznaczenie badanego zjawiska Skłodowska wprowadziła nazwę „radioactivité” i polską „promieniotwórczość” (początkowo: „promieniowalność”).

Skłodowska wykazała, że promieniają tylko związki uranu i toru (promieniotwórczość tych ostatnich odkrył niezależnie G. C. Schmidt [20]), co więcej, natężenie promieniowania związków uranu nie zależy od struktury chemicznej związku ani czynników zewnętrznych (temperatura, stan skupienia), a jedynie od masy uranu zawartego w badanej próbce [21]. Promieniotwórczość jest własnością atomową uranu. To samo dotyczy związków toru. Dalszy pierwiastek promieniotwórczy, aktywny, odkrył w 1899 współpracownik państwa Curie – André Debierne [22].

Oprócz prostych związków uranu Skłodowska badała też minerały. O ile w warunkach jej doświadczenia czysty uran wytwarzał prąd jonowy $2,3 \times 10^{-11}$ A, to ta sama ilość blendy smolistej z kopalni Johannegeorgenstadt dawała $8,3 \times 10^{-11}$ A, zaś z kopalni w Jachymowie $7,0 \times 10^{-11}$ A. Główny składnik blendy stanowi uwodniony fosforan miedziowo-uranylowy. Skłodowska zsyntetyzowała ten związek z czystych odczynników; jego aktywność nie wykazywała anomalii, odpowiadała zawartości uranu. Doszła do wniosku, że za dodatkową aktywność musi być odpowiedzialny jakiś inny, nieznaný dotąd pierwiastek [23]. Hipotetyczny pierwiastek nazwała polonem (*polonium*) na cześć swojej ojczyzny. Równocześnie z komunikatem do Akademii Nauk wysłała do kraju artykuł informujący o nowym pierwiastku. Artykuł ukazał się w czasopiśmie „Światło” (rys. 4) poświęconym fotografii [24]. Może wydawać się dziwne dlaczego tam, ale „Światło” było wydawane (i finansowane) przez Jadwigę Golczównę, koleżankę Marii z lat szkolnych, która wraz ze szwagrem Marii, Stanisławem Szalayem, prowadziła renomowane studio fotograficzne w warszawskim Hotelu Bristol. Golczówna, w stałym kontakcie z rodziną Skłodowskich, namówiła też cioteczne go brata Marii, Józefa Boguskiego, aby został redaktorem naczelnym „Światła”. Jednym słowem był to „rodzinny biznes” (upadł bardzo szybko).

Anomalna „nadaktywność” rudy z Jachymowa była tylko podstawą do wysunięcia hipotezy o nowym pierwiastku. Należało dowieść, że taki faktycznie istnieje. Dowodem mogło być np. specyficzne widmo optyczne światła emitowanego przez ów pierwiastek. W końcu lat 1850. powstała spektroskopia atomowa. Kirchhoff wykazał, że każdy z pierwiastków wysyła światło o charakterystycznych dla siebie długościach fal świetlnych („linie widmowe”). Właśnie na podstawie nieznaných dotąd linii widmowych Bunsen



MIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY FOTOGRAFII *
№ 2. * I WIADOMOŚCIOM Z NIĄ ZWIĄZANYM. № 2.

Warszawa w Listopadzie 1898 r.

Poszukiwania nowego metalu w pechblendzie

przez panią Maryę Skłodowską—Curie.

(nadesłane do Redakcyi, d. 18 Października 1898 roku.)

Wspólnie z p. Piotrem Curie wykazałam w niedawno ogłoszonej pracy, że pechblendza zawiera prawdopodobnie nowy, nieznaný dotychczas metal, który nazwaliśmy Polonem.

Punktem wyjścia tych poszukiwań była dawniejsza moja praca nad promieniami uranowymi, które odkrył p. Becquerel. Uczony ten przekonał się w roku 1896, że uran i jego połączenia wytwarzają obrazy fotograficzne na kliszach, zamkniętych całkowicie w czarnym papierze, zupełnie nieprzezroczystym dla światła. P. Becquerel przypuszczał początkowo, że sole uranowe fosforyzują po poddaniu ich działaniu światła i że promienie tej fosforescencji, chociaż nie działają na siatkówkę oka (są niewidzialne), mają jednak własność przenikania przez ciała nieprzezroczyste i wytwarzania obrazów na kliszach.

Rys. 4. Strona tytułowa czasopisma „Światło” i fragment artykułu Marii Skłodowskiej—Curie

wykazał w 1860 istnienie dwóch nowych pierwiastków: rubidu i cezu.

Aby uznano istnienie nowego pierwiastka należało podać przykładowe długości fal emitowanych przezeń linii, ponadto jego masę atomową, w końcu – wydzielić go w czystej postaci. Maria przystąpiła do prób wydzielenia z rudy nowego pierwiastka, do jej prac przyłączył się i Piotr, który przypuszczał, że jego udział jest tylko chwilowy i będzie mógł wrócić do swych studiów nad magnetyzmem. Stało się inaczej.

Zawartość nowego pierwiastka w blendzie okazała się znikoma. Maria dokonała analizy chemicznej rudy, rozdzielając frakcje należące do różnych pierwiastków. Jak oświadczyła później:

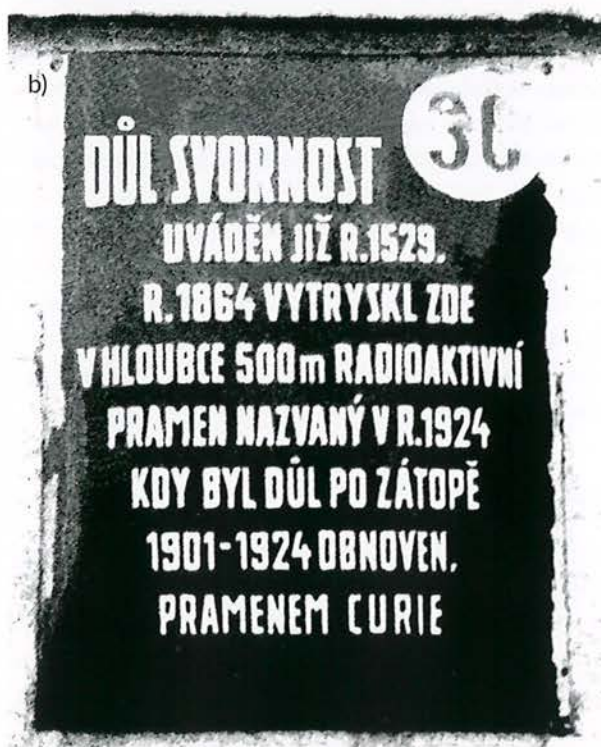
– „Gdyby mnie w Warszawie dobrze nie nauczyli analizy profesor Napoleon Millicer i jego asystent doktor Kossakowski, nie wydzieliłabym radu”

Frakcja bizmutowa wykazała aktywność 400 razy większą niż ta sama ilość rudy. Poproszono specjalistę od analizy spektroskopowej, Eugène Demarçay o zbadanie jej widma optycznego – linii należących do nieznanego pierwiastka nie znaleziono. Widocznie zawartość „polonu” we frakcji bizmutowej była nadal znikoma. Sytuacja przypominała tę z prac Bun-

sena: potrzebował on 44 tony wody mineralnej aby wydzielić po ok. 6 g rubidu i cezu. Aby otrzymać mierzalną ilość nowego pierwiastka potrzebne były znaczne ilości rudy uranowej. Dzięki staraniom prof. Edwarda Süssa z uniwersytetu wiedeńskiego rząd Austro-Węgier odstąpił bezpłatnie 100 kg odpadów po wydobyciu uranu w Jachymowie, a następnie 500 kg. Po obróbce chemicznej okazało się, że aktywność towarzyszy dwu frakcjom, bizmutowej i barowej. Są więc dwa nowe pierwiastki promieniotwórcze! Ten drugi, podobny chemicznie do baru, Maria nazwała *radem* [25]. Istnienie takiego pierwiastka początkowo budziło w świecie naukowym wątpliwości. Rutherford sugerował, że duża aktywność może być związana ze złożoną strukturą rudy, lord Kelvin przypuszczał że nie jest to pierwiastek, a związek ołowiu i helu $PbHe_5$. Potrzebne były dalsze badania.

Frakcja barowa po starannym oczyszczeniu wykazywała aktywność 7500 razy większą niż czysty uran, w końcu nawet 100 000 razy większą. Teraz Demarçay już znalazł w bliskim nadfiolecie nieznaną dotąd linię o długości fali 381,48 nm [26] – musiała należeć do radu. Ale frakcja nadal składała się głównie z baru, potrzeba było więcej rudy uranowej. Tej rząd austriacki nie chciał już odstąpić darmo, za 8 ton zapłacił baron Edmond de Rothschild (był członkiem honorowym francuskiej Akademii Nauk, czuł się niejako zobowiązany do pomocy finansowej). Obróbka chemiczna ośmiu ton rudy stanowiła ogromny wysiłek, nawet dosłownie fizyczny (o ile łatwiej było Bunsenowi odparowywać tony wody...) w prymitywnych warunkach, przy szopie stanowiącej poprzednio prosekorium. Proszę sobie wyobrazić traktowanie ton rudy siarkowodorem. W roku 1902 Marii udało się wydzielić 0,1 g czystego radu i określić liczbę masową: 225 ± 1 [27].

Z chwilą odkrycia radu nastąpił renesans badań nad promieniotwórczością. Do badań powrócił Becquerel. Zainteresowanie wzrosło dodatkowo po odkryciu przez Piotra Curie i Becquerela działania fizjologicznego promieniowania, co dawało perspektywę użycia go w terapii nowotworów. Pojawiło się zapotrzebowanie na rad. W roku 1899 niemiecki chemik Friedrich Oskar Giesel (ur. w Wińsku, Dolny Śląsk) udoskonalił proces wydzielenia radu i rozpoczął produkcję w celach handlowych w zakładach E. de Haën w Brunzwiku i Hannoverze. Rad stał się dostępny, choć Frederick Soddy chyba trochę pofantazjował twierdząc, że płacił Gieselowi zaledwie 8 szylingów za miligram czystego bromku radu. Nie mniej, bez problemu Giesel mógł dostarczyć np. 2 g radu S. Mayerowi i E. von Schweidlerowi do badania własności magnetycznych pierwiastka (ci dwaj wkrótce rozpoczęli też własną produkcję radu w Austrii).



Rys. 5. a) Ratusz w Jachymowie. W tle po prawej wieża wyciągowa kopalni uranu „Svornost”, skąd Skłodowska otrzymywała blendę smolistą, b) tablica pamiątkowa obok szybu, do którego zjechała Skłodowska podczas odwiedzin Jachymowa w r. 1925)

We Francji w 1904 Émile Armet de l'Isle uruchomił w swoich zakładach w Nogent-sur-Marne koło Paryża linię do ekstrakcji radu z odpadów blendy smolistej; on też założył czasopismo naukowe „Le Radium”. Pojawił się nowy problem: rząd Austro-Węgier zabronił eksportu rud uranowych za granicę, ruda z Jachymowa stała się niedostępna, należało szukać innych źródeł. W późniejszych latach praktycznie monopolistą w produkcji radu (i uranu) stały się zakłady Union Minière de Haute-Katanga w Oolen w Belgii, korzystające z kopalń w Kongo. Przyjęła się też praktyka wypożyczania źródeł radowych.

Wynalazca dynamitu, Alfred Nobel, w testamencie ustanowił nagrody w kilku dziedzinach, m.in. „za odkrycia i wynalazki na polu fizyki”. Po raz pierwszy, w roku 1901, nagrodę otrzymał Röntgen, w 1902 członkowie francuskiej Akademii Nauk zgłosili Becquerela, Piotra i Marię Curie, zwycięzcą okazał się jednak Pieter Zeeman. W następnym roku Francja (dokładniej akademicy Lippman, Darboux, Poincaré i Mascart) proponowała uhonorować Becquerela i Piotra Curie, bez Marii. Członek szwedzkiej akademii nauk, matematyk Gösta Mittag-Leffler, uważał pominięcie Marii za dyskryminację; napisał do Piotra, aby upomniął się o uhonorowanie zasług Marii. Starania Lefflera odniosły skutek, nagroda została przyznana trojgu badaczy. Mittag-Leffler był zwolennikiem równouprawnienia kobiet i już wcześniej spowodował zatrudnienie na uniwersytecie sztokholmskim rosyjskiej matematyczki, Sofii Kowalewskiej, która w Rosji nie mogłaby, jako kobieta, objąć katedry uniwersyteckiej. Nagrodę w roku 1903 przyznano po dyskusji; bowiem trwał nadal zalew pseudo-odkryć nowych rodzajów promieniowania (o czym była mowa wyżej), chemicy byli zdania, że może lepiej poczekać, aż wiedza o promieniowaniu „uranowym” się trochę wzbogaci.

Alfa i beta

Badania nad promieniotwórczością koncentrowały się w dwóch ośrodkach: we Francji wokół państwa Curie i w Kanadzie w zespole Rutherforda. Maria zajmowała się stroną chemiczną: co jest źródłem promieniowania, wyodrębnianiem nowych substancji promieniotwórczych; Rutherford – stroną fizyczną, co jest wypromieniowywane (zaś nagrodę Nobla w 1903 Maria otrzymała z fizyki, a Rutherford w 1908 z chemii...). Warto wspomnieć, że na przełomie wieków z Rutherfordem pracowali w Montrealu m.in. F. Soddy (Nobel 1921) i Otto Hahn (Nobel 1944)⁵. W owym czasie

tempo prac nad promieniotwórczością było bardzo duże. Rutherford pisał do teściowej:

„muszę publikować swoje prace tak szybko jak to możliwe, aby utrzymać się w wyścigu. Najlepszymi sprinterami na tej drodze są Becquerel i państwo Curie, którzy w ostatnich latach wykonali mnóstwo doniosłych prac na temat ciał radioaktywnych”.

Nawet czas potrzebny na przesłanie publikacji (statkiem) z Ameryki do druku w europejskich czasopismach mógł stanowić utrudnienie w wyścigu⁶. W jeszcze trudniejszej sytuacji był zatem William Bragg, pracujący aż w Australii.

W 1899 Rutherford początkowo miał do dyspozycji tylko uran i tor; stwierdził, że emitowane promieniowanie jest niejednorodne, są dwa rodzaje promieniowania, o różnych zdolnościach przenikania przez materię. Słabo przenikające nazwał *promieniami α* , bardziej przenikliwe – β [18]. Można było spodziewać się, że mogą istnieć dalsze rodzaje promieniowania wysyłanego przez pierwiastki ciężkie. Identyfikacja promieniowań mogła następować przez określenie zdolności przenikania, jak powyżej, bądź poprzez działanie pola magnetycznego – promienie odchylające się w polu lub nie. Detekcja promieniowania następowała przez efekt jonizacji wywołany przez nie, lub zaczernianie kliszy fotograficznej (ew. fluorescencję ekranu).

Do promieni „odchylalnych” (*deflectable*) zaliczały się promienie β . Promienie α początkowo uważano za „nieodchylalne”; przy dość prymitywnych wersjach eksperymentu ich odchylenie w polu magnetycznym było niezauważalne.

„Odchylalne” promieniowanie β zostało szybko zidentyfikowane i zbadane.

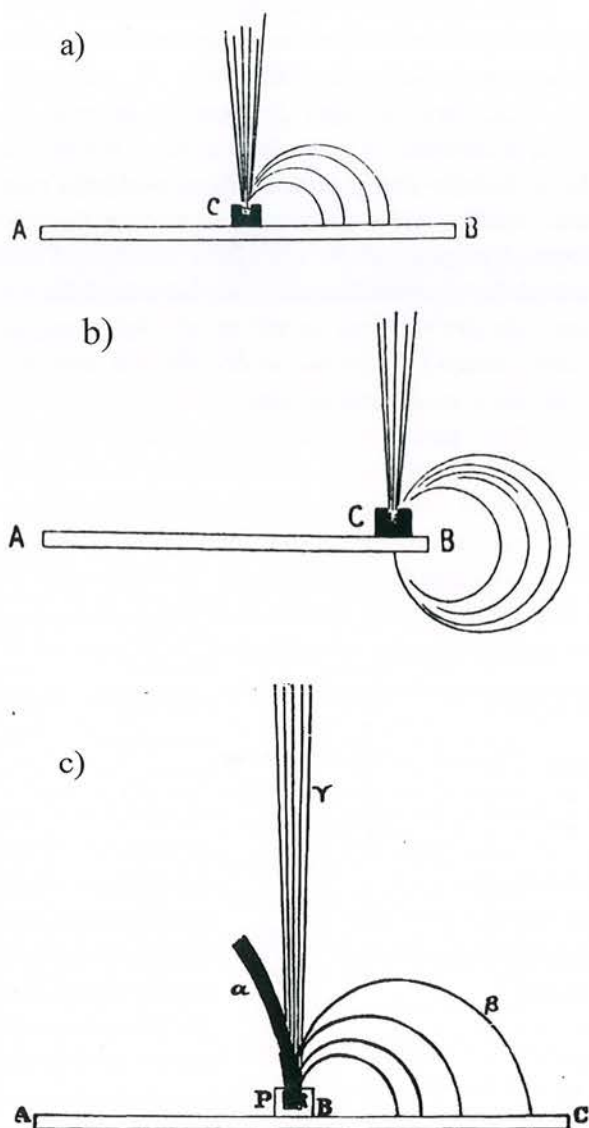
Państwo Curie udostępniali zainteresowanym źródła radowe. Na tych źródłach w końcu roku 1899 i w 1900 Becquerel wykonał szereg doświadczeń z odchylaniem torów promieni β w polu magnetycznym i elektrycznym, pozwoliło mu to wyznaczyć stosunek ładunku do masy q/m cząstek β i wykazać że jest on podobny jak dla promieni katodowych; promienie β okazały się identyczne z elektronami Thomsona⁷.

Becquerel ustawił pojemnik ołowiany z próbką radu wewnątrz, na poziomej kliszy fotograficznej [28]. Wiązka promieniowania wybiegała z kanału

5. W roku 1905 w Montrealu pracował z Rutherfordem Tadeusz Godlewski, później profesor Politechniki Lwowskiej.

6. Gdy przegląda się publikacje z przełomu wieków, rzuca się w oczy bardzo różna forma komunikatów naukowych francuskich i angielskich. Prace francuskie są krótkimi raportami z posiedzeń Akademii Nauk (1–4 stron), angielskie zaś są obszernymi referatami, zawierającymi wiele szczegółów (20–50 stron).

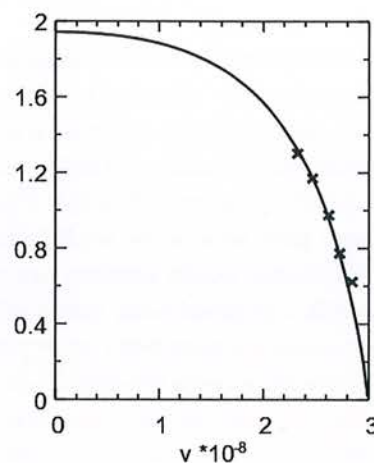
7. Skłodowska: „nie są to nawet swobodne atomy chemiczne, ale drobne cząstki atomów, obdarzone prędkościami niezmiernymi” [29].



Rys. 6. Doświadczenia Becquerela z cząstkami β w polu magnetycznym. a) klisza emulsją do góry, b) klisza emulsją do dołu (rysunki z referatu Skłodowskiej-Curie przedstawionego w Krakowie w r. 1900 [29]); c) rysunek z jej rozprawy doktorskiej z r. 1903 [30]

w pojemniku w kierunku pionowym. Pojemnik i kliszę umieścił w polu magnetycznym prostopadłym do kierunku wiązki. Wywołana klisza wykazała smugę zaczernienia – promienie β odchylone w polu osiadały na kliszy w różnych odległościach od pojemnika. Becquerel powtórzył eksperyment kilkakrotnie, przykrywając kliszę co raz to grubszymi foliami aluminiowymi. Im grubsza była folia tym szerszy przedział kliszy, licząc od pojemnika, był niezaczerniony. Zatem widmo energetyczne promieni β jest ciągłe; im mniejsza energia, tym mniejszy promień toru elektronu i mniejsza zdolność przenikania przez folię.

W poprzecznym polu magnetycznym cząstki naładowane (cząstki β) poruszają się po torach



Rys. 7. Rysunek według pracy Kaufmanna [31], przedstawiający zależność stosunku q/m od prędkości cząstek β (krzyżyki – punkty doświadczalne; linia ciągła – krzywa teoretyczna)

kołowych. Becquerel ustawił pojemnik z poprzedniego doświadczenia blisko brzegu kliszy, odwróconej emulsją do dołu. Klisza została zaczerniona w punkcie naprzeciw pojemnika; cząstki zakreślały pełny okrąg.

Becquerel opisał swoje eksperymenty magnetyczne w biuletynie *Comptes Rendus* Akademii Nauk, gdzie na ogół nie zamieszczano rysunków. Jak wyglądała realizacja doświadczenia Becquerela, przedstawiała graficznie Maria Curie w wykładzie na Zjeździe Lekarzy i Przyrodników Polskich w Krakowie w r. 1900 (Rys. 6). Promienie α na tym rysunku są jeszcze przedstawione jako „nieodchylalne” [29]. W swojej pracy doktorskiej w r. 1903 [30] rysunek poprawiła i uzupełniła: umieściła tam realistycznie wykreślone tory, po jakich biegłyby dodatnio naładowane krótkozasięgowe cząstki α i kierunek wiązki promieni γ (o tym będzie mowa poniżej). Rysunek ten dziś stanowi coś w rodzaju godła nauki o promieniotwórczości.

Wkrótce, już w roku 1901, Walter Kaufmann wykonał precyzyjne pomiary stosunku q/m dla cząstek β wysyłanych przez rad stosując równoległe pola elektryczne i magnetyczne [31]. W tym przypadku pola działały na cząstki w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach i na kliszy ustawionej prostopadle do wiązki cząstek dawały zaczernienie w postaci krzywek, dla której parametrem była prędkość cząstek. Pozwoliło to stwierdzić, że masa elektronów rośnie wraz z prędkością (najszybsze cząstki β osiągały 0,95 prędkości światła c , a wtedy masa elektronu była ponad trzykrotnie większa od jego masy spoczynkowej; p. rys. 7). Warto może wspomnieć, że cała komora pomiarowa, mieszcząca źródło radu, szczeliny wydzielające wiązkę cząstek, płytki do odchylenia w polu elektrycznym, kliszę, miała wymiary zaledwie $2 \times 3 \times 4,5$ cm (jak pudełko zapafek...).

Promienie α

W roku 1900 inny eksperyment z użyciem pola magnetycznego⁸ wykonał Paul Villard [32]. Otrzymany od państwa Curie rad umieścił w pojemniku ołowianym, w głębi przewierconego kanału, formując w ten sposób dość wąską wiązkę promieni. Rad był w pojemniku szklanym, więc promienie α nie wydobywały się na zewnątrz. Na drodze wiązki umieścił zestaw dwóch płytek szklanych o grubości 1 cm, pokrytych emulsją fotograficzną. Zestaw umieszczony był w polu magnetycznym tak, że wiązka biegła prostopadłe do kierunku wektora indukcji magnetycznej. Po wywołaniu na pierwszej płytce widać było dwa ślady; jeden wyraźny, drugi rozmyty i odchylony od pierwotnego kierunku. Na płytce drugiej był tylko jeden ślad, nieodchylony i niewiele osłabiony; dodanie płytki ołowianej 0,3 mm między warstwami szkła niewiele zmieniło. W promieniowaniu była więc składowa, na którą nie działa pole magnetyczne i dużo bardziej przenikliwa niż promienie β . Rutherford zaproponował nazwać tę składową promieniami γ . Przez kilka lat promienie γ nie wzbudziły większego zainteresowania, głównie z powodu bardzo słabej jonizacji wywoływanej przez nie. W r.1900 Skłodowska tylko wzmiankuje [29], że „rad wysyła także promienie bardzo przenikliwe [...], płytka ołowiu mająca kilka cm grubości nie wystarcza do zatrzymania wszystkich jego promieni”. W roku 1902 Rutherford badał absorpcję promieni „przenikliwych i nieodchylalnych” radu (0,7 g radu od Giesela) w funkcji grubości różnych absorbentów i stwierdził, że na osłabienie wiązki promieni γ o połowę potrzeba warstwy 0,9 cm ołowiu lub 2,2 cm miedzi [33]. O naturze promieni γ sądził błędnie, że są to elektrony o prędkości równej prędkości światła w próżni. Było to przed opublikowaniem prac Einsteina czy Lorentza, ale już po publikacjach J. J. Thompsona i G. F. C. Searle (1897), w których na podstawie elektromagnetycznej teorii masy [34] przewidywano wzrost masy cząstki naładowanej wraz z prędkością; gdy zbliżała się ona do prędkości światła masa miała zdążać do nieskończoności. Podobną teorię opublikował Max Abraham [35]. Zjawisko wzrostu masy elektronu z prędkością było już znane Rutherfordowi z pracy Kaufmanna⁹.

8. Podobnie jak w przypadku wysokich napięć, przy ówczesnym stanie elektrotechniki nie było łatwo o odpowiednie zasilanie elektromagnesów. Istniała już sieć oświetleniowa o napięciu 110 lub 220 V, ale był to zazwyczaj prąd przemienny. Kaufmann, w opisanym wyżej doświadczeniu, zasilął elektromagnes z baterii akumulatorów o pojemności 100 Ah, co zapewniało pracę elektromagnesu przez 4 dni. Rutherford stosował „dynamo Edisona” (prądnicę prądu stałego).

9. Krzywa „teoretyczna” na rys. 7 jest poprowadzona według teorii Abrahama.

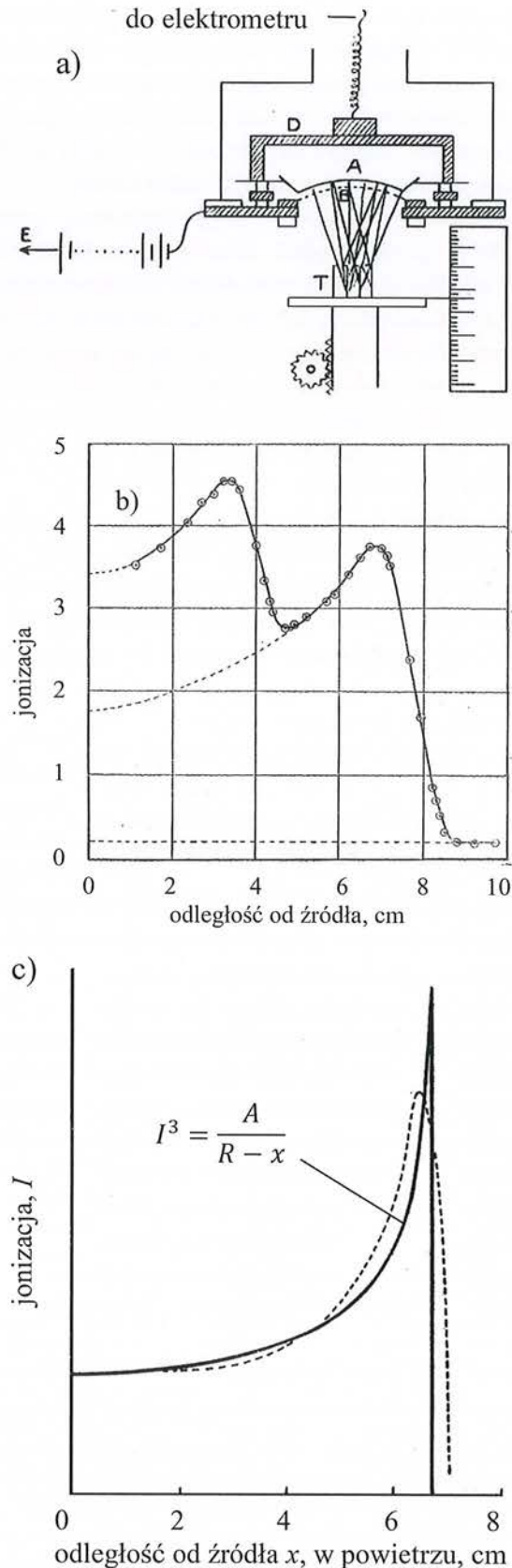
Zatem promienie γ miały być elektronami nie dającymi się odchylić w polu magnetycznym z powodu nieskończonej masy (lub zbliżonej). W roku 1903 R. J. Strutt (lord Rayleigh) [36] wysunął przypuszczenie, że promienie γ to po prostu promienie rentgenowskie wzbudzone przez cząstki β . Skoro promienie katodowe wytwarzają rentgenowskie, to powinno to samo dotyczyć promieni β . W roku 1904 McClelland [37] stwierdził, że promienie γ nie niosą ładunku elektrycznego, ale aby wykazać, że jest to fala elektromagnetyczna, trzeba było czekać aż do odkrycia dyfrakcji promieniowania krótkofalowego na sieci krystalicznej (Laue 1912). Jeszcze na podstawie zależności absorpcji od grubości pochłaniacza F. Soddy, pani W. M. Soddy i A. S. Russel zasugerowali (1910), że promieniowanie γ musi mieć złożoną strukturę [38]. Pomiary dyfrakcyjne wykonane przez Rutherforda i da Costa Andrade w 1914 przy użyciu kryształów NaCl [39] potwierdziły ten złożony charakter i wykazały, że w gruncie rzeczy obserwowane promieniowanie przenikliwe to, tak jak przypuszczał Strutt, głównie znane już wówczas z prac Henry Moseleya w tym samym laboratorium, charakterystyczne promieniowanie rentgenowskie (serie K i L) pierwiastków uczestniczących w procesach promieniotwórczych. Ale jeszcze w tym samym roku Rutherford znalazł w promieniowaniu składową o częstotliwości „siedem razy większej niż dla linii K srebra” [40]. Ekstrapolując dane Moseleya o częstotliwościach linii K do końca układu okresowego stwierdził, że jest to znacznie więcej niż należy się spodziewać nawet dla linii K uranu, więc nie może to być promieniowanie rentgenowskie, tylko fala innego pochodzenia. Kwanty promieni γ miały wyjątkowo duże energie, dochodzące do 1,7 MeV. Warto wspomnieć, że w pracach z tego okresu mówi się o częstotliwościach fali i tylko warunkowo „gdyby zaakceptować wzór Plancka $E = h\nu$, to...”. Na posługiwanie się pojęciem kwantu było jeszcze wcześnie.

Własności promieni alfa

W początkach badań nad promieniotwórczością interesowano się głównie procesami z udziałem cząstek α dających duże natężenie prądu jonizacyjnego, promieniowanie β wydawało się jakimś procesem wtórnym (tak jak i promieniowanie γ). O ile natura promieni β została szybko poznana, to ostateczna identyfikacja promieni α zajęła kilka dalszych lat. Na razie było wiadomo tyle, że są bardzo mało przenikliwe, szybko tracą energię silnie jonizując ośrodek, przez który przecho- dzą. Wydawało się ponadto, że nie podlegają odchyleniu w polu magnetycznym, choć już od r. 1901 wysuwano przypuszczenie (Rayleigh, Crookes), że niosą

ładunek dodatni. Oszacowano, że cząstka α produkuje na swej drodze kilkadziesiąt tysięcy jonów, musi więc mieć znaczną energię. Cząstka wzbudza też molekuly w otoczeniu, wytworzone jony rekombinują, oba te procesy prowadzą do emisji światła m.in. w obszarze widzialnym. W otoczeniu próbki 1 g radu świecenie to jest tak silne, że jak pisze Skłodowska, w tym oświetleniu „można z łatwością czytać gazetę” [29].

Zasięg cząstek α w folii aluminiowej wynosił kilkadziesiąt mikrometrów, w powietrzu pod normalnym ciśnieniem było to 5–8 cm. Wg pomiarów McClunga [41] folia aluminiowa o grubości $3,1 \mu\text{m}$ jest równoważna warstwie powietrza pod ciśnieniem normalnym około 5,1 mm. O ile widmo energetyczne promieni β było ciągłe, to cząstki α z określonego źródła wydawały się monoenergetyczne, miały ten sam zasięg, charakterystyczny dla każdego emitera. Przebieg natężenia jonizacji wzdłuż toru cząstki można było prześledzić stosując metodę opracowaną przez Williama Bragga (Nobel 1915), pracującego wówczas w Adelaidzie w Australii [42]. Aparatura była podobna jak w pracach Marii Curie, tylko komora jonizacyjna była zmodyfikowana: dwie płytki były oddalone od siebie zaledwie o 5 mm, dolna wykonana była z siatki, przez oczka do wnętrza mogły dostawać się cząstki α ze źródła umieszczonego poniżej (w udoskonalonej wersji płytki komory miały kształt wycinka kuli; zapewniało to w przybliżeniu jednakową długość drogi cząstek przed wejściem do komory mimo znacznej rozbieżności kątowej wiązki, p. rys. 8). Mierzono prąd jonów wytworzonych między płytkami jako funkcję odległości źródła od dolnej płytki („krzywa Bragga”). Stwierdzono, że natężenie jonizacji (liczba tworzonych jonów na jednostkę drogi) wzrasta wraz z wytracaniem energii przez cząstkę α , po czym zanika dość ostro, jak należało się spodziewać dla cząstek monoenergetycznych. Widać to na przykładzie pomiarów przedstawionych na rys. 8, a wykonanych przez Otto Hahna [43] na jednym ze źródeł promieniowania; w tym przypadku źródło emitowało dwie grupy cząstek α o różnych zasięgach (źródło zawierało dwa pierwiastki aktywne). Przy zastosowaniu metody Bragga zasięg cząstek nie mógł być wyznaczony bardzo dokładnie z powodu stosunkowo dużej, w porównaniu z zasięgiem, odległości płytek komory. Aby podnieść dokładność Hahn wykorzystał zjawisko scyntylacji: cząstki α , uderzając w ekran w postaci cienkiej warstwy siarczku cynku naniesionej na podkładkę szklaną, wywoływały punktowy rozbłysk (scyntylację) obserwowaną przez mikroskop. Scyntylacje wywołane przez cząstki α z pomiarów jak na rys. 8 były dobrze widoczne przy odległości ekranu od źródła 8,0 cm, a zniknęły całkowicie przy 8,3 cm. Prace Hahna należały do



Rys. 8. a) Aparatura Bragga do pomiaru natężenia jonizacji wzdłuż toru cząstki α . Płytki A i siatka B stanowią komorę jonizacyjną. b) krzywa Bragga dla próbki zawierającej dwa źródła cząstek α o różnych energiach [43], c) krzywa teoretyczna natężenia jonizacji wzdłuż toru cząstki według Geigera [45] – linia ciągła i jej rozmycie przez uśrednienie po przedziale kilku mm zasięgu – linia przerywana

pierwszych doświadczeń z obserwacją pojedynczych cząstek¹⁰. Regener [44] też obserwował scyntyłację przykrywając źródło cząstek α folią aluminiową. Liczba scyntytacji w jednostce czasu nie zależała od grubości folii, dopiero gdy grubość ta zbliżała się do zasięgu cząstek, zmniejszała się bardzo szybko.

Dokładne badania jonizacji wywołanej przez cząstki α przeprowadził nieco później Hans Geiger [45]. Pomiary jego potwierdziły monoenergetyczność emitowanych cząstek, która utrzymuje się na prawie całej ich drodze (mimo zmniejszania się ich prędkości) i dopiero na ostatnim centymetrze pojawia się pewien rozrzut energii, da się też zauważyć rozpraszanie, co w sumie prowadzi do niewielkiego rozrzutu zasięgów, rzędu kilku mm.

Kanadyjski ośrodek badań nad promieniotwórczością zanikł w pierwszej dekadzie XX wieku. Soddy powrócił do Anglii wiosną 1904, Rutherford w 1907, Hahn opuścił Kanadę też w 1907. Nowy zespół Rutherforda powstał w Manchesterze, dołączył do niego Hans Geiger, wynalazca licznika gazowego cząstek, od 1910 pracowali tam: Kazimierz Fajans¹¹, György Hevesy (Nobel 1943), od 1911 James Chadwick (Nobel 1935), a także Henry G. J. Moseley, twórca wspomnianego wyżej prawa wiążącego częstotliwość linii charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego z liczbą porządkową w układzie okresowym pierwiastków. Wiosną 1912 pracował tam Niels Bohr (Nobel 1922), przewinął się też Amerykanin Alois Kovarik¹², który jako pierwszy wprowadził elektroniczną rejestrację sygnałów z licznika Geigera. W latach poprzedzających I wojnę światową (na której w wieku 28 lat zginie Moseley, a Chadwick będzie internowany w Niemczech) laboratorium Rutherforda stało się centrum badań nad promieniowaniem. A. S. Eve (też współpracujący z zespołem i autor biografii Rutherforda) napisał:

„(Ludzie pytają) *co to za facet, co wygląda jak wieśniak, mówi z okropnym akcentem i pewnie nie wierzy w nieśmiertelność? Odpowiadam: to jest król, i nie ważne z czego jest jego korona i czym pastuje buty*”¹³.

Skłodowska-Curie jest w tym czasie głównie organizatorem ośrodka badań w Paryżu, skupia wielu

znakomitych współpracowników, zdobywa fundusze na prowadzenia badań. O ile na początku na zdobycie „własnego” grama radu musiała korzystać z publicznej zbiórki pieniędzy przeprowadzonej w Stanach Zjedn. przez panią Maloney, to później już nie brakowało materiału do badań, np. firma Union Minière z Oolen przekazała jej w formie „pożyczki” 1 g radu w 1923, dalszy gram w 1924, 4 gramy w 1926 i 6 gramów w 1932.

Emanacja

W początkach badań nad promieniotwórczością wydawało się, że oprócz cząstek α , β , γ (włączając w to i promieniowanie X) mogą być emitowane jeszcze inne obiekty. W roku 1899 Maria i Piotr Curie zauważyli, że gdy w pobliżu preparatu radowego umieścić jakieś ciało, to staje się ono również promieniotwórcze i po usunięciu radu z jego otoczenia pozostaje aktywne jeszcze przez kilka dni [46]. Nazywali to promieniotwórczością *indukowaną*. Wzbudzona promieniotwórczość nie zależała od rodzaju ciała, w którym została ona wytworzona. Wkrótce Rutherford [47] znalazł podobny efekt wzbudzania promieniotwórczości w pobliżu preparatu torowego. Dalsze badania wykazały, że nie jest to wzbudzona promieniotwórczość, a skutek adsorpcji na powierzchni ciała „emanacji” wydobywającej się z preparatów radowych lub torowych. Nie ma tego zjawiska w przypadku uranu, a jak stwierdził E. Dorn (rodem z Dobrego Miasta na Warmii) również w przypadku polonu [48]. Jeszcze w roku 1898 Maria Skłodowska [21] zaobserwowała, że przy ogrzewaniu blendy smolistej wydziela się gaz, którego radioaktywność utrzymuje się przez około miesiąc. Emanacja (termin wprowadzony też przez Rutherforda) mogła być parą substancji aktywnej, molekułami lub grupami molekuł zawierającymi atom aktywny, albo gazem promieniotwórczym. Prawdziwa okazała się ta ostatnia hipoteza. Cząstki emanacji są naładowane i łatwo są adsorbowane na przedmiotach na potencjale ujemnym (są jonami dodatnimi). Emanacja zgromadzona w naczyniu wykazuje własności zwykłego gazu: można ją wypompować z tego naczynia, skropić w niskiej temperaturze, odparować w temperaturze wyższej [49, 50]. W 1901 Rutherford i panna Harriet Brooks podjęli próbę wyznaczenia masy atomowej emanacji radowej na podstawie szybkości dyfuzyjnego mieszania się emanacji z kilkoma wybranymi gazami [51]. Oszacowanie było bardzo niedokładne, ale oceniono, że masa ta jest duża, leży w granicach 40–100 jednostek. Późniejsza próba Perkinsa [52] z wzajemną dyfuzją emanacji radu i par rtęci dała wynik aż 235.

10. Urządzenie z siarczkiem cynku, lupą i źródłem promieniowania (spintaryskop) było wynalezienie nieco wcześniej przez Crookesa, ale traktowane raczej jako zabawka (dostępna w handlu!)

11. Kazimierz Fajans urodził się i wychował w Warszawie, studiował w Niemczech, gdzie pozostał przez czas dłuższy, starał się bezskutecznie o katedrę chemii na Uniwersytecie Lwowskim, przeniósł się do Stanów Zjedn. Kilkakrotnie był proponowany do nagrody Nobla.

12. W czasie II wojny światowej uczestnik „Manhattan Project”.

13. Na studolowym banknocie nowozelandzkim jest portret Rutherforda, a więc i dosłownie zajął miejsce gdzie zwykle są królowie.

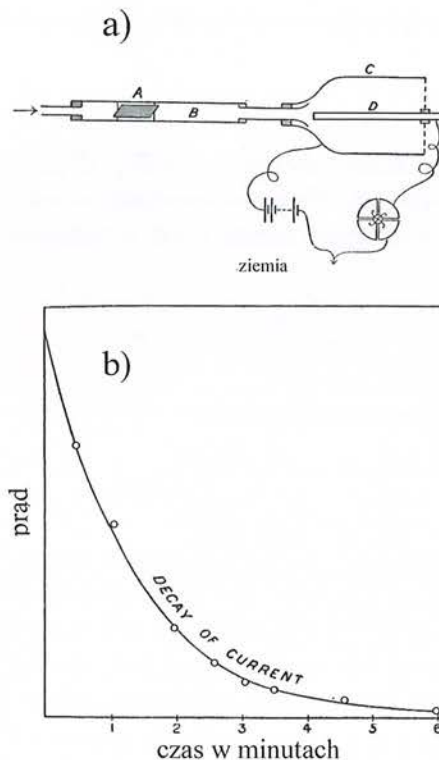
May Sybil Leslie¹⁴ oceniła masę atomową emanacji torowej metodą szybkości wypływu przez otworki na około 200 [53].

Obszerne badania własności chemicznych emanacji przeprowadził Soddy z Rutherfordem [54], a następnie z W. Ramsayem [55]. W przypadku silnych źródeł promieniowania można było zgromadzić mierzalne ilości emanacji radowej. Ramsay i R. W. Gray [55] zebrawszy ok. 0,6 μg emanacji tj. ok. 0,06 mm^3 w warunkach normalnych, mogli oszacować gęstość jaką miałyby w tych warunkach i stąd określić jej masę atomową na 220. Wszelkie próby przeprowadzenia reakcji chemicznych z emanacją zawiodły. Ramsay i Soddy stwierdzili, że emanacja jest gazem jednoatomowym, o własnościach analogicznych jak gazy szlachetne. A przecież w procesach promieniotwórczych wytwarzany jest jeszcze inny gaz szlachetny – hel! Widmo optyczne przypisane helowi zauważono w atmosferze Słońca w r. 1868, ale w warunkach ziemskich, materialnie, hel został znaleziony w 1895 przez P. T. Cleve i N. A. Langleta jako gaz wydobywający się z rudy uranowej, kleweitu; autorzy ci określili też jego masę atomową na 4 (niezależnie hel odkrył Ramsay przy okazji prac nad argonem). Wydobywanie się helu z czystego preparatu radowego stwierdzili Ramsay i Soddy [55, 57]. Skoro w procesach promieniotwórczych wytwarzany jest zarówno lekki gaz szlachetny, jak i gaz szlachetny o dużej masie atomowej, zachodziło podejrzenie, że dotyczyć to może wszystkich gazów szlachetnych. Testy przeprowadzone przez Ramsaya i Soddy'ego wykluczyły taką możliwość w przypadku neonu, argonu, kryptonu, tymczasem Debiere [58] odkrył powstawanie kolejnej emanacji gazowej w rozpadzie aktynu. May Sybil Leslie porównując szybkość dyfuzji emanacji torowej i aktynowej oceniła, że ich masy atomowe są w granicach błędnie jednakowe [59].

Mamy do czynienia z sytuacją, kiedy ciała stałe o prostym składzie chemicznym produkują gaz szlachetny, o podobnej jak one, bardzo dużej masie

14. Padły tu nazwiska Harriet Brooks i May Leslie. Warto pamiętać, że były to czasy, kiedy w Anglii jeszcze działały sufrażystki, na całym świecie kobiety walczyły o swoje prawa. Przełom dokonany przez Skłodowską-Curie otworzył kobietom dostęp do działalności naukowej. Z Rutherfordem i Soddym współpracowało wiele pań, poza wymienionymi wyżej, była tu Fanny Cook Gates, Ruth Pirret, pani W.M. Soddy, Jadwiga Szmidt (rodem z Łodzi; poprzednio dwa lata w laboratorium pani Curie). Może jakiś wpływ na to miały też zwyczaje nowozelandzkie – był to pierwszy kraj na świecie, który przyznał kobietom prawa wyborcze.

Wzorem madame Curie we wczesnych badaniach promieniotwórczości uczestniczyły dalsze panie, np. Lady Huggins, żona Sir Williama Hugginsa, badała widmo optyczne radu, panna E. G. Wilcock – rozkład jodoformu pod działaniem promieniowania radu. Pani Rutherford w badaniach udziału nie brała.



Rys. 9. Rys.9 Pomiar czasu życia toronu a) aparatura. A – bibułka z tlenkiem toru, C-D – komora jonizacyjna zamknięta ścianką z otworkami dla przepływu gazu, b) krzywa zaniku promieniowania toronu [47]

atomowej. Gaz ten jest promieniotwórczy, ale aktywność jego zanika w czasie. Wraz z zanikiem aktywności zanika i sam gaz, powstaje nowa substancja nie identyczna z wyjściową. Pomiar Rutherforda (1900) wykazały, że zanik emanacji odbywa się według prawa wykładniczego [47]. Próbkę torowa umieszczona była w bibułkowej kopercie w rurce szklanej, przez którą przepływał strumień powietrza porwany emanacją do rozszerzonej części rurki z dwoma koncentrycznymi elektrodami (rys. 9). Po pewnym czasie dopływ emanacji był przerwany i obserwowano natężenie prądu jonowego między elektrodami wraz z upływem czasu. Półokres zaniku (pojęcie też wprowadzone przez Rutherforda) dla emanacji torowej wynosił „nieco mniej niż minutę” (wg dzisiejszych danych 55,3 s). Natężenie prądu jonizacyjnego (jako miara aktywności) I było dane wzorem:

$$I = I_0 e^{-\lambda t},$$

gdzie I_0 jest natężeniem w chwili wyłączenia dopływu emanacji, λ jest stałą, charakterystyczną dla danego procesu, nazwaną „stałą zaniku”. W próbce zawierającej N atomów ich ubytek w czasie dt wynosi

$$dN = -N\lambda dt,$$

stąd wprost wynika wykładniczy zanik atomów

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

gdzie N_0 – liczba atomów w chwili początkowej (dowolnie wybranej). Natężenie promieniowania tj. liczba atomów n emanacji zanikających w jednostce czasu jest

$$n = \frac{dN}{dt} = N_0 \lambda e^{-\lambda t}.$$

Półokres zaniku jest zatem

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda.$$

Szybkość zaniku emanacji torowej mogła być wyznaczana także innym sposobem: próbka toru była umieszczona w rurze o długości 2 m, przy końcu rury umieszczona była komora jonizacyjna. Mierzono prąd jonizacyjny podczas kontrolowanego przepływu w rurze powietrza (wraz z emanacją) z prędkością 1 cm/s, w funkcji odległości komory od próbki przesuwanej wzdłuż rury.

Pomiary zaniku emanacji radu wykonał Piotr Curie (1902), dały one wynik: 3,98 dni [60] (dokładniej dziś: 3,82 d). Półokres zaniku emanacji aktywniej wyznaczony przez Debiernę'a wynosił zaledwie 3,9 s [61]. Pomiary Debiernę'a wykonane były taką samą metodą jak u Rutherforda – ze strumieniem przepływającego powietrza. Oryginalną metodę pomiaru czasu zaniku emanacji aktywniej zastosowała May Sybil Leslie [59]. Mieszanie powietrza i emanacji wprowadzano do komory elektroskopu. Nad komorą znajdowało się wahadło utrzymywane na ustalonym wysokim potencjale względem komory. Wahając się, w najniższym położeniu wahadło potraçało drucik połączony z listkiem elektroskopu. W ten sposób co pół okresu wahań elektroskop był doładowywany do ustalonego potencjału, a aktywność rozładowującej go emanacji określano na podstawie liczby podziałek skali, o które opadnie listek między kolejnymi doładowaniami. Po każdym następnym doładowaniu liczba ta malała aż do poziomu tła pomiarowego. Z otrzymanej tak krzywej zaniku Leslie otrzymała półokres emanacji 3,95 s.

To jest transmutacja!

Zanikanie fazy gazowej odbywa się z tą samą szybkością, co zanik aktywności. W opisanych trzech przypadkach mamy do czynienia z substancją gazową, tą samą pod względem chemicznym, ale w odmianach różniących się szybkością zaniku. Towarzysząca przemianie chemicznej przemiana ciała stałego w gaz

i odwrotnie była najłatwiejsza do zaobserwowania, ale samorzutna produkcja nowych substancji promieniotwórczych okazała się zjawiskiem dość pospolitym. Już w r. 1900 William Crookes [62] przeprowadził analizę chemiczną, nie jak Skłodowska – minerału, a dostępnego komercyjnie czystego azotanu uranu. Okazało się podczas analizy chemicznej, że frakcja ciekła związana z rozpuszczonym azotanem uranu była słabo aktywna, natomiast wyraźną promieniotwórczość wykazywała odfiltrowana pozostałość, nie zawierająca uranu. Nowe ciało promieniotwórcze Crookes nazwał uranem X. Analogiczne doświadczenia wykonali w r. 1902 Soddy i Rutherford z torem. Sprowadzili z Niemiec superczysty tlenek toru, ale i w tym przypadku stwierdzili, że ok. 50 % aktywności należy do innego pierwiastka niż tor [63]; nawiązując do pracy Crookesa nazwali go torem X (ThX). Po rozdzieleniu Th i ThX obserwowano zmiany aktywności obu substancji przy pomocy komory jonizacyjnej. Wydzielony ThX zanikał z półokresem około 4 dni. Stężenie emanacji nad próbką Th, początkowo równe zero, wzrastało w czasie aż do osiągnięcia maksimum, kiedy liczba produkowanych w jednostce czasu atomów ThX zrównała się z liczbą tychże rozpadających się. Tak więc z toru powstaje w sposób ciągły tor X, który samorzutnie przekształca się w emanację. Produkt przemiany emanacji (już nie gazowy) zebrany na elektrodzie ujemnej okazał się również aktywny, półokres zaniku Harriet Brooks oszacowała na ok. 11 godzin [64]. Tor, czy rad, metale, zamieniają się samorzutnie w gaz, a po jakimś czasie znów w inne ciało stałe. Mamy do czynienia z całym łańcuchem kolejnych przemian. Soddy miał powiedzieć do Rutherforda: „*To jest transmutacja!*” na co Rutherford: „*Bądź cicho, bo powiedzą, że jesteście alchemikami!*” (transmutacja to poszukiwany przez alchemików proces przemiany pierwiastków w złoto pod działaniem „kamienia filozoficznego”). Promieniowanie nie jest trwałą zdolnością niezmennego pierwiastka, towarzyszy jego przemianie w inny. **Próbka radu emituje promieniowanie przez setki lat, atom radu promieniuje raz i przestaje być radem, przekształca się w nowy pierwiastek – radon (tak nazwano emanację radową).**

Obszerne badania licznych pierwiastków promieniotwórczych wykazały, że żadne reakcje chemiczne, czynniki zewnętrzne (np. temperatura), stan skupienia, nie mają wpływu na procesy promieniotwórcze, równocześnie w tych procesach zachodzi zamiana jednych pierwiastków w inne. Jak stwierdzają Rutherford i Soddy „*mamy do czynienia ze zjawiskami poza sferą znanych sił atomowych. Promieniotwórczość należy traktować jako przejaw chemicznych zmian subatomowych!*” [54, 63].

Przemiana promieniotwórcza atomu jest samorzutna, zachodzi wewnątrz atomu, niezależnie od innych atomów. Odstępy między kolejnymi emisjami promieni przez zbiór atomów aktywnych mają zatem charakter przypadkowy, rządzący się prawami statystyki.

Odkrycie przemiany pierwiastków rozwiązało problem skąd się bierze energia emitowana przez ciała promieniotwórcze. Uran, rad wysyłają nieprzerwanie wielkie ilości energii. Według pomiarów Piotra Curie [65] 1g radu wydziela energię 100 kalorii na godzinę. Jeden cm^3 emanacji przemieniając się całkowicie w następny pierwiastek emituje $7,4 \times 10^6$ kalorii; dla porównania 1 cm^3 wodoru i tlenu, w odpowiedniej proporcji, podczas zamiany w wodę wydziela 2,04 kalorii, tj. kilka milionów razy mniej [55]. Póki uważano, że pierwiastki są trwałe, niezmiennie, trzeba było szukać wyjaśnienia ciągłej emisji energii w bardzo egzotycznych procesach, np. absorpcji energii z otoczenia i reemisji w postaci cząstek materialnych, czerpanie energii z kosmosu itp. Pomysły z energią kosmiczną brano na tyle serio, że Elster i Geitel [66] porównywali aktywność uranu na powierzchni ziemi i w kopalni na głębokości 850 m. Gdyby energię czerpał uran czy rad z kosmosu, warstwa skał o tej grubości powinna ją osłabić. Nie zauważono różnicy. Gdyby ta energia kosmiczna pochodziła ze Słońca, to ewentualny efekt powinien być widoczny jako różnica aktywności w południe i o północy (nocą energia musiałaby przenikać przez całą kulę ziemską). Takie testy wykonała Skłodowska-Curie, żadnej różnicy nie zaobserwowała [30].

Podczas przemiany część energii wewnętrznej atomu zostaje przekazana promieniowaniu. W łańcuchu rozpadów kolejne fragmenty energii wewnętrznej atomu są uwalniane. Oznacza to, że energia wewnętrzna atomu jest olbrzymia. Dotyczy to wszystkich atomów, w przypadku atomów lekkich brak tylko procesu, w którym mogłyby się uzewnętrznić. Rutherford i Soddy już w r. 1903 zauważyli znaczenie tego odkrycia, tym razem rzeczywiście w skali kosmicznej; napisali:

„podtrzymywanie energii słonecznej odtąd nie nastręcza zasadniczych trudności, jeżeli tylko energia wewnętrzna pierwiastków składowych może być dostępna, tj. jeśli zachodzą (tam – przyp. TG) procesy zmian sub-atomowych” [67].

Łańcuch przemian zaczyna się od uranu, toru, aktynu¹⁵, a na czym się kończy początkowo nie było wiadomo. Podejrzewano, że może na helu, skoro z preparatów promieniotwórczych hel się wydziela. Okazało się, że łańcuchy transmutacji kończą się zwykle na ołowiu (nie na złocie jak u alchemików). Odkry-

wano co raz nowe pierwiastki promieniotwórcze. Pod względem własności chemicznych były one identyczne z ostatnimi dziesięcioma pierwiastkami w układzie okresowym, były natomiast nietrwałe, o różnych półokresach zaniku i różnych rodzajach i energiach wysyłanego promieniowania. Aby wprowadzić jakiś porządek w nazewnictwie, przyjęto nazywać kolejne struktury po rozpadzie emanacji symbolem pierwiastka zapoczątkowującego szereg z dodatkiem liter A, B, C... Emanacje, stosownie do pochodzenia nazwano radonem, toronem, aktynonem. Łańcuchy przemian komplikowały się coraz bardziej, pojawiły się ich rozgałęzienia: określony pierwiastek może ulegać zarówno przemianie α jak i β ; nie wystarczyło już zapisać „tor C”, doszły jeszcze warianty C', C'', itd¹⁶. Pierwszy przypadek rozgałęzienia odkrył Kazimierz Fajans [69].

Pierwiastki przejściowe w łańcuchu Rutherford zaproponował nazwać *metabolonami*; nazwa się nie przyjęła. Natomiast Soddy na oznaczenie pierwiastków o tych samych własnościach chemicznych, zatem zajmujących to samo miejsce w układzie okresowym Mendelejewa, wprowadził nazwę „izotopy” (dokładniej: nie Soddy, a jego znajoma Margaret Todd)¹⁷. Najpopularniejszy przedmiot badań, rad, okazał się tylko „metabolonem” w łańcuchu uranu. Nie umniejsza to jego znaczenia, bo choć powstaje w łańcuchu przemian, jest odrębnym chemicznie pierwiastkiem, zapełnił puste miejsce w układzie okresowym, ma swoje widmo optyczne, podobnie zresztą jak emanacja, której dowolny izotop dziś nazywamy radonem, czy jak aktywny. Pierwiastki te nie mają izotopów ani trwałych, ani o czasach życia w skali geologicznej; do tej grupy należy też polon, którego najtrwalszy izotop ma półokres zaniku tylko 103 lata. Z takim trudem wyodrębniony rad rozpada się, z biegiem czasu ubywa go, tyle że jego półokres zaniku wynosi 1600 lat i w ciągu czasu trwania eksperymentów ubytek jest niedostrzegalny.

Szeregi promieniotwórcze okazały się bardziej złożone niż początkowo sądzono. I tak np. tor nie przechodzi wprost w tor X. Jak wykazał O. Hahn po drodze tworzą się jeszcze pierwiastki, nazwane kolejno mezo-1, mezo-2, radiotor [70].

15. Uwaga Rutherforda: „jeżeli istnieją pierwiastki cięższe niż uran, na pewno są promieniotwórcze” [67]. W przyrodzie takich nie znaleziono, ale dziś można je wytworzyć sztucznie i ekstrapolować łańcuchy w stronę większych mas.

16. Wymienione tu rozgałęzienie $\text{ThC}' - \text{ThC}''$ zostało znalezione dopiero w roku 1943, przez panie Berthę Karlik i Traude Bernert [68]

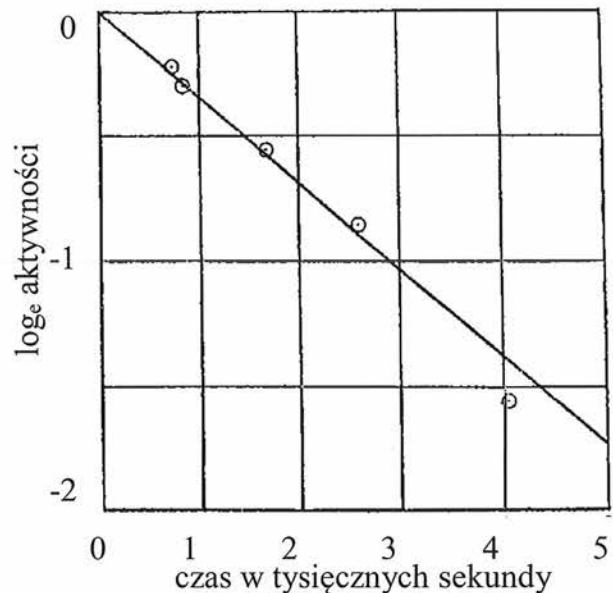
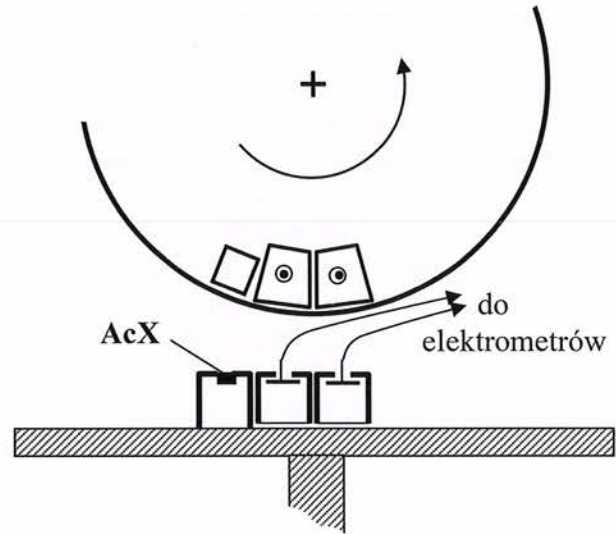
17. Kazimierz Fajans proponował, i używał w swych publikacjach, na oznaczenie zbioru pierwiastków zajmujących to samo miejsce w układzie okresowym (zbioru izotopów) nazwę „plejada”.

Czas zaniku

Niektóre ogniwa pośrednie w szeregu trudno było zauważyć z powodu ich krótkiego czasu życia. W pierwszych latach XX wieku jedynym narzędziem w ilościowych badaniach radioaktywności była komora jonizacyjna wskazująca całkowite natężenie rejestrowanego promieniowania, pewne pomocnicze dane można było uzyskać obserwując scyntylacje wywoływane przez cząstki α w siarczku cynku. Nie było jeszcze niezawodnych liczników do rejestracji pojedynczych cząstek i elektroniki do analizowania wyników rejestracji.

Krótkie półokresy zaniku można łatwo wyznaczyć w przypadku rozpadu emanacji. Korzystając z gazowego charakteru można było emanację transportować i obserwować akty rozpadu wzdłuż drogi transportu, jak to opisano wyżej. Istotny postęp stanowiło rozwinięcie tej metody przez Henry Moseleya i Kazimierza Fajansa [71] do pomiaru czasu zaniku następnej substancji powstałej po rozpadzie emanacji. Rozpad atomu emanacji zachodzi w ośrodku gazowym, nowy atom (zwykle jon dodatni) ma więc swobodę ruchu. Gdy w pobliżu umieścić płytkę metalową na wysokim potencjale ujemnym atom ten migruje i osiada na niej; może być transportowany razem z płytką. Moseley i Fajans umieścili otwarty u dołu pojemnik, zawierający aktywny X i produkowaną przezeń emanację, tuż nad tarczą metalową wirującą z prędkością na obwodzie ok. 30 m/s. Pojemnik znajdował się na potencjale +800 V względem tarczy; produkt rozpadu emanacji, AcA, osiadał na tarczy. Aby zapobiec ucieczce aktywnemu krawędź pojemnika stykała się z tarczą przez uszczelkę z aksamitu. W odległości 5 mm nad tarczą, blisko jej brzegu, umieszczono dwie małe komory jonizacyjne o dolnej ściance tak cienkiej, że cząstki α z rozpadu AcA osadzonego na tarczy mogły przenikać do wnętrza komory (rys. 10). Ze stosunku natężeń prądu jonowego w obu komorach, znając prędkość obrotową tarczy i odległość kątową środków obu komór, można było wyznaczyć stałą zaniku AcA (i jego półokres $T_{1/2}$), w tym przypadku zmierzony półokres wynosił 2 milisekundy. Tak krótki czas powodował, iż początkowo uważano, że mamy do czynienia z nowym typem przemiany, w której wysyłane są równocześnie dwie cząstki α . Tak to wyglądało przy wizualnej obserwacji scyntylacji – wydawało się, że pojawiają się dwa rozbłyski na raz [72, 73].

Geiger, który chętnie stosował liczenie pojedynczych cząstek, próbował oszacować czas życia AcA inną, oryginalną metodą [74]. Aktywny był zasysany do prostokątnego pudełka, którego fragment jednej ścianki, o szerokości 4 mm, był na tyle cienki, że cząstki α o dużej energii (zasięgu) mogły przezeń



Rys. 10. a) Schemat aparatury Moseleya-Fajansa do pomiaru milisekundowych czasów zaniku, b) wynik pomiarów zaniku aktywności AcA [71]

prześć i padać na ekran scyntylujący umieszczony na zewnątrz. W części o grubszych ściankach znajdował się drut odizolowany od pudełka. Gdy między pudełko i drut przyłożono napięcie, produkty rozpadu emanacji wędrowały w polu elektrycznym w jego stronę. Bez przyłożonego napięcia Geiger liczył pewną liczbę cząstek α w jednostce czasu; gdy przyłożył napięcie 30 V liczba ta zmniejszała się o połowę, przy napięciu 200 V pięciokrotnie – cząstki zniknęły za nieprzezroczystą ścianką. Znając ruchliwość podobnych jonów w polu elektrycznym ocenił czas połowicznego zaniku na 1/500 sekundy, czyli tyle co w bardziej zaawansowanym technicznie pomiarze Moseleya-Fajansa.

Pomiar z wirującą tarczą Moseley i Fajans wykonali też w celu wyznaczenia czasu zaniku produktu rozpadu emanacji torowej. Tym razem ten czas był dłuższy, więc zmniejszono prędkość obrotową tarczy, a pojemnik ze źródłem oraz dwie komory rozmieszczono nad tarczą w odstępach po 120° . Półokres zaniku ThA wynosił 0,14 s. Zmierzony poprzednio przez H. Brooks czas życia produktu rozpadu emanacji torowej, 11 godzin, odnosił się do następnego, po ThA, produktu w szeregu, ThB (a jeszcze między ThA i ThB mieści się kolejne niezauważone ogniwo o czasie życia poniżej 1 milisekundy).

Jak wykazali Otto Hahn i Lise Meitner [75] do pomiaru czasu zaniku nie jest potrzebne, aby badany pierwiastek powstawał w wyniku rozpadu w fazie gazowej. Jeżeli obiekt badań powstaje przez rozpad α poprzednika, to w chwili powstania atomy doznają znacznego odrzutu. Energia odrzutu jest na tyle duża, że nowy atom może opuścić powierzchnię, na której był zaadsorbowany i pozostać wolny, albo osiąść na innej powierzchni, o ile ma ona względem poprzedniej wysoki potencjał ujemny. Powierzchnią tą może być, jak w poprzednim doświadczeniu, wirująca tarcza, lub przewijająca się pętla z drutu transportująca aktywność. Efekt odrzucenia atomu do otoczenia po emisji α obserwowano jeszcze w r. 1904 Harriet Brooks [76], ale uważała, że ma do czynienia z parą produktu rozpadu radu A (skoro produkt rozpadu radu jest gazowy, to czemu produkt rozpadu radu A nie mógłby być łatwo lotny?). Atomy odrzutu obserwował też Ludwik Wertenstein, pracujący wówczas u Skłodowskiej w Paryżu [77]. Zauważył występowanie cząstek, które, jak cząstki α , silnie jonizowały ośrodki gazowy, lecz ich zasięg był znikomo mały (energia odrzutu w porównaniu z energią cząstki α jest niewielka, rzędu $100 \div 150$ keV wobec $5 \div 8$ MeV dla cząstek α), oszacowany na 0,1 mm w powietrzu i 0,4 mm w wodzie pod ciśnieniem normalnym. Aby wyznaczyć ten zasięg należało go sztucznie wydłużyć, prowadząc pomiar w gazie pod niskim ciśnieniem. Wertenstein, podobnie jak Brooks, też błędnie zinterpretował obserwowane zjawisko jako emisję nowego rodzaju niskoenergetycznych cząstek α ; Jean Perrin proponował nawet aby nazwać je α' .

Obszerne badania odrzutu w przypadku łańcucha promieniotwórczego radu, oprócz Hahna i Meitner przeprowadzili Russ i Makower [50]. Wykorzystanie odrzutu okazało się b. użyteczne nawet dziś przy separacji niektórych produktów przemian promieniotwórczych. Aby wydzielić z próbki produkt rozpadu α wystarczy umieścić w bezpośredniej bliskości folię, atomy odrzutu zostaną w niej zaimplantowane.

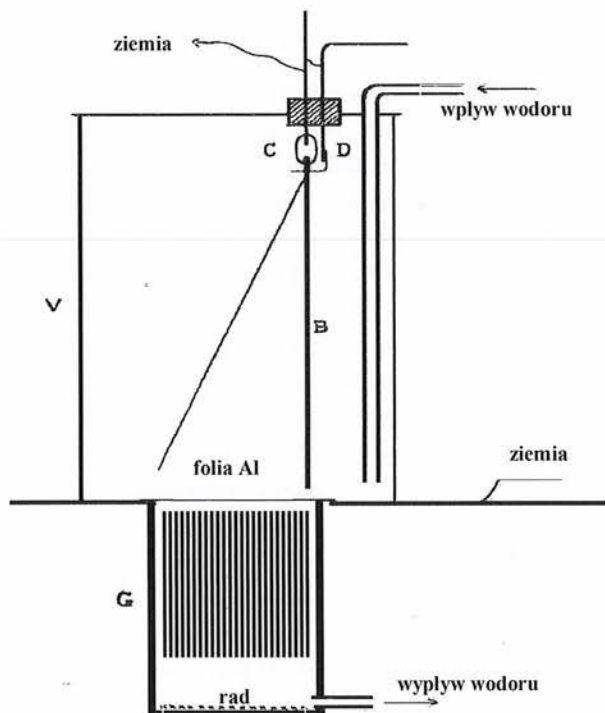
Natura cząstek α

Jeżeli cząstki α niosą ładunek elektryczny, to powinny doznawać odchylenia toru w polu magnetycznym i elektrycznym. W starannych pomiarach odchylenie to w końcu zauważono. Z wartości odchylenia w polu elektrycznym otrzymuje się wartość mv^2/q , zaś w polu magnetycznym mv/q , to pozwala oszacować prędkość cząstek. Okazała się ona rzędu 10^7 m/s. Z powodu dużej masy i prędkości cząstek odchylenie w polu elektrycznym jest znikome, aby je zauważyć, potrzebna jest bardzo wąska wiązka cząstek i możliwie silne pole elektryczne E. W doświadczeniach nad wyznaczeniem stosunku q/m odległość płytek wytwarzających pole, między którymi przebiegały cząstki, stanowiła ułamek milimetra. Natężenie wiązki było wówczas tak małe, że aby zaobserwować wynik działania pól W. B. Huff (Amerykanin pracujący u J. J. Thomsona) próbował liczyć pojedyncze cząstki metodą scyntytacji, inni stosowali klisze fotograficzne, ale wtedy czas naświetlania liczył się w dniach [78].

Pierwsze orientacyjne pomiary wykonali T. Des Coudres w Niemczech [79], A. S. Mackenzie [80] i wspomniany wyżej Huff. Rutherford był trochę sceptycznie nastawiony do klisz fotograficznych, wołał „metody elektryczne”; dla zwiększenia strumienia cząstek posłużył się nie jedną szczeliną między płytkami, a 24 szczelinami [81]. Na drodze promieni α z dość rozciągniętego źródła radowego umieścił pakiet 25 płytek, odstęp między płytkami wynosił 0,42 mm; źródło radowe znajdowało się 14 mm poniżej pakietu (rys. 11). Cząstki α przechodziły między płytkami do komory, w której znajdował się elektroskop. Mierzono szybkość opadania listka elektroskopu w nieobecności pola magnetycznego i z włączonym polem prostopadłym do kierunku ruchu cząstek. Im silniejsze było pole, tym mniejszy prąd jonizacyjny rozładowujący elektroskop.

Aby odchylić wiązkę w polu elektrycznym łączono co drugą płytkę, naprzemian, z biegunami baterii. Na podstawie wartości pola, przy której szybkość rozładowywania zeszła do poziomu tła pomiarowego, w r. 1903 Rutherford oszacował q/m jako zbliżone do połowy q/m dla atomu wodoru (to ostatnie znane już było z pomiarów Townsenda w wyładowaniu elektrycznym).

Rozbieżność wyników otrzymanych przez Rutherforda, Des Coudres, Huffa, Mackenzie była rzędu 40 %. Potrzebne były dokładniejsze pomiary, które dostarczyłyby informacji, czy cząstki α emitowane w rozpadzie różnych pierwiastków są identyczne, jaka jest ich masa i ładunek i czy ładunek nie zmienia się podczas przechodzenia przez materię. Do tego potrzebne były



Rys. 11. Pierwsza wersja aparatury Rutherforda do wyznaczenia q/m dla cząstek α [80]

monoenergetyczne cząstki, gdyż tylko wtedy odchylenie da się dokładnie zmierzyć. Jeżeli użyć źródła radu czy toru bez dodatkowej separacji produktów rozpadu, to każde z tych źródeł promieniuje 4 cząstki α o różnych energiach pochodzące z kolejnych rozpadów w łańcuchu promieniotwórczym. Skończona grubość próbki może dodatkowo wprowadzić rozrzut prędkości cząstek. Rutherford powtórzył swoje pomiary w udoskonalonej wersji aparatury, tym razem z użyciem fotograficznej detekcji wiązki cząstek [82]. Zastosował źródło cząstek α w formie drucika ekspozowanego na emanację radową. Produkty rozpadu emanacji osiadały na ujemnie naładowanym druciku. W 15 minut po odseparowaniu od emanacji rad A już uległ rozpadowi i cząstki α pochodziły tylko z rozpadu radu C. Drucik z aktywnością stanowiący bardzo wąskie źródło umieszczony był równolegle do szczeliny utworzonej przez dwie płytki oddalone od siebie o 0,21 mm, służące do wytworzenia pola elektrycznego (równocześnie stanowiły ograniczenie rozbieżności wiązki). W odległości 4 cm lub 10 cm od płytek umieszczona była klisza fotograficzna (naświetlanie trwało kilka dni). Z pomiaru odchylenia w polu elektrycznym i magnetycznym Rutherford wyliczył stosunek q/m , otrzymując wartość $5,07 \times 10^7$ (w jednostkach SI), wobec $9,6 \times 10^7$ dla wodoru. Analogiczny pomiar dla cząstek α z rozpadu aktynu B dał $4,7 \times 10^7$. Ogółem wykonano takie pomiary dla radu A, C i F, ak-

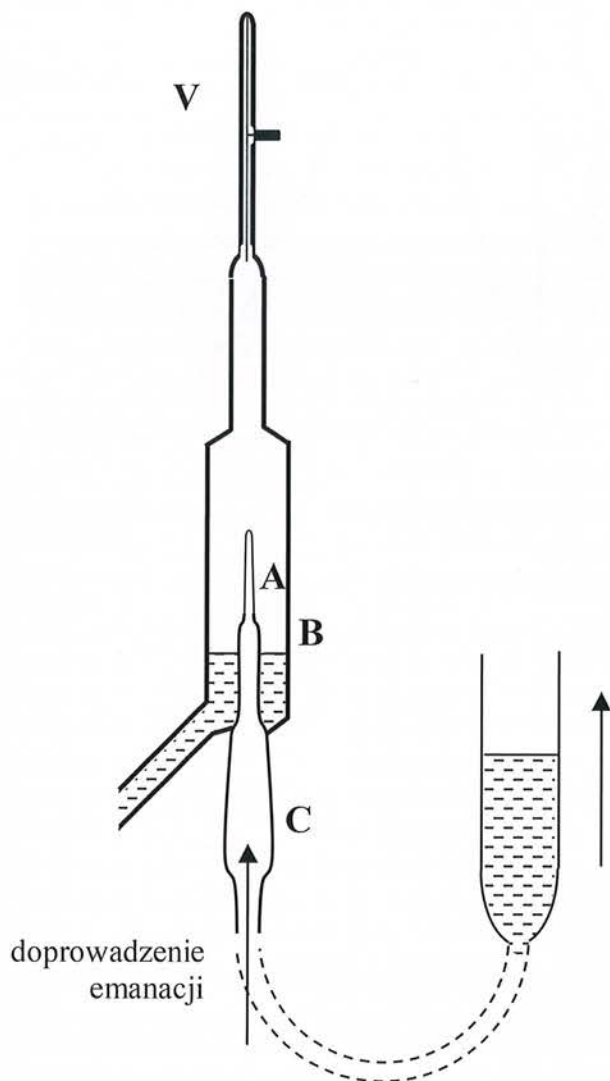
tynu B, toru C, dały one w granicach błędów ten sam wynik. Niezmiennność ładunku cząstki α na całej drodze przebywanej w ośrodku została sprawdzona przez E. Aschkinassa [83]. Uran, tor, rad i aktyn, bardzo różniące się pod względem własności chemicznych, podczas transmutacji w inny pierwiastek emitują tę samą cząstkę. Wydawało się, że cząstka α musi być podstawowym składnikiem atomu.

Wartość q/m dla cząstki α wynosi połowę tejże wartości dla wodoru, są więc trzy możliwości wyjaśnienia natury cząstki: 1) jest to molekula wodoru H_2 , 2) jest to atom helu niosący dwa dodatnie ładunki elementarne, 3) jest to połowa atomu helu. Wariant pierwszy jest nie do przyjęcia, gdyż energia wiązania molekuli wodoru jest o wiele rzędów wielkości mniejsza, niż energia cząstki α i w zderzeniach jonizacyjnych molekula musiałaby ulec rozpadowi. W wariacie trzecim fragment (o ile coś takiego może powstać) miałby własności atomu wodoru i w próbce w miarę upływu czasu gromadziłby się wodór, czego się nie obserwuje – gromadzi się hel. Pozostaje trzecia możliwość – cząstka α jest jonem helu.

Potrzebny był bezpośredni dowód na identyczność cząstek α i atomów helu. Rutherford i Royds [84] zbierali emanację radową z silnego źródła (140 mg Ra) w zbiorniku o ściankach na tyle cienkich, aby cząstki α mogły przez nie przenikać na zewnątrz do innego zbiornika, starannie opróżnionego. Zbiorniczek z emanacją zakończony był kapilarą o grubości ścianek mniejszej niż $10 \mu m$ i długości 1,5 cm. Kapilarę o tak znikomej grubości ścianki, a jednocześnie szczelną wykonał zdolny szklarz, pan Baumbach. Tę kapilarę otaczał większy pojemnik w kształcie rurki szklanej (rys. 12). Podnosząc poziom rtęci można było sprężyć zawartość obu pojemników do kapilar na ich szczycie. W kapilarze zbiornika zewnętrznego przeprowadzono wyładowanie elektryczne dla obserwacji widma optycznego gazu zgromadzonego w tym zbiorniku. Po pierwszym dniu od wprowadzenia emanacji w widmie nie było widać linii helu, po dwóch dniach pojawiła się linia helu D_3 , a po następnych natężenie wzrastało i stały się widoczne dalsze linie helowe. Cząstki α , które przeniknęły do zewnętrznego pojemnika stały się (po utracie ładunku dodatniego) helem. Cząstka α ma więc masę 4 jednostek, a powstały w rozpadzie α produkt przemiany ma masę pomniejszoną o 4; jeżeli rad ma liczbę masową 226 [85], to emanacja radowa 222, rad A zaś 218 itd.

Liczenie cząstek

W ówczesnych badaniach promieniowanie było rejestrowane bądź przez pomiar natężenia prądu joniza-



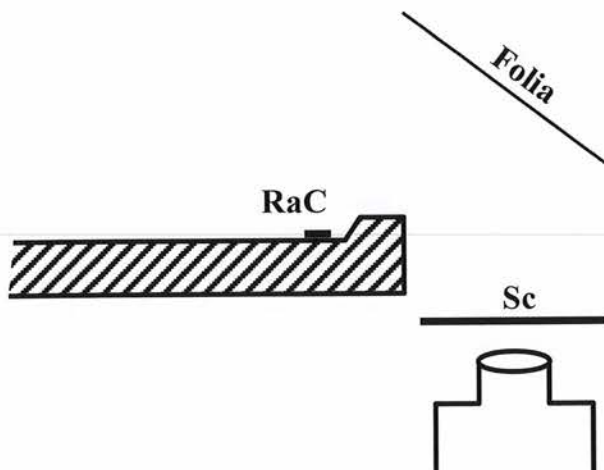
Rys. 12. Uproszczony schemat aparatury Rutherforda i Roydsa do identyfikacji cząstek α i helu [84]. Cząstki, które przeniknęły przez ścianki kapilary A gromadziły się w zbiorniku B

cyjnego w komorze, bądź przez zaczernienie kliszy fotograficznej¹⁸. W obu przypadkach potrzebne były raczej duże natężenia promieniowania. Istniała też metoda detekcji (ograniczona do cząstek α) przez obserwację scyntylacji na ekranie z siarczku cynku. W tym przypadku sytuacja była odwrotna: metoda nadawała się tylko do znikomych aktywności źródeł promieniowania. Wizualna obserwacja nie pozwalała na zliczanie większych natężeń niż ok. 60 scyntylacji na minutę. Ponadto przed rozpoczęciem liczenia potrzebny był dłuższy czas na akomodację oka do ciemności. Patrzenie w mikroskop szybko prowadziło do zmęczenia oka, wiarygodne obserwacje dało się prowadzić nie dłużej niż 3–5 minut (najlepiej gdy obserwację prowadziły dwie osoby, na zmianę). Sposób pomiaru natężenia promieniowania polegał na liczeniu ze stoperem w rękę, po doliczeniu do stu scyntylacji zatrzymywało się stoper. Można było użyć też urządzenia przy-

pominającego telegraf: obwód elektryczny z kluczem i przesuwaną się taśmą papierową, po zaobserwowaniu rozbłysku eksperymentator naciskał klucz i na taśmie powstawał znaczek. Można było liczyć natężenie, czyli liczbę znaków na jednostkę długości taśmy, lub np. mierzyć długości odstępów między znakami (średni odstęp). Liczba scyntylacji zarejestrowanych w ciągu dnia mogła być rzędu 2000; pomiar był dość czasochłonny.

Inny sposób liczenia cząstek to obserwacja impulsów prądowych, wytwarzanych po przejściu przez komorę jonizacyjną pojedynczej cząstki silnie jonizującej ośrodek. Cząstka α wytwarza na swej drodze kilkadziesiąt tysięcy jonów, ale taka paczka ładunku powoduje wahnięcie nici elektrometru zaledwie o ułamek milimetra. Potrzebny jest większy sygnał. Geiger wykorzystał w tym celu powielanie jonów w polu elektrycznym. W latach 1901–1903 Townsend opublikował szereg prac [np. 86], w których wykazał, że przy zmniejszonym ciśnieniu w silnym polu elektrycznym „jony ujemne” (czytaj: elektrony) powodują produkcję nowych par jonów, które jonizują następne itd. Geiger zastosował rurkę metalową o długości ok. 20 cm i średnicy 1,7 cm, na której osi znajdował się odizolowany drut na wysokim potencjale ujemnym, wewnątrz wypełnione było gazem pod ciśnieniem kilku cm Hg. Pole w pobliżu drutu i wydłużona droga swobodna elektronów wystarczały do pojawienia się jonizacji wtórnej. Można było uzyskać wzmocnienie impulsu prądowego nawet kilka tysięcy razy, co wystarczało do wyraźnego wahańnięcia nici elektrometru [87]. Można te odchylenia obserwować wizualnie, jak w przypadku scyntylacji, ale znacznie praktyczniej było posłużyć się zapisem na taśmie światłoczułej: na nici elektrometru znajdowało się małe zwierciadełko, promień światła odbity od zwierciadełka padał na przesuwaną się taśmę zapisując wychylenia nici [88].

18. Gdy mówi się o „zaczernieniu kliszy” trzeba pamiętać, że reakcja fotochemiczna zachodzi tylko w zderzeniach cząstki z cząsteczkami chlorku (bromku) srebra w emulsji. Pojedyncza cząstka zostawia po wywołaniu ślad odpowiadający torowi jej ruchu. Dla bardzo wielu cząstek obserwujemy makroskopowo zaczernienie, pod mikroskopem widać pojedyncze ślady. Obserwacją tych śladów zajmowała się w Austrii Marietta Blau. Została ona zaproszona przez Marię Skłodowską do Instytutu Radowego w Paryżu, gdzie mogła prowadzić prace w lepszych warunkach. Analiza śladów pojedynczych cząstek w fotoemulsji początkowo nie budziła większego zainteresowania (w cienkiej emulsji widać było tylko fragment toru cząstki); sytuacja zmieniła się, gdy firma Ilford zaczęła produkować bloki złożone z wielu warstw dość grubej emulsji bez podkładki szklanej. Analiza śladów w emulsji stała się w latach 40.–50. podstawową metodą w badaniach promieni kosmicznych i fizyce cząstek elementarnych. Tą metodą odkryto m.in. mezon π (C. Powell) a także jądra z wbudowanym hiperonem Λ (Marian Danysz – syn Jana Kazimierza i Jerzy Pniewski).

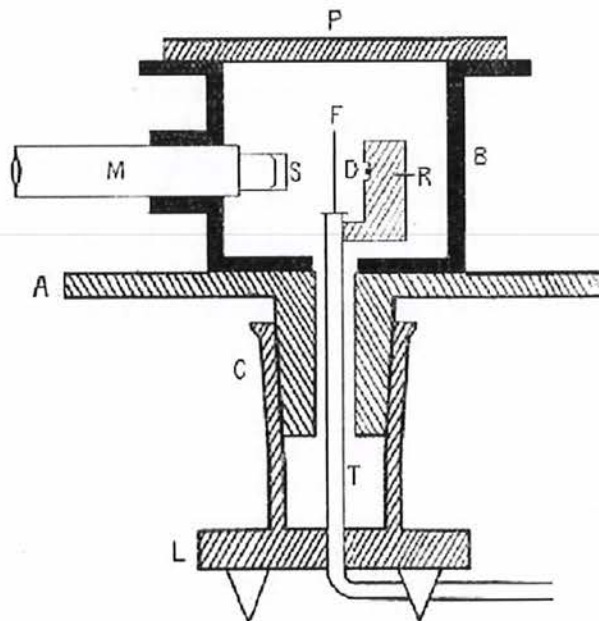


Rys. 14. Doświadczenie Marsdena z rozpraszaniem wstecznym cząstek α

Budowa atomu

W marcu 1911 Rutherford przedstawił teorię wyjaśniającą zjawisko dużych kątów rozproszenia [102]. Jest to możliwe, gdy rozproszenie jest aktem jednorazowym, a nie statystyczną wypadkową wielkiej liczby drobnych zderzeń. Cząstka widocznie zderza się z obiektem o znacznie większej od niej masie. Występuje odpychanie kulombowskie między cząstką a dodatnim ciężkim centrum. Rozmiary centrum zawierającego i prawie całą masę i cały ładunek dodatni atomu muszą być prawie punktowe, o kilka rzędów wielkości mniejsze niż średnia odległość tych centrów w sąsiadujących atomach, skoro większość cząstek przechodzi prawie bez odchylenia. Tylko cząstki przebiegające w bezpośredniej bliskości centrum doznają na tyle silnego odpychania kulombowskiego, że mogą radykalnie zmienić kierunek. Przy założeniu jednorazowego zderzenia z punktowym centrum Rutherford otrzymał funkcję opisującą rozkład kątowy cząstek rozproszonych w formie $N(\theta) \sim 1/\sin^4 \theta/2$, gdzie θ jest kątem rozproszenia. Doświadczalne sprawdzanie tego wzoru zostało podjęte natychmiast przez Geigera i Marsdena (rys. 15) tak, że przedstawiając swój model atomu na posiedzeniu Manchesterskiego Towarzystwa Literacko-Filozoficznego Rutherford mógł już powołać się na wstępne potwierdzenie doświadczalne. Dokładny opis doświadczenia i test teorii Rutherforda dla folii z różnych materiałów został opublikowany w 1913 [103].

Tabela poniżej, zaczerpnięta z pracy Geigera i Marsdena, pokazuje doskonałą zgodność obserwacji z teorią dla przypadku folii złotej i srebrnej. Widać też, że natężenie rozproszenia zwrotnego jest wyraźnie większe dla folii złotej niż srebrnej, zgodnie z wcześniejszą obserwacją Lisy Meitner.



Rys. 15. Aparatura Geigera i Marsdena do badań rozproszenia cząstek α [103]. Komora B jest obracana wraz z mikroskopem M, na osi komory znajduje się folia F, za nią pojemnik R ze źródłem cząstek α dających wiązkę wybiegającą przez przesłonę D

Tabela 1. Liczba rejestrowanych cząstek α N w funkcji kąta rozproszenia θ na folii srebrnej i złotej według pomiarów Geigera i Marsdena [103]

Kąt	Srebro		Złoto	
	N	$N \sin^4 \theta/2$	N	$N \sin^4 \theta/2$
150	22,2	19,3	33,1	28,8
135	27,4	19,8	43,0	31,2
120	33,0	18,4	51,9	29,0
105	47,3	18,7	69,5	27,5
75	136,0	18,8	211,0	29,1
60	320,0	20,0	477,0	29,8
45	989,0	21,2	1433,0	30,8

Wielkość centrum oszacowano na około 1/10 000 promienia atomowego. Atom Rutherforda jest pusty, prawie całą jego objętość wypełnia tylko „mgiełka” powłoki elektronowej o znikomej masie. Centrum mieszczącemu masę i ładunek dodatni Rutherford nadał nazwę „nucleus” – w polskim: „jądro”. Pozostało pytanie, ile ładunków elementarnych zawiera jądro (tyleż ujemnych mają elektrony na zewnątrz jądra w atomie objętym). Jeszcze w roku 1910 Crowther [104] na podstawie rozpraszania elektronów ocenił, że stosunek liczby elektronów w atomie do liczby masowej wynosi prawie 3.0 dla wszystkich pierwiastków. Na podstawie swojej teorii i danych z pomiarów Geigera Rutherford oszacował, całkiem realistycznie, że dla złota liczba elektro-

nów jest około 100. Holenderski adwokat, fizyk amator, Antonius van den Broek napisał w 1913 w liście do „Nature” [105]: „gdyby ułożyć wszystkie pierwiastki według wzrastającej masy atomowej. numer atomu w tej klasyfikacji powinien być równy jego ładunkowi wewnątrz-atomowemu”.

Przyppuszczenie van den Broeka skłoniło H. Moseleya do przeprowadzenia obszernych badań charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego emitowanego przez pierwiastki. Badania potwierdziły, że ładunek jądra jest $+Ze$, gdzie Z jest liczbą porządkową pierwiastka w układzie okresowym, odtąd nazywaną „liczbą atomową”. Liczba elektronów w obojętnym atomie jest również Z . W r. 1913 Niels Bohr zaproponował model atomu z jądrem o ładunku dodatnim $+Ze$ i elektronami krążącymi wokół po skwantowanych orbitach. Porównanie danych o widmach optycznych wodoru i helu z modelem Bohra potwierdza, że wodor ma jeden elektron, a hel dwa¹⁹.

Cząstka α , niosąca dwa ładunki elementarne to nie atom helu, a tylko jądro helu. Emisja tej cząstki oznacza przesunięcie się pierwiastka w układzie okresowym o dwa miejsca wstecz (i zmniejszenie masy atomowej o 4). Regułę tę podał Soddy w oparciu o badania szeregów promieniotwórczych. Tę samą regułę, uzupełnioną przez drugi człon: rozpad β (emisja ujemnego elektronu) przesuwają pierwiastek o jedno miejsce wprzód w układzie okresowym, podał Kazimierz Fajans, opierając się wyłącznie na własnościach chemicznych (elektroujemności) pierwiastków uczestniczących w przemianach [107]. Stąd dziś przyjęta nazwa „reguła Soddy’ego–Fajansa”²⁰. Fajans zaproponował jeszcze inną regułę: w przypadku rozpadu β trwałość (czas życia) danego pierwiastka maleje ze wzrostem jego masy atomowej. Nie jest to reguła ścisła, ale oddaje to, co dziś wiemy o budowie jądra – zwiększenie masy atomowej przy ustalonym Z oznacza tu oddalenie się od tzw. „ścieżki stabilności”.

Rok 1913 kończy pionierski okres badań nad zjawiskiem promieniotwórczości. Dalsze kilkanaście lat to już tylko drobne przyczynki, wszyscy zainteresowani są strukturą powłok elektronowych atomu, a nie jądrem. Sytuacja zmienia się ok. roku 1930, kiedy rozpoczął się nowy etap, już raczej nie nauki o promieniotwórczości, a fizyki jądrowej: odkrycie neutronu, pozytonu, sztuczna promieniotwórczość, teoria rozpadu β , w końcu rozszczepienie jąder uranu. Dopiero

w latach 30. odkryto dalsze rodzaje promieniotwórczości: rozpad β z emisją pozytonów [I. Curie, F. Joliot], wychwyty elektronu z powłoki przez jądro [L. Alvarez], w końcu samorzutne rozszczepienie [G.N. Flory, K. A. Pietrzak].

Literatura

- [1] H. Becquerel, CR Acad. Sci. 122 (1896) 420.
- [2] H. Becquerel, CR Acad. Sci. 122 (1896) 501.
- [3] H. Becquerel, CR Acad. Sci. 122 (1896) 689.
- [4] H. Becquerel, CR Acad. Sci. 122 (1896) 1086.
- [5] A. Niepce de Saint Victor, CR Acad. Sci. 46 (1858) 448
- [6] A. Niepce de Saint Victor, CR Acad. Sci. 53 (1961) 33.
- [7] C. Henry, CR Acad. Sci. 22 (1896) 112.
- [8] L.J. Troost, CR Acad. Sci. 122 (1896) 564.
- [9] G.H. Niewengłowski, CR Acad. Sci. 122 (1896) 385.
- [10] H. Muraoka, Ann. Physik 300 (1898) 186.
- [11] G. Le Bon, CR Acad. Sci. 124 (1897) 188.
- [12] W. Arnold, Ann. Physik 297 (1897) 313.
- [13] A.F. Kissick, Elec. World 28 (1896) 652; Sci. Amer. Suppl. 43 (1897) 17542.
- [14] C.S. Dulley, S. Egbert, Science 3 (1896) 357.
- [15] J.C. Beattie, M. Smoluchowski de Smolan, Phil. Mag. 43 (1897) 418.
- [16] E. Rutherford, Phil. Mag. 44 (1897) 422.
- [17] J.J. Thomson, E. Rutherford, Phil. Mag. 42 (1896) 392.
- [18] E. Rutherford, Phil. Mag. 47 (1899) 109.
- [19] C.T.R. Wilson, Proc. Roy. Soc. A 64 (1898) 128.
- [20] G.C. Schmidt, Verhandl. d. Deutsch. Phys. Gesellschaft. 17 (1898) 14.
- [21] M^{me} Skłodowska-Curie, CR Acad. Sci. 126 (1898) 1101.
- [22] A. Debierne, CR Acad. Sci. 129 (1899) 593.
- [23] P. Curie, M^{me} S. Curie, CR Acad. Sci. 127 (1898) 175.
- [24] M. Skłodowska-Curie, Światło 1 (1898) 54.
- [25] P. Curie, M^{me} P. Curie, G. Bémont, CR Acad. Sci. 127 (1898) 1215.
- [26] E. Demarçay, CR Acad. Sci. 127 (1898) 1218.
- [27] M^{me} Curie, CR Acad. Sci. 135 (1902) 161.
- [28] H. Becquerel, C.R. Acad. Sci. 130 (1900) 372.
- [29] M. ze Skłodowskich Curie „O nowych ciałach promieniotwórczych” Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków (1900).
- [30] M. Skłodowska-Curie „Recherches sur les substances radioactives” (Thèse), Gauthier-Villars, Paris, 1903.
- [31] W. Kaufmann, Göttinger Nachrichten 1901, p.143; także 1902, p.291
- [32] P.U. Villard, CR Acad. Sci. 130 (1900) 1178.
- [33] E. Rutherford, Phys. Zs. 3 (1902) 517; także Nature 66 (1902) 318.
- [34] G.F.C. Searle, Phil. Mag. 44 (1897) 329.
- [35] M. Abraham, Phys. Zs. 4 (1902) 54.
- [36] R.J. Strutt, Proc. Roy. Soc. London 72 (1903) 208.
- [37] McClelland, Phil. Mag. 8 (1904) 67.
- [38] F. Soddy, W.H. Soddy, A.S. Russell, Phil. Mag. 19 (1910) 725.
- [39] E. Rutherford, E. da Costa Andrade, Phil. Mag. 27 (1914) 854.
- [40] E. Rutherford, Phil. Mag. 28 (1914) 287.
- [41] R.K. McClung, Phil. Mag. 11 (1906) 131.
- [42] W.H. Bragg, R. Kleeman, Phil. Mag. 8 (1904) 726.
- [43] O. Hahn, Phil. Mag. 11 (1906) 793.

19. Bohr przeprowadził obliczenia teoretyczne dotyczące absorpcji promieniowania α w gazach [106], potwierdziły one wartości Z dla wodoru i helu.

20. Tak los złączył zagorzałego antysemitę (Soddy’ego) i semitę (Fajansa).

- [44] E. Regener, *Verhandl. d. D. phys. Ges.* 10 (1908) 78.
 [45] H. Geiger, *Proc. Roy. Soc. A* 83 (1910) 505.
 [46] P. Curie, M^mc M-P. Curie, *CR Acad. Sci.* 129 (1899) 714.
 [47] E. Rutherford, *Phil. Mag.* 49 (1900) 1.
 [48] F. E. Dorn, *Abhandlungen d. Naturforschenden Gesellschaft (Halle)* 23 (1901) 1.
 [49] E. Rutherford, F. Soddy, *Phil. Mag.* 5 (1903) 561.
 [50] S. Russ, W. Makower, *Proc. Roy. Soc. A* 82 (1909) 205.
 [51] E. Rutherford, H.T. Brooks, *Trans. Roy. Soc. Canada ser. III*, 7 (1901) 21.
 [52] P.B. Perkins *Amer. J. Sci. Ser. 4*, 25 (1908) 461.
 [53] M.S. Leslie, *CR Acad. Sci.* 153 (1911) 328.
 [54] E. Rutherford, F. Soddy, *Phil. Mag.* 4 (1902) 569.
 [55] W. Ramsay, F. Soddy, *Proc. Roy. Soc. A* 72 (1903) 204.
 [56] W. Ramsay, R.W. Gray, *CR Acad. Sci.* 151 (1910) 126.
 [57] W. Ramsay, F. Soddy, *Proc. Roy. Soc. A* 73 (1904) 346.
 [58] A. Debierne, *CR Acad. Sci.* 136 (1903) 446.
 [59] M.S. Leslie, *Phil. Mag.* 24 (1912) 637.
 [60] P. Curie, *CR Acad. Sci.* 135 (1902) 857
 [61] A. Debierne, *CR Acad. Sci.* 138 (1904) 411.
 [62] W. Crookes, *Proc. Roy. Soc. A* 66 (1900) 409.
 [63] E. Rutherford, F. Soddy, *Phil. Mag.* 4 (1902) 370.
 [64] H. Brooks, *Phil. Mag.* 8 (1904) 373.
 [65] P. Curie, A. Laborde, *CR Acad. Sci.* 136 (1903) 673.
 [66] J. Elster, H. Geitel, *Ann. Phys.* 302 (1898) 735.
 [67] E. Rutherford, F. Soddy, *Phil. Mag.* 5 (1903) 576.
 [68] B. Karlik, T. Bernert, *Naturwissenschaften* 31 (1943) 492.
 [69] K. Fajans, *Phys. Zs.* 13 (1912) 699.
 [70] O. Hahn, *Jahrbuch d. Radioaktivität u. Elektronik* 2 (1905) 233.
 [71] H. Moseley, K. Fajans, *Phil. Mag.* 22 (1911) 629.
 [72] H.L. Bronson, *Phil. Mag.* 16 (1908) 291.
 [73] H. Geiger, E. Marsden, *Phys. Zs.* 11 (1910) 7.
 [74] H. Geiger, *Phil. Mag.* 22 (1911) 201.
 [75] O. Hahn, L. Meitner, *Berichte der Deutsch. Phys. Ges.* 11 (1909) 55?
 [76] H. Brooks, *Nature* 70 (1904) 270.
 [77] L. Wertenstein, *CR Acad. Sci.* 152 (1911) 1657.
 [78] W.B. Huff, *Proc. Roy. Soc. A* 78 (1906) 77
 [79] T. Des Coudres, *Phys. Zs.* 4 (1903) 483.
 [80] A.S. Mackenzie, *Phil. Mag.* 10 (1905) 338.
 [81] E. Rutherford, *Phil. Mag.* 5 (1903) 177.
 [82] E. Rutherford, *Phil. Mag.* 12 (1906) 348.
 [83] E. Aschkinass, *Annalen der Physik* 332 (1908) 377.
 [84] E. Rutherford, T. Royds, *Phil. Mag.* 17 (1909) 281.
 [85] M. Curie, *CR Acad. Sci.* 145 (1907) 523.
 [86] J.S. Townsend, *Phil. Mag.* 3 (1902) 557.
 [87] E. Rutherford, H. Geiger, *Proc. Roy. Soc. A* 81 (1908) 141.
 [88] H. Geiger, E. Rutherford, *Phil. Mag.* 24 (1912) 618.
 [89] E. Rutherford, H. Geiger, *Memoirs Manchester Lit. & Phil. Soc.* 52 (1908) No.9.
 [90] H. Geiger, W. Müller, *Naturwissenschaften* 16 (1928) 617.
 [91] A.F. Kovarik, *Phil. Mag.* 20 (1910) 849.
 [92] A.F. Kovarik, W. Wilson, *Phil. Mag.* 20 (1910) 866.
 [93] E. Regener, *Verhandl. d. Deutsch. Phys. Ges.* 10 (1908) 78.
 [94] E. Rutherford, H. Geiger, *Phil. Mag.* 20 (1910) 698.
 [95] A.F. Kovarik, *Phys. Rev.* 13 (1919) 272.
 [96] H.W. Schmidt, *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* 5 (1908) 471.
 [97] B. Kučera, B. Mašek, *Phys. Zs.* 7 (1906) 650.
 [98] L. Meitner, *Phys. Zs.* 8 (1907) 489.
 [99] H. Geiger, *Proc. Roy. Soc. A* 81 (1908) 174.
 [100] H. Geiger, E. Marsden, *Proc. Roy. Soc. A* 82 (1909) 495.
 [101] H. Geiger, streszczenie po referacie Rutherforda w: *Proc. Manchester Lit. & Phil. Soc.* IV, 55, p. 20–21 (1911)
 [102] E. Rutherford, *Phil. Mag.* 21 (1911) 669.
 [103] H. Geiger, E. Marsden, *Phil. Mag.* 25 (1913) 604.
 [104] J.A. Crowther, *Proc. Roy. Soc. A* 84 (1910) 226.
 [105] A. J. van den Broek, *Nature* 87 (1911) 78.
 [106] N. Bohr, *Phil. Mag.* 25 (1913) 10.
 [107] K. Fajans, *Phys. Zs.* 14 (1913) 136.

Kursywą napisano pozycje literatury, których tekst był niedostępny autorowi.

Doświadczenie myślowe Smoluchowskiego i inne zapadki

Genowefa Ślósarek

Zakład Biofizyki Molekularnej, Wydział Fizyki, Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu

Streszczenie. Proste doświadczenie myślowe zaproponowane przez Mariana Smoluchowskiego miało być dobrą ilustracją ruchów Browna. Doświadczenie myślowe przedstawione przez Feynmana miało wykazać słuszność drugiej zasady termodynamiki. Pogłębiona analiza tych eksperymentów doprowadziła ostatecznie do rozważań nad możliwym ukierunkowaniem ruchów Browna i uzyskaniem z tego chaotycznego procesu użytecznej energii mechanicznej lub chemicznej. Dzisiaj przedmiotem intensywnych badań w tym zakresie są między innymi biologiczne motory molekularne.

Wprowadzenie

Okres dojrzałej twórczości naukowej Mariana Smoluchowskiego przypada na przełom wieku XIX i XX. W fizyce był to czas ogromnych zmian, wspinających odkryć i nowego początku w wielu znanych i jeszcze zupełnie nieznanach działach nauk przyrodniczych. On sam widział i opisywał te procesy następująco [1, s. 258]: „Gdybym miał opisać kilku słowami fazę rozwoju fizyki w tym czasie, powiedziałbym, że jest to odrodzenie atomistyki połączone z elektryzacją fizyki, ogólnym tłem tego ruchu jest powrót do spekulacyjnego romantyzmu naukowego. [...] Mówiąc o odrodzeniu atomistyki tym samym już zaznaczamy, że poprzedzający okres był okresem względnego upadku albo przynajmniej poniewierki atomistyki.” Smoluchowski wyjaśnia dalej, że teoria kinetyczna oraz włączona w nią atomistyka były zwalczane między innymi przez twórców energetyzmu – Ernsta Macha, Pierre’a Duhema i Wilhelm Ostwalda. Jak dalej pisze Smoluchowski [1, s. 260]: „[uczni ci] głosili zasadę po części słuszną, że ostatecznym i jedynym celem fizyki jest poznanie prawidłowości dostępnych nam zjawisk, nie zaś poznanie wiecznie ukrytej istoty wszechrzeczy.” Krytycy mieli w tym przypadku na myśli argument, iż w owym czasie żadną metodą eksperymentalną nie można było obserwować atomów.

Poważnym powodem krytyki teorii kinetycznej była jej, ówczesnie rozumiana, sprzeczność z termodynamiką fenomenologiczną. Chodziło tu o odwracalność procesów mechanicznych w świecie cząsteczek i atomów. Zjawiska takie jak dyfuzja czy przewodnictwo cieplne są według powszechnej obserwacji nieodwracalne. Ich odwracalność w czasie mogłaby prowadzić do konstrukcji perpetuum mobile drugiego rodzaju, co było oczywiście całkowicie odrzucane. Wyjaśnienie tego problemu, jak pisze Smoluchowski, wiąże się z nierównym prawdopodobieństwem określonych stanów układów cząsteczek lub atomów [1, s. 265]: „W zasadzie wszelkie zjawiska atomistyczne – cząsteczkowe są odwracalne. Że zaś istnieją kategorie zjawisk, które uważamy za nieodwracalne, pochodzi stąd, że w praktyce wychodzimy ze stanu początkowego, uporządkowanego, nadzwyczaj nieprawdopodobnego z punktu widzenia teorii kinetycznej; że zazwyczaj o wiele za krótki czas obserwujemy zjawisko, aby móc zauważyć jego powrót do wyjątkowego stanu początkowego.”

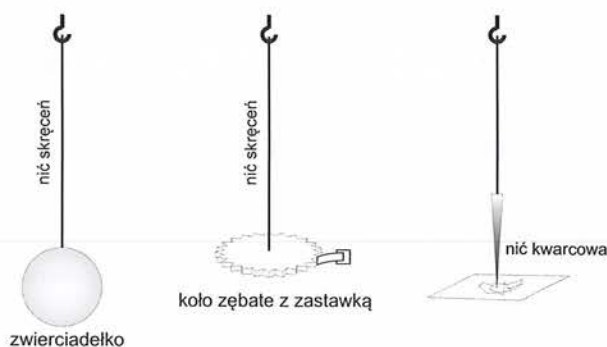
Do kategorii zjawisk „sprzecznych” z tradycyjną termodynamiką fenomenologiczną zaliczano ruch cząsteczek koloidalnych znany powszechnie jako ruchy Browna. Aby można było lepiej zrozumieć ten proces

Smoluchowski zaproponował różne doświadczenia, które w jego przekonaniu, z zachowaniem wielkiej precyzji, można byłoby przeprowadzić w laboratorium.

Zapadka jako mechanizm ilustrujący ruchy Browna

Smoluchowski opisuje początkowo dwa eksperymenty [2, str. 96]: „Teraz chciałbym jeszcze wspomnieć pokrótce o dwu zastosowaniach zasady fluktuacji, które od omówionych dotychczas różnią się tym, że dotyczą deformacji ciał stałych. [...] Naprzód chodzi o wzmiankowany już poprzednio przykład zwierciadélka o wymiarach minimalnych, zawieszono na nici skręceń, następnie o przesunięcia poziome dolnego końca bardzo cienkiej, pionowo zawieszonoj nici kwarcowej.”

Autor przedstawia krótką analizę teoretyczną, która w pierwszym przypadku dotyczy średniego kąta, „o jaki odbity [od zwierciadélka] promień odchyli się od położenia zerowego”. Natomiast w drugim przypadku oblicza „średnie przesunięcie poziome końca nici z położenia zerowego”. Smoluchowski sugeruje, że można by przeprowadzić, choć nie bez trudności, odpowiednie doświadczenia [2, str. 97]: „Interesująca będzie przy tym również zależność tych fluktuacji od ciśnienia otaczającego gazu. Nie wpływa ono, naturalnie, wcale na ich wielkość, ale ich przebieg w czasie, prędkość ich zmiany – zależy od ciśnienia gazu. Zwierciadélko skręceń (tak samo również nić kwarcowa) będą wykonywały około położenia równowagi rodzaj ruchów Browna, których amplitudy zawarte w granicach średnich odchyżeń można ocenić podług poprzednio wspomnianych wzorów na zwykłe obrotowe ruchy Browna.” W dalszej części swego referatu Smoluchowski rozważa poprawność drugiej zasady termodynamiki i budowę perpetuum mobile drugiego rodzaju, pisze [2, str. 101]: „Jeśli zamiast zwierciadélka umieścimy w dole kółko zębate z zastawką, kierowane tak, iż obrót jest możliwy w jednym tylko kierunku, to wskutek nieustannych wahań kółko zostanie wprowadzone w ruch obrotowy, a nić ulegnie skręceniu, co mogłoby być użyte trwale do wykonania użytecznej pracy w punkcie zawieszenia”. Ostatecznie odrzuca taką możliwość, twierdząc, że „[...] zasadnicza niemożliwość tkwi właśnie w tym, że nie podobna sporządzić jednostronnie działającego zaworu czy zastawki. W zwyczajnych bowiem warunkach urządzenia te [takie jak opisane wyżej modele] działają tylko dzięki temu, że muszą trwać w położeniu równowagi, które odpowiada minimum energii potencjalnej.” Działanie będzie jednak możliwe, gdy uzyska się stan, w którym urządzenie znajdzie się w środowisku o zróżnicowanej temperaturze. W podsumowaniu Smoluchowski dodaje [2, 104]: „Zjawiska wahań molekularnych nie dają nam dzisiaj podstawy



Rys. 1. Modele Smoluchowskiego, które mają wykazać istnienie ruchów Browna

do zupełnego obalenia drugiej zasady, jak wielu innych dogmatów fizyki. Zmuszają nas tylko do odmiennego od dotychczasowego jej sformułowania, jeśli chcemy, by twierdzenia termodynamiki stosowały się ogólnie.”

Już po śmierci Smoluchowskiego udało się przeprowadzić w laboratorium doświadczenie zaproponowane przez jego pomysłodawcę. Pierwsze prace A. Højuidika i Pietera Zeemana oraz E. Einthovena ukazały się w roku 1925 [3]. Badano zachowanie się zwierciadélka zawieszonoj na nici. Układy, jakie poddawano badaniu były bardzo małe. Jak podaje Teske, na podstawie prac prowadzonych w laboratorium Gerlacha, zwierciadélko ważyło 0,2 mg i miało powierzchnię 1 mm². Było ono zawieszono na nici o grubości kilku dziesiątych części mikrometra.

Jedną z najbardziej znanych prac na ten temat była publikacja Eugene’a Kapplera [4]. Przeprowadzone przez niego doświadczenia pozwoliły na wyznaczenie liczby Avogadro z dość dużą, jak no owe czasy, dokładnością. Otrzymał on wartość $6,059 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Przebieg doświadczenia był ogólnie rzecz biorąc następujący [3]: zwierciadélko zawieszono na nici podlegało nieregularnym skręceniom wywołanym zderzeniami z cząsteczkami gazu. Promień światła odbity od powierzchni zwierciadélka rejestrował jego ruch na przesuwającej się taśmie fotograficznej. Ten prosty detektor był oddalony od zwierciadélka na odległość ok. 1,5 m. Krzywa zarejestrowana na taśmie miała wówczas amplitudę ok. 1 cm. By zarejestrować wszystkie wychylenia zwierciadélka, te silne i te słabe, należało bardzo precyzyjnie dobrać szybkość przesuwania się taśmy fotograficznej.

Należy przy tym zaznaczyć, że badania fizykochemiczne gazów, prowadzone od początku XX wieku stały się punktem wyjścia dla sformułowania kinetycznej teorii gazów i dały początek dziedzinie nauki, którą nazywamy atomistyką. W szczególności analiza hipotezy Avogadro z 1811 roku i prace zmierzające do wyznaczenia zaproponowanej przez niego wielkości miały ogromne znaczenie dla rozwoju atomistyki [5].

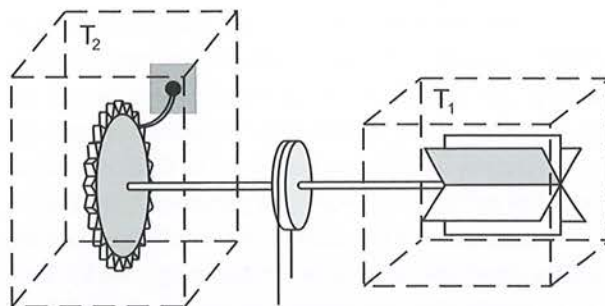
Praca Kapplera była jedną z ostatnich, w których próbowano analizować problem na podstawie ruchów Browna.

Doświadczenie myślowe Richarda Feynmana

Zmodyfikowaną wersję doświadczeń proponowanych przez Smoluchowskiego przedstawił (1962) Richard Feynman podczas jednego ze swoich słynnych wykładów z fizyki [6]. Jego model to koło zębate z zastawką połączoną ze sprężynką oraz z dołączonym na wspólnej osi wiatraczkiem (Rys. 2). Cały układ zanurzony jest w gazie o określonej temperaturze. W prostym podejściu widać, że w wyniku zderzeń cząsteczek gazu ze skrzydełkami wiatraczka układ będzie wykonywał ruch jednokierunkowy. Jeżeli w środkowej części osi umieści się odpowiedni blok, to cały układ będzie zdolny do wykonania pracy (podniesienie ciężaru). Będzie to wówczas perpetuum mobile drugiego rodzaju, sprzeczne z drugą zasadą termodynamiki. Feynman rozwiązał ten paradoks, wskazując, że działanie jest w tym przypadku uwarunkowane wprowadzeniem układu w stan nierównowagi. W stanie równowagi układ taki nie będzie wykonywał żadnego ruchu.

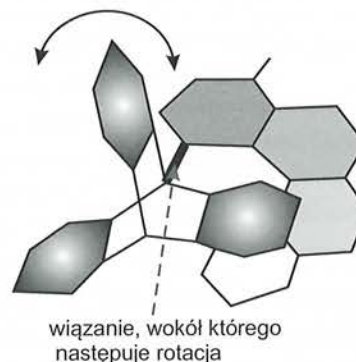
Stan daleki od równowagi można w tym przypadku uzyskać, gdy obie zasadnicze części układu-modelu będą się znajdowały w środowiskach o różnej temperaturze. Jeżeli temperatura wiatraczka jest wyższa niż koła zębatego ($T_1 > T_2$), ruch całego układu odbywa się w sposób zgodny z naszą intuicją. Jeżeli rozkład temperatur jest odwrotny ($T_1 < T_2$), to ruch odbywa się w kierunku przeciwnym. Przy czym należy tu podkreślić, że różnica temperatur nie jest tu najważniejsza. Istotnym warunkiem, umożliwiającym ruch ukierunkowany (obrót w jednym kierunku) jest odsunięcie układu od stanu równowagi połączone z fluktuacjami termicznymi.

Udało się zbudować rzeczywisty układ wiatraczek – koło zębate na poziomie molekularnym [7]. Powstał on z tryptycenu (9,10-o-benzeno-9,10-dihydroantracenu, $C_{20}H_{12}$) połączonego wiązaniem chemicznym z cząsteczką [4]helicenu (Rys. 3). W tym układzie cząsteczka tryptycenu pełni funkcję wiatraczka, natomiast cząsteczka [4]helicenu – funkcję koła zębatego z zastawką. Mocno zredukowaną osią jest wiązanie pomiędzy tymi cząsteczkami. Swobodna rotacja wokół tego wiązania może być blokowana przez pierścień cząsteczki helicenu. Na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego (eksperyment z przeniesieniem polaryzacji spinowej) udowodniono, że zaproponowana cząsteczka nie jest jednak odpowiednikiem modelu



Rys. 2. Ogólnie znany układ – umieszczone na wspólnej osi wiatraczek oraz koło zębate z zastawką usztywnioną sprężynką

Feynmana. Dynamika molekularna oznacza w tym przypadku rotację w obu kierunkach. Energia aktywacji dla tego procesu wynosi 24,5 kcal/mol. Autorzy sugerują, że wiąże się to z obecnością obu enancjomerów helicenu w badanej próbce oraz stałej racemizacji tego fragmentu układu w warunkach eksperymentu.



Rys. 3. Schemat układu molekularnego, który miał być odpowiednikiem modelu Feynmana

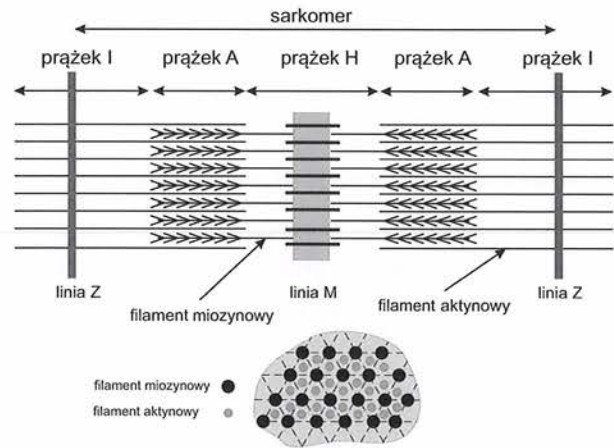
Przykład rozszerzenia efektu zapadki

Rozważania przedstawione przez Smoluchowskiego, a później przez Feynmana, traktuje się obecnie jako punkt wyjścia do badań, których hasłem głównym jest „efekt zapadki”. Natomiast wspomniany wcześniej model (opisany przez Feynmana) jest określane jako zapadka Smoluchowskiego–Feynmana. Śledzenie prac, koncepcji lub hipotez dotyczących efektu zapadki nie jest łatwe, gdyż podobne sobie rozważania i rozwiązania pojawiają się w wielu różnych dziedzinach fizyki i biofizyki [8]. Dowodzi tego fakt, że w oparciu o dzisiejszy stan wiedzy, rozważania nad określonymi zjawiskami równoważnymi efektowi zapadki można znaleźć w pracach na temat tzw. paradoksu Brillouina, który został opisany w 1950 roku, czy efektu Seebecka, który został odkryty w roku 1822. Bardzo ważnym nurtem badań na temat efektu zapadki są rozważania poświęcone biologicznym motorom molekularnym.

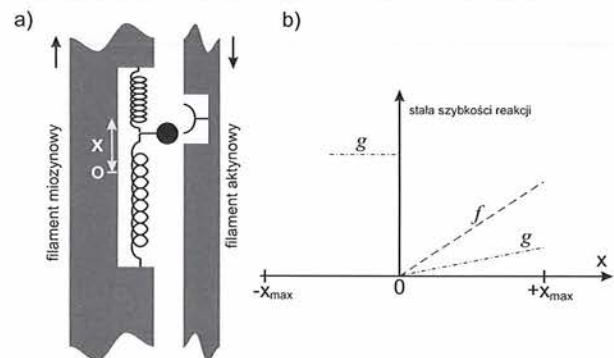
Motory molekularne to makrocząsteczki zdolne do przetwarzania energii chemicznej na pracę mechaniczną. Jest to pewna zawężona definicja ograniczająca się do układów wykonujących określone ruchy, np. ruchy translacyjne lub rotacyjne. Ta wybrana klasa motorów należy do układów napędzanych chemicznie, czyli działanie takich motorów jest uwarunkowane hydrolizą cząsteczki adenozy-no-trifosforanu (ATP). Jeszcze w latach 1990 obowiązywała opinia, że źródłem energii jest ciepło pobrane przez motor z otoczenia [9]. Ciepło to jest równoważne pracy wykonywanej przez motor. Rezerwuar energetyczny jest uzupełniany energią uwalnianą podczas hydrolizy ATP. Zmiana entropii całego układu (motor molekularny plus jego otoczenie) nie może być jednak ujemna. Entropia w tym przypadku jest powiększana przez entropię reakcji hydrolizy ATP oraz przez uwalnianie pewnej ilości ciepła w wyniku tej reakcji.

Hipoteza, iż motory molekularne mogą działać jak układy brownowskie (układy fizyczne, których działanie jest ściśle związane z ruchami Browna) pojawiła się po raz pierwszy w pracy A. F. Huxleya w roku 1957 [10]. Przedstawił on model skurczu mięśnia szkieletowego (Rys. 4). Była to hipoteza znacznie odbiegająca od wcześniejszych propozycji, w których wyjaśnienie procesu opierało się na założeniu o szczególnym rodzaju fałdowania białek, lub o powstawaniu układów helikalnych. Według Huxley'a dwa filamety – filament miozyny (zwany obecnie filamen-tem grubym) oraz filament aktynowy (zwany filamen-tem cienkim) w trakcie skurczu przesuwają się wzglę- dem siebie. Filament miozyny ma pewne elementy boczne (odstające od powierzchni), które oddziałują z filamentem aktynowym. Element boczny został tu przedstawiony jako układ sprężysty, którego różne po- łożenia powyżej i poniżej punktu równowagi obrazują kolejne stany konformacyjne. Przy czym ruch każdego z elementów bocznych jest ograniczony przestrzennie ze względu na energię sprężystości (Rys. 5). Połączenie pomiędzy filamentami następuje w procesie sto- chastycznym (pod warunkiem odpowiedniego położe- nia miozyny względem aktyny). Natomiast rozłączenie jest sprzężone z reakcją dostarczającą pewną ilość energii. Stała szybkości tej reakcji zależy od położenia elementu bocznego miozyny. Huxley zakłada, że od- działywanie pomiędzy aktyną i miozyną pojawia się jednocześnie w wielu miejscach wzdłuż filamentu, a ze względu na dużą szybkość skurczu proces ten prze- biega asynchronicznie.

Obecnie na podstawie wyników ogromnej ilości badań biochemicznych i strukturalnych wiemy, że pod- stawową funkcję aktywną w tkance mięśnia szkieleto- wego pełni miozyna II (Rys. 6a). Cząsteczki miozyny

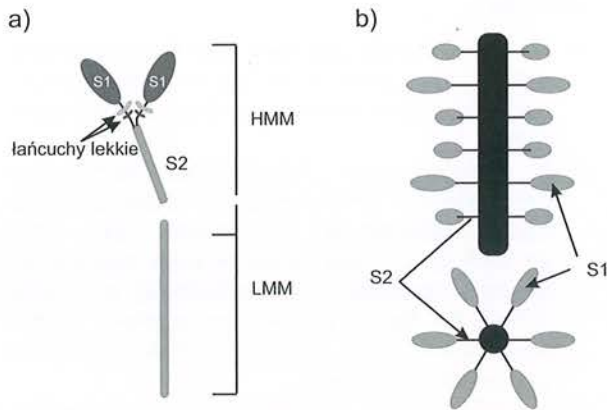


Rys. 4. Budowa sarkomeru, jednostki podstawowej w tkance mięśnia szkieletowego. Zasadniczą część tego układu, odpowiedzialną za proces skurczu to dwa filamety: aktynowy i miozyny. Sarkomer zmienia swoją długość w wyniku przesuwania się filamentu miozynowego względem filamentu aktynowego. Huxley znał układ prążków na podstawie badań za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego i elektronowego. Wiedział również, że każdy filament miozyny jest otoczony przez sześć filamentów aktynowych (przekrój poprzeczny)



Rys. 5. Model Huxley'a. a) oddziaływanie miozyny z aktyną. Ruchy Browna wykonywane przez element boczny miozyny są imitowane przez umieszczenie na filamencie miozynowym sprężynki. Gdy element ten znajdzie się w odległości xw górę od położenia równowagi, 0, istnieje różne od zera prawdopodobieństwo, że dojdzie do reakcji połączenia filamentów. Stała szybkości tej reakcji f jest różna od zera w zakresie możliwych po- łożeń elementu bocznego powyżej położenia równowagi. Stała szybkości reakcji rozłączenia g jest, w tym samym zakresie, również różna od zera, gdyż reakcja rozłączenia może zachodzić w dowolnym momencie. Po połączeniu, w wyniku uwolnienia energii sprężystości, następuje przesunięcie filamentu miozyny- wego względem filamentu aktynowego. b) zmiana stałej szyb- kości reakcji połączenia f oraz reakcji rozłączenia g w funkcji parametru x

II tworzą uporządkowany agregat zwany filamentem grubym (Rys. 6b) [11]. W trzon tej struktury wbudo- wane są fragmenty LMM. Z zachowaniem charaktery- stycznej symetrii z trzonu odstają fragmenty HMM. Fragmenty S1 miozyny oddziałują z filamentem akty- nowym, co potocznie określa się jako „ruch kroczący”.



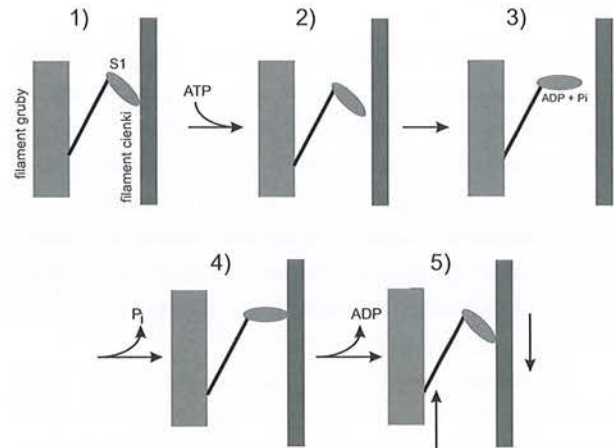
Rys. 6. Struktura domenowa miozyny II. A) Jest to układ dwóch splecionych łańcuchów peptydowych, do których dołączone są symetrycznie po dwa krótkie łańcuchy peptydowe (tutaj nazwane łańcuchami lekkimi). Pod wpływem działania enzymu – trypsyny struktura ta rozpada się na meromiozynę ciężką (HMM), która, po dłuższym działaniu enzymu, rozpada się dalej na fragmenty S1 i S2 oraz na meromiozynę lekką (LMM). B) struktura filamentu grubego (schemat)

W latach 1970 zaproponowano mechanizm skurczu mięśnia, w którym ogromny motor molekularny w postaci filamentu grubego „wspina się” po sześciu otaczających go filamentach cienkich (Rys. 7) [12]. Taki obraz działania dwóch białek nazwano modelem dźwigni (swingingleverarm model). Założono wówczas, że ruch ten jest zsynchronizowany.

Model ten jednak został zakwestionowany, gdy wprowadzono najróżniejsze techniki badania pojedynczej cząsteczki i w doświadczeniu badano wyizolowaną pojedynczą domenę S1 [13]. S1 zawieszono na mikroigle, nad filamentem aktynowym. Okazało się wówczas, że domena porusza się po filamencie „do przodu” lub „do tyłu” z krokiem ok. 5,5 nm. Ruchowi towarzyszy hydroliza cząsteczki ATP w centrum aktywnym ulokowanym na S1. W wyniku reakcji hydrolizy ATP przesunięcie domeny S1 wynosiło średnio od 5 do 30 nm. S1 wykonuje zatem ruchy Browna z preferencją dla ruchu „do przodu”.

W opisie ruchu motorów molekularnych, w tym miozyny II, związanych z hydrolizą ATP brak było jednak odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób tak uwalniana energia chemiczna może się przyczynić do ukierunkowanego ruchu molekularnego. Publikowane od początku lat 1990 prace teoretyczne pokazywały, że wyjaśnienie może znaleźć, gdy punktem wyjścia stanie się zapadka Smoluchowskiego–Feynmana.

W makroskopowych silnikach decydujące znaczenie dla pracy tych układów mają bezwładność i przyspieszenie nadawane im przez makroskopowe siły zewnętrzne. W przypadku motorów molekularnych liczą się ogromna lepkość ośrodka (co powoduje eliminację bezwładności, liczba Reynoldsa dla tych



Rys. 7. Kolejne fazy ruchu fragmentu HMM miozyny II w trakcie skurczu mięśnia. 1) fragmenty S1 i S2 tworzą tzw. mostek miozyny z cząsteczkami aktyny w filamencie cienkim, 2) przyłączenie nukleotydu ATP do główki S1 powoduje oderwanie od filamentu cienkiego, 3) następuje hydroliza ATP i zmiana położenia główki S1, 4) ponownie tworzy się mostek miozyny podczas uwolnienia jonu P_i (reszta kwasu ortofosforowego), 5) uwolnienie ADP i P_i wiąże się ze zmianą konformacyjną mostka miozyny i przesunięciem filamentu grubego względem filamentu cienkiego

układów ma wartość rzędu 10^{-8}) oraz chaotycznie działające siły, wynikające z ruchów Browna otaczających cząsteczek. Działanie dodatkowej siły, spoza układu – motoru molekularnego – jest potrzebne, by ukierunkować działanie motoru [14].

R. Dean Astumian zaproponował współczesny opis dla modelu Huxley’a [15]. Zwraca on uwagę, że najważniejszym aspektem oddziaływania miozyny z aktyną, na który należy w tym przypadku zwrócić uwagę, jest zależność szybkości reakcji przyłączania i odłączania ATP, ADP i P_i od położenia miozyny względem filamentu aktynowego. Autor proponuje dwa uproszczone znacznie modele, z pomocą których można zobrazować działanie miozyny. Jeden z tych modeli nazywa „zapadką informacyjną”, a drugi „zapadką energetyczną”.

Dla zapadki informacyjnej pewnym punktem odniesienia jest znany powszechnie „demon Maxwella”. Istota działania jest związana z informacją na temat stanu miejsca aktywnego miozyny – czy jest ono wolne, czy też jest zajęte przez cząsteczkę ATP lub produkty jej hydrolizy.

W drugim przypadku jest to zapadka Smoluchowskiego–Feynmana. Potencjał oddziaływania miozyny z filamentem aktynowym jest anizotropowy i ma w przybliżeniu postać funkcji periodycznej. Pokonanie kolejnych barier energetycznych jest związane z przebiegiem reakcji hydrolizy cząsteczki ATP w miejscu aktywnym miozyny.

Perspektywy

Proste doświadczenie myślowe Marian Smoluchowskiego miało być pomocne w zrozumieniu zagadnień dynamiki molekularnej. Jednak w połowie XX wieku zyskało ono nowy wymiar. W szczególności, w momencie, gdy pojawiła się nowa dziedzina nauki – nanotechnologia, efekt zapadki stał się przedmiotem intensywnie prowadzonych badań. Wyżej analizowany był zaledwie niewielki fragment ogromnego dorobku ostatnich lat w tym zakresie.

Pominięto między innymi bardzo ważny nurt, jakim są badania dotyczące sztucznych motorów molekularnych. Wstępem do tych prac była analiza słabych oddziaływań intermolekularnych, zapoczątkowana jeszcze przez Hermanna Emila Fischera. Zajmował się on między innymi chemiczną analizą i syntezą peptydów. Przeprowadzano również próby syntezy innych cząsteczek, dla których słabe, niekowalencyjne wiązania stanowiłyby podstawę stabilności struktury. Pewnym ukoronowaniem tych prac była synteza eterów koronowych (1967), którą przeprowadził Charles J. Pedersen. Wspólnie z Donaldem J. Crahem oraz Jean-Marie Lehn otrzymał on Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii (1987) za syntezę receptorów selektywnych typu „gospodarz–gość”. Otwarto w ten sposób nowy dział chemii organicznej zwany chemią supramolekularną. Kolejnym osiągnięciem w tej dziedzinie była niewątpliwie synteza różnego typu elementarnych układów molekularnych, takich jak katenany (układ splecionych pierścieni molekularnych) lub rotaksany (pierścienie zawieszane na liniowej cząsteczce z wbudowanymi na obu jej końcach tzw. stoperami) [16]. Te prace są pierwszym krokiem na drodze do tworzenia sztucznych maszyn molekularnych. Także w tym zakresie rozważania nad ukierunkowanymi ruchami Browna, będącymi czynnikiem napędzającym takie układy, są niezwykle ważne. Ostatecznie zatem biologiczne motory molekularne stały się do pewnego stopnia układami wzorcowymi do konstrukcji sztucznych maszyn molekularnych, a jednocześnie praca nad budową tych maszyn przynosi nowe wyniki pozwalające na lepsze zrozumienie działania biologicznych motorów molekularnych.

Literatura

- [1] M. Smoluchowski „Dzisiejszy stan teorii atomistycznej” w: M. Smoluchowski „Wybór pism filozoficznych”, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1956).
- [2] M. Smoluchowski „Experimentall nachweisbare der üblichen Thermodynamik widersprechende Molekularphänomene” *Phys. Zeitsch.* XIII (1912), str. 1069–1080; j. pol. „Obserwowalne zjawiska molekularne sprzeczne z termodynamiką tradycyjną” (tłum. B.J. Gawęcki) w M. Smoluchowski „Wybór pism filozoficznych” Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1956).
- [3] A. Teske „Marian Smoluchowski życie i twórczość” Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1955).
- [4] E. Kappler „Versuche zur messung der avogadro-loschmidtschen zahl aus der brownscenbewegung einer drehwagge” *Annalen der Physick* II (1931) s. 233–256.
- [5] P. Becker „History and progress in the accurate determination of the Avogadro constant” *Rep. Prog. Phys.* 64 (2001), s. 1945–2008.
- [6] R. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands „Feynmana wykłady z fizyki” (tłum. A. Jurewicz, M. Grynberg, M. Kozłowski, T. Butler), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, tom 1.2, rozdz. 46, str. 307–318.
- [7] T.R. Kelly, J.P. Sestelo, I. Tellitu „New molecular devices: in search of a molecular ratchet” *J. Org. Chem.* 63 (1998) s. 3655–3665.
- [8] P. Reimann „Brownian motors: noisy transport far from equilibrium” *Phys. Rep.* 361 (2002) s. 59–265.
- [9] N. Thomas, Y. Imafuku, K. Tawada „Molecular motors: thermodynamics and the random walk” *Proc. R. Soc. London B*268 (2001) s. 2113–2122.
- [10] A.F. Huxley „Muscle structure and theories of contraction” *Prog. Biophys. Biophys. Chem.* 7 (1957) s. 255–318.
- [11] H.E. Huxley „The mechanism of muscle contraction” *Science* 164 (1969) s. 1356–1366.
- [12] R.W. Lymn, E.W. Taylor „Mechanism of adenosine triphosphate hydrolysis by actomyosin” *Biochemistry* 10 (1971) s. 4617–4624.
- [13] K. Kitamura, M. Tokunaga, A. HikikoshiIwane, T. Yanagida „A single myosin head moves along an actin filament with regular steps of 5.3 nanometers” *Nature* 397 (1999) s. 129–134.
- [14] R.D. Astumian, M. Bier „Mechanochemical coupling of the motion of molecular motors to ATP hydrolysis” *Biophys. J.* 70 (1996) s. 637–653.
- [15] R.D. Astumian, I. Derényi „Fluctuation driver transport and models of molecular motors and pumps” *Eur. Biophys. J.* 27 (1998), s. 474–489.
- [16] A. Coskun, M. Banaszak, R.D. Astumian, J.F. Stoddart, B.A. Grzybowski „Great expectations: can artificial molecular machines deliver on their promise” *Chem. Soc. Rev.* 41 (2012), s. 19–30.

Leopold Infeld – początki kariery

Andrzej Kajetan Wróblewski

Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Nie ma już obecnie osób, które były dorosłymi świadkami wydarzeń pierwszych dziesięcioleci XX wieku, toteż opracowując artykuł o początkach kariery Leopolda Infelda można się posłużyć tylko zachowanymi pisemnymi źródłami. Do nich należą przede wszystkim cztery autobiograficzne książki Infelda: pierwsza, wydana podczas jego pobytu w Kanadzie [1], oraz kolejne trzy, wydane po powrocie do Polski [2]. Niestety, konfrontacja tych wspomnień z innymi dokumentami wykazuje, że są one wybiórcze, a ponadto zawierają informacje nieprawdziwe lub wręcz zmyślane.

Leopold Infeld urodził się w 1898 r. w Krakowie. Jego ojciec Salomon miał sklep, w którym handlował skórą i przyborami szewskimi. Mając nadzieję, że Leopold odziedziczy sklep i podtrzyma rodzinną tradycję zmusił go, aby po elementarnej szkółce żydowskiej (chederze) i polskiej szkole publicznej, uczył się w Akademii Handlowej. Młody Leopold nienawidził chederu, a potem zbuntował się przeciw nakazom rodziców i chodząc do szkoły handlowej, przerabiał równocześnie kurs gimnazjum, ponieważ chciał wstąpić na uniwersytet.

Zaczął studiować fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim w 1916 r., będąc jednocześnie szeregowcem w armii austro-węgierskiej. Trwała wojna światowa, ale oddział Infelda pozostawał w Krakowie. Na szczęście udawało mu się przekupywać przełożonych i wymykać się z koszar na wykłady. W 1920 r. pojechał na osiem miesięcy do Berlina, gdzie zetknął się z Albertem Einsteinem, wówczas najślawniejszym uczonym świata. Pod jego wpływem zainteresował się teorią względności. Napisał pracę o falach świetlnych w szczególnej teorii względności i na jej podstawie uzyskał



Ryc. 1. Leopold Infeld w młodym wieku (fotografia uzyskana dzięki uprzejmości prof. Eryka Infelda)

w październiku 1921 r. stopień doktora. Jego promotorem był Władysław Natanson. Trzeba jednak wiedzieć, że w owym czasie Uniwersytet Jagielloński działał jeszcze na podstawie przepisów obowiązujących w uczelniach austriackich. W szczególności ówczesny stopień doktora miał dużo niższy poziom od dzisiejszych standardów i odpowiadał raczej obecnym stopniom licencjata lub magistra. Istotnie, rozprawą doktorską Infelda był liczący 34 strony artykuł, opublikowany po polsku [3]. Infeld był świadom niewielkiej wartości jego pracy i po latach sam napisał, że był to tylko „skromny przyczynek do teorii względności” [4].

Artykuł jest polską wersją referatu *Leopold Infeld – Early Years*, przedstawionego 15 stycznia 2018 r. na Wydziale Fizyki UW podczas międzynarodowej sesji *The Infeld Memorial Meeting*, w 50 rocznicę śmierci Leopolda Infelda.

Po doktoracie Infeld musiał pracować przez 8 lat jako nauczyciel w szkołach żydowskich, najpierw w Będzinie, potem w Koninie, wreszcie w Warszawie. Skarżył się na taki los i wzbudzał współczucie w oczach ludzi, którzy nie orientowali się w ówczesnych stosunkach w Polsce. Taki los intrygował, toteż we wspomnieniu pióra Andrzeja Trautmana znajduje się zdanie: „Trudno dziś to zrozumieć, ale Infeld, jedyny uczeń i doktorant Profesora Natansona, nie otrzymał wówczas propozycji objęcia choćby najskromniejszego stanowiska uniwersyteckiego” [5]. Trautman powtórzył słowa Infelda, że był on jedynym uczniem i doktorantem Władysława Natansona. To jednak nie było prawdą. Natanson miał łącznie pięciu doktorantów [Stanisław Loria (1907), Leopold Infeld (1921), Józef Miczyński (1922), Stefan Szymon Rozentel (1928), Wacław Staszewski (1917)], z których Infeld był trzecim z kolei [6].

Obraz fizyki teoretycznej w Polsce przed 1939 r. był następujący:

1. Katedrę fizyki teoretycznej w Uniwersytecie Jagiellońskim zajmował Władysław Natanson; dopiero w r. ak. 1930/31 uzyskał on z ówczesnego Ministerstwa Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego etat asystenta, na którym został wówczas zatrudniony kończący studia Ludwik Kozłowski.

2. Katedrę fizyki teoretycznej w Uniwersytecie Jana Kazimierza we Lwowie kierował w okresie 1919–1927 Stanisław Loria; w 1927 r. przeniósł się on na Katedrę Fizyki Doświadczalnej UJK. Katedra Fizyki Teoretycznej pozostawała nieobsadzona do 1930 r., kiedy objął ją Szczepan Szczeniowski; nie było tam asystenta aż do r. ak. 1930/31, kiedy na uzyskanym etacie został zatrudniony Infeld.

3. Katedrę fizyki teoretycznej w Uniwersytecie Poznańskim zajmował Tadeusz Pęczalski; od r. ak. 1921/22 był tam zatrudniony asystent. Pęczalski prowadził liczne badania eksperymentalne.

4. Katedrę fizyki teoretycznej w Uniwersytecie Warszawskim zajmował od r. ak. 1921/22 Czesław Biało-brzeski nie mając początkowo asystenta; dopiero od r. ak. 1928/29 został tam zatrudniony asystent nietatowy, tj. utrzymywany z dochodów własnych uczelni. Biało-brzeski prowadził także badania eksperymentalne po uzyskaniu z ówczesnego ministerstwa funduszy na zakup aparatury i zatrudnienie asystentów na etatach badawczych.

5. Katedrę fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie zajmował w latach 1921–1935 Jan Weysenhoff, a od roku 1937 Szczepan Szczeniowski; w tej katedrze nie było żadnego asystenta.

6. Katedrę fizyki teoretycznej na Wydziale Ogólnym Politechniki Lwowskiej zajmował Wojciech Rubi-

nowicz, mając asystenta od r. ak. 1922/23. W 1933 r. katedra ta została zlikwidowana w ramach reformy ministra Jędrzejewicza.

Tak więc w 1921 r. jedyny etat asystenta w katedrze fizyki teoretycznej w Polsce był na Uniwersytecie Poznańskim, rok później pojawił się etat asystenta na Politechnice Lwowskiej. Na uniwersytetach we Lwowie, Krakowie i Warszawie etaty asystentów fizyki teoretycznej pojawiły się po dziesięciu latach.

Leopold Infeld mógł być rozczarowany brakiem możliwości zatrudnienia na uczelni, ale nie było to wynikiem szczególnego upośledzenia właśnie jego osoby, ponieważ taka była polityka ówczesnych władz, które ograniczały do minimum liczbę etatów na wyższych uczelniach.

Pracując w szkole średniej Infeld początkowo zajmował się głównie zagadnieniami dydaktyki. W latach 1923–1925 ukazywało się w Polsce czasopismo dla nauczycieli „Przegląd matematyczno-fizyczny”. Infeld zamieścił tam dwa artykuły [7]. W następnym roku czasopismo to zostało zlikwidowane, a w jego miejsce pojawił się nowy periodyk „Mathesis Polska”, poświęcony naukom ścisłym, informacjom o nowych odkryciach i popularyzacji. Założycielem i redaktorem był Stanisław Warhaftman, a z redakcją współpracowali m.in. Edward Stenz, Szczepan Szczeniowski i Kazimierz Zarankiewicz. W tym czasopiśmie publikowali wybitni polscy astronomowie, chemicy, fizycy i matematycy. Infeld również publikował tam artykuły [8].

Po przeniesieniu się do pracy w szkole w Warszawie Infeld został członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Dziesiątego maja 1926 r. wygłosił na zebraniu Oddziału Warszawskiego PTF referat „O pomiarach przestrzenno-czasowych w fizyce klasycznej i teorii względności”. Tekst tego referatu został opublikowany [9]. Zapoczątkował również swój aktywny udział w Zjazdach Fizyków Polskich. Na III Zjeździe we Lwowie (1926) przedstawił dwa referaty: „O wpływie nowych teorii fizyki na nauczanie w szkole średniej” oraz „O t. zw. ciele sztywnym i zasadniczych przyrządach mierniczych w fizyce klasycznej i teorii względności”.

Pierwsze publikacje Infelda w czasopismach zagranicznych dotyczyły prób zbudowania jednolitej teorii pola, która obejmowałaby grawitację i elektromagnetyzm [10]. Podczas IV Zjazdu Fizyków Polskich w Wilnie (1928) wygłosił on referat „Elektryczność i grawitacja”. W streszczeniu, które przygotował do umieszczenia w Programie Zjazdu [11], wyjaśnił założenia swych badań:

W teorii względności ogólnej zachodzi zasadnicza różnica pomiędzy polem grawitacyjnym a elektromagnetycznym. Wielkości, wyznaczające pole gra-



Ryc. 2. Uczestnicy III Zjazdu Fizyków Polskich we Lwowie w 1926 r. przed frontem Politechniki Lwowskiej. 1 – Stefan Pieńkowski, 2 – Czesław Reczyński, 3 – Alfred Denizot, 4 – Waclaw Dziewulski, 5 – Ludwik Wertenstein, 6 – Matylda Wertenstein, 7 – Waclaw Werner, 8 – Tadeusz Malarski, 9 – Maksymilian Tytus Huber, 10 – Aleksander Jabłoński, 11 – Czesław Białobrzski, 12 – Witold Majewski, 13 – Maria Pietruszyńska – Majewska, 14 – Maria Asterblum, 15 – Cezary Pawłowski, 16 – Arkadiusz Piekara, 17 – Andrzej Soltan, 18 – Henryk Niewodniczański, 19 – Władysław Kapuściński, 20 – Szczepan Szczeniowski, 21 – Leopold Infeld, 22 – Edward Stenz, 23 – Antoni Bolesław Dobrowolski, 24 – Witold Bernhardt, 25 – Halina Grünbaumówna, 26 – Irena Bobrówna, 27 – Jadwiga Pogorzelska. Fotografia z Archiwum PTF, identyfikacja osób przez autora

witacyjne, mają swą interpretację geometryczną, charakteryzują bowiem równocześnie pole metryczne. W świecie, którego własności geometryczne wyznacza w zupełności pole grawitacyjne, istnieje pole elektromagnetyczne. Jednolita teoria grawitacji i elektryczności stara się uniknąć sztucznego rozdziału pojęć fizycznych na te, które posiadają interpretację geometryczną (pole grawitacyjne), i na pojęcia czysto fizyczne, które tej interpretacji nie posiadają (pole elektromagnetyczne). Cel ten może osiągnąć jednolita teoria grawitacji i elektryczności jedynie przez rozszerzenie podstaw geometrycznych teorii względności ogólnej. W teorii podanej przez autora (*Phys. Z.* 29, str. 145; *C. R.* 7. V. 28 oraz mająca się ukazać praca w *ZS.f.Phys.*) założono, że istnienie pola elektromagnetycznego wywołuje drobne odchylenia od charakteru Riemannowskiego geometrii świata. Zasadnicze równania – analogiczne do zasadniczych równań Einsteina w teorii względności ogólnej – dają nam wówczas nie tylko równania grawitacyjne, ale i równania Maxwella. Teoria wskazuje nam równocześnie na właściwą niezmienniczą postać równań Maxwella.



Ryc. 3. Powiększenie fragmentu Ryc. 2 z głową Leopolda Infelda

Wydaje się, że te wyjaśnienia Infelda nie trafiły do przekonania słuchaczy. Jego referat był jednym z zaledwie dwóch dotyczących teorii (drugi wygłosił Czesław Białobrzski). Dominowała wtedy fizyka doświadczalna, której wyniki przedstawiono w ponad 40 referatach. Ekscytowano się raczej powstającą właśnie mechaniką kwantową – poświęcono jej oba referaty plenarne („O nowych teoriach kwantowych Jana

Referaty Infelda na Zjazdach Fizyków Polskich

III Zjazd 1926 Lwów

*O wpływie nowych teorii fizyki na nauczanie w szkole średniej
O t.zw. ciele sztywnym i zasadniczych przyrządach mierniczych w fizyce
klasycznej i teorii względności*

IV Zjazd 1928 Wilno

Elektryczność a grawitacja

V Zjazd 1930 Poznań

Interpretacja nowej geometrii Einsteina na gruncie mechaniki klasycznej

VI Zjazd 1932 Warszawa

Struktura fali elektronowej

Pole metryczne a równanie Diraca (współautor Bartel L. Van der Waerden)

O wpływie chmury elektronowej na strukturę fali de Broglie'a

(współautor Szczepan Szцениowski)

VII Zjazd 1934 Kraków

Problem struktury elektronu w fizyce współczesnej

Nowa elektrodynamika kwantowa (współautor M. Born)

VIII Zjazd 1936 Lwów

*Nowe funkcje działania w jednolitej teorii pola**

*Stała 137, pole protonu, a jednolita teoria pola**

*przedstawił je Zenon Chraplywyj, gdyż Infeld był już w drodze do USA

Ryc. 4. Referaty Leopolda Infelda na Zjazdach Fizyków Polskich

Weyssenhoffa” i „Myśli przewodnie nowoczesnej mechaniki undulacyjnej” Władysława Natanson). Duże wrażenie zrobił referat Szczepana Szцениowskiego o selektywne odbicie elektronów od powierzchni kryształów, w którym autor przedstawił wyniki swych pomiarów potwierdzających istnienie dyfrakcji elektronów. Dodajmy, że praca Szцениowskiego była jedną z najwcześniejszych na ten temat (po publikacjach odkrywców zjawiska: Lestera Germera i Clintona Davissona oraz George'a Thomsona), została zauważona w świecie i trafiła od razu do opracowań przeglądowych.

Prace Infelda na temat unifikacji teorii grawitacji i elektromagnetyzmu nie znalazły oddźwięku w świecie. Wiadomo zresztą, że problem takiej unifikacji pozostał nierozwiązany do dziś. Prace te zostały jednak dostrzeżone przez historyków fizyki [12].

Publikując swe pierwsze prace w periodykach zagranicznych [11, 13] Infeld najwidoczniej wstydził się przyznać, że jest tylko nauczycielem w szkole średniej i zdecydował się na dość desperacki krok, podając swą afiliację jako: „Institut für theoretische Mechanik an der Universität Warschau”. Takiego instytutu na Uniwersytecie Warszawskim nie było (i zresztą nie ma nadal), więc była to afiliacja zmyślona!

Na podstawie swych prac Infeld został zatrudniony w 1930 r. jako starszy asystent w Uniwersytecie Jana Kazimierza. Od tego czasu mógł z dumą pisać w publikacjach [14], że jest pracownikiem Uniwersytetu we Lwowie. W marcu 1931 r. uzyskał tam habilitację na podstawie rozprawy wydanej po polsku własnym nakładem [15].

Infeld liczył, że obejmie kierownictwo Katedry Fizyki Teoretycznej UJK, tymczasem otrzymał ją Szczepan Szцениowski. Warto wiedzieć, że w tamtym okresie przed podjęciem decyzji o obsadzeniu katedry na wyższej uczelni minister zasięgał opinii wszystkich

profesorów danej dziedziny z całej Polski. Znając ówczesne realia trudno się dziwić, że te opinie musiały być bardzo pozytywne właśnie dla Szцениowskiego, który był „na fali” po udanym potwierdzeniu dyfrakcji elektronów [16] i wcześniejszych publikacjach z optyki wykonanych w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej UW Stefana Pieńkowskiego. Chyba mało kto z ankietowanych wysunąłby Infelda, mało jeszcze znanego nauczyciela, od niedawna pracującego na uniwersytecie i zajmującego się dosyć ezoterycznymi zagadnieniami.

Infeld oczywiście odczytał decyzję ministerstwa zupełnie inaczej uważając, że powodem był wyłącznie antysemityzm. Dobitnie napisał o tym w książce „Quest”. I potem powtarzał to w swych kolejnych książkach. Oceniał Szцениowskiego jako znacznie gorszego od siebie fizyka, który otrzymał nominację dlatego, że miał aryjskie pochodzenie i nazwisko.

Gdy zostałem pierwszym i jedynym doktorem fizyki teoretycznej w Polsce, nie miałem wątpliwości, że kariera uniwersytecka stałaby dla mnie otworem, gdyby nie drobny mankament: byłem Żydem. [17]

Po habilitacji Infeld pracował na stanowisku starszego asystenta w Katedrze Fizyki Teoretycznej, której szefem został Szцениowski. „Mój nowy szef... zachowywał się taktownie i nasze stosunki były poprawne. Wkrótce doszliśmy do wniosku, że nasze zainteresowania i upodobania w fizyce są różne. Milcząco zgodziliśmy się unikać tych spraw i rozmawiać tylko o polityce i plotkach.” [18]

To wspomnienie było chyba trochę przesadzone, gdyż Infeld i Szцениowski napisali jednak dwie wspólne prace [19].

W 1932 r. Infeld spędził kilka tygodni w Lipsku; owocem współpracy z przebywającym tam holenderskim teoretykiem Bartelem van der Waerdenem była bardzo ciekawa publikacja, w której podano uogólnienie rachunku spinorowego od szczególnej do ogólnej teorii względności, wprowadzono zespolone dwuskładnikowe spinory oraz wielkości dające związek między przestrzenią spinorową i przestrzenią wektorową i podano postać równania Diraca w czasoprzestrzeni Riemanna [20].

W 1933 r. Infeld uzyskał – przy poparciu Stefana Pieńkowskiego – stypendium Fundacji Rockefellera na wyjazd do Cambridge. Przebywał tam rok i trzy miesiące i współpracował z Maxem Bornem nad nieliniową teorią pola elektromagnetycznego (dziś nazywaną Elektrodynamiką Borna–Infelda). W wyniku tej współpracy powstało aż sześć publikacji [21]. Wyniki osiągnięte w Cambridge Infeld przedstawił po powrocie do Polski na VII Zjeździe Fizyków w Krako-

wie w 1934 r. Streszczenie, które przygotował do „Programu Zjazdu” [22] brzmiało tak:

M. Born i L. Infeld (Inst. Fiz. Teor. Cambridge). Nowa elektrodynamika kwantowa. Elektrodynamika kwantowa zbudowana przez Heisenberga i Pauliego prowadzi do szeregu trudności. Ich przyczyna leży nie w samym procesie kwantyzacji, ale w równaniach Maxwella, stanowiących podstawę elektrodynamiki kwantowej. Równania Maxwella nie posiadają bowiem rozwiązań reprezentujących elektron o skończonej energii, czyli masie. Należy przeto zbudować nową elektrodynamikę kwantową w dwóch krokach: 1. zmienić klasyczne równania Maxwella w ten sposób, aby, nie zmieniając ich konsekwencji zgodnych z doświadczeniem, uzyskać elektron o skończonej masie; 2. zbudować na podstawie zmienionej klasycznej teorii pola nową elektrodynamikę kwantową. Praca „O kwantyzacji nowej teorii pola”, wykonana wspólnie z M. Bornem, stanowi próbę przejścia do drugiego punktu, t.j. do zbudowania nowej elektrodynamiki kwantowej.

Infeld był utalentowanym popularyzatorem nauki. W 1933 r. opublikował piękną książkę „Nowe drogi nauki. Kwanty i materja” (Wydawnictwo Mathesis Polska, Warszawa, 1933). Została ona bardzo dobrze przyjęta, więc autor zatroszczył się o jej przekład na angielski i wykorzystując wcześniejsze kontakty z Einsteinem, poprosił go o napisanie przedmowy do wydania angielskiego, „The world in modern science”, które ukazało się w następnym roku. Następnie książka Infelda została także przełożona na holenderski: „Stof, straling en atomen: het wereldbeeld in de moderne natuurwetenschappen” (Amsterdam, 1935), chiński: „Ke xue zai jin ri” (Szanghaj, 1935), ukraiński: „Матерія і кванти в світлі сучасної науки” (Charków, 1937) oraz japoński: „Busshitsu no shinpi” (Tokio, 1940).

Sukcesy popularyzatorskie Infelda spowodowały, że został zaproszony do współpracy z dziennikiem liberalnym „Gazeta Polska”, wydawanym przez sfery zbliżone do ówczesnego rządu. Infeld przyjął ofertę i od 1934 r. regularnie pisał tam artykuły popularne na różne tematy: od krótkich szkiców biograficznych o wybitnych uczonych do tekstów wyjaśniających najnowsze odkrycia w fizyce. Łącznie napisał ich 21 i wspominał potem, że otrzymane honoraria były znacząco wyższe od jego pensji uniwersyteckiej.

Infeld był na tyle znanym popularyzatorem, że został także zaproszony do współpracy z nowatorską encyklopedią „Świat i Życie” pod redakcją Zygmunta

GAZETA POLSKA

PISMO GODZINNE

Artykuły Leopolda Infelda

- Twórcy nowej nauki o świetle. I. Werner Heisenberg (1934, rok VI, nr 355, 23 XII), s. 5.
 Twórcy nowej nauki o świetle. II. Erwin Schrödinger (1934, rok VI, nr 358, 28 XII), s. 5.
 Droga ku alchemii (1935, Rok VII, nr 296, 25 X), s. 3–4.
 Polemika wokół kwantów (1935, Rok VII, nr 320, 18 XI), s. 3–4.
 Wczoraj i jutro w szkole angielskiej. I. Dwa wypadki graniczne (1935, Rok VII, nr 353, 21 XII), s. 5.
 Wczoraj i jutro w szkole angielskiej. II. Eton (1935, Rok VII, nr 354, 22 XII), s. 5.
 Wczoraj i jutro w szkole angielskiej. III. Summerhill (1935, Rok VII, nr 355, 23 XII), s. 3–4.
 Cambridge. I. Charakter uniwersytetów angielskich (1935, Rok VII, nr 217, 7 VIII), s. 7.
 Cambridge. II. Studja (1935, Rok VII, nr 219, 9 VIII), s. 3.
 Cambridge. III. Colleges (1935, Rok VII, nr 223, 13 VIII), s. 5.
 Cambridge. IV. Studja i praca naukowa (1935, Rok VII, nr 226, 16 VIII), s. 5.
 Energia a materja (1936, Rok VIII, nr 80, 20 III), s. 3.
 W przestrzenie świata i w głębie oceanu (1936, Rok VIII, nr 65, 5 III), s. 3–4.
 Rzemiosło pracy naukowej (1936, Rok VIII, nr 106, 17 IV), s. 3–4.
 Zagadka Syrjusa (1936, Rok VIII, nr 121, 1 V), s. 3–4.
 Ziemia (1936, Rok VIII, nr 36, 5 II), s. 5.
 Radioolimpia (1936, Rok VIII, nr 248, 6 IX), s. 10.
 Ciągłość – nieciągłość (1937, Rok IX, nr 7, 7 I), s. 3.
 Explorer II (1937, Rok IX, nr 49, 18 II), s. 5.
 Ciężkie cegiełki materii. I. Bilans cząstek elementarnych (1937, Rok IX, nr 84, 25 III), s. 3.
 Ciężkie cegiełki materii. II. Budowa jądra atomu (1937, Rok IX, nr 85, 26 III), s. 3–4.

Ryc. 5. Artykuły Leopolda Infelda w Gazecie Polskiej

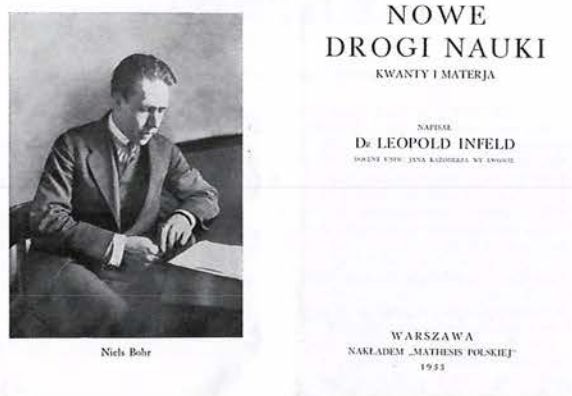
Lempickiego. Jej pierwsze cztery tomy zawierały kilkadziesiąt obszernych, przeglądowych artykułów na różne tematy, a ostatni, piąty tom, był zwykłym leksykonem. Infeld opracował do tej encyklopedii trzy artykuły: „Ciężnienie powszechne”, t. 1, s. 997–1006; „Kwanty”, t. 3, s. 205–219 oraz „Teoria względności”, t. 4, s. 1086–1097. W opracowaniu artykułów do encyklopedii „Świat i Życie” brali też udział inni polscy fizycy, np. Czesław Białobrzeski, Marian Grotowski, Stanisław Kalinowski, Szczepan Szczeniowski, Ludwik Wertenstein i Stanisław Ziemecki.

Infeld był bardzo ambitny. Liczył na to, że otrzyma stanowisko kierownika uniwersyteckiej katedry fizyki teoretycznej w Wilnie. Tymczasem otrzymał ją Szczeniowski, który przeniósł się ze Lwowa.

Rozczarowany tym niepowodzeniem Infeld postanowił szukać szczęścia za granicą. Wziął urlop z Uniwersytetu Jana Kazimierza na rok akademicki 1936/37 i wyjechał do Princeton, gdzie dzięki staraniom Alberta Einsteina otrzymał stypendium. Rozpoczęła się ich owocna współpraca nad zagadnieniami ogólnej teorii względności.

Po roku Infeld zdecydował, że nie wraca do Lwowa. Tymczasem stypendium się skończyło i pozostał bez środków do życia.

„Gdy rozmyślałem nad swoją sytuacją, nagle przyszła mi do głowy myśl: napisać wspólną książkę z Einsteinem” – wspominał Infeld [24]. Einsteinowi bardzo się ten pomysł spodobał, ponieważ także myślał o napisaniu popularnej książki przedstawiającej główne idee fizyki. Wkrótce książka „Evolution of physics” była gotowa. Niemal cały jej tekst napisał mający świetne pióro Infeld, ale każdy ustęp był drobiazgowo dyskutowany z Einsteinem, który dbał o prezentowanie jego punktu widzenia. Wydanie wspólnej książki Einsteina



Ryc. 6. Nowe drogi nauki Leopolda Infelda

i Infelda wywołało sensację i od razu zaowocowało cover story w poczytnym tygodniku TIME (3 kwietnia 1938 r.)

Po skończeniu naszej książki Evolution of physics napisałem: „Każdy będzie mówił o tej książce jako napisanej przez Einsteina i jeszcze kogoś, czyjego nazwiska nie pamięta”. Do końca życia będę nosił stempel „współpracownik Einsteina”. Denerwował mnie ten stempel często. Dzisiaj jestem z niego dumny. [25]

W zagranicznych encyklopediach i słownikach Infeld jest obecnie najczęściej wymienianym polskim fizykiem i to nie z powodu swych ściśle fachowych prac z teorii pola i grawitacji, lecz właśnie dzięki książce „Ewolucja fizyki”, która zdobyła światowy rozgłos. Została przełożona na ponad trzydzieści języków i jest stale wznawiana.

W wyniku przeszukania światowych baz danych znalazłem następujące przekłady Evolution of physics na inne języki: francuski, holenderski, szwedzki (1938), duński, norweski, portugalski, węgierski (1939), japoński (1940), niemiecki (1944), chiński (1945), włoski (1948), rosyjski (1949), rumuński (1957), czeski, słowacki (1958), polski, bułgarski, litewski (1959), estoński, fiński, słoweński (1962), hindi, hiszpański (1965), turecki (1966), kataloński (1968), hebrajski (1976), grecki (1978), perski (1982), arabski (1993), baskijski (1999), wietnamski (2005), koreański (2017?); ponadto w 1980 r. pojawiło się wydanie Braille angielskiego oryginału.

Z Princeton Infeld przeniósł się do Toronto, gdzie objął katedrę fizyki na uniwersytecie. W 1941 r. wydał swą autobiografię. Był wtedy już człowiekiem znanym, więc „Quest, An Autobiography” została wydana jednocześnie przez wydawnictwa Gollancz (1941) i Doubleday, Doran & Co (1941), a rok później przez

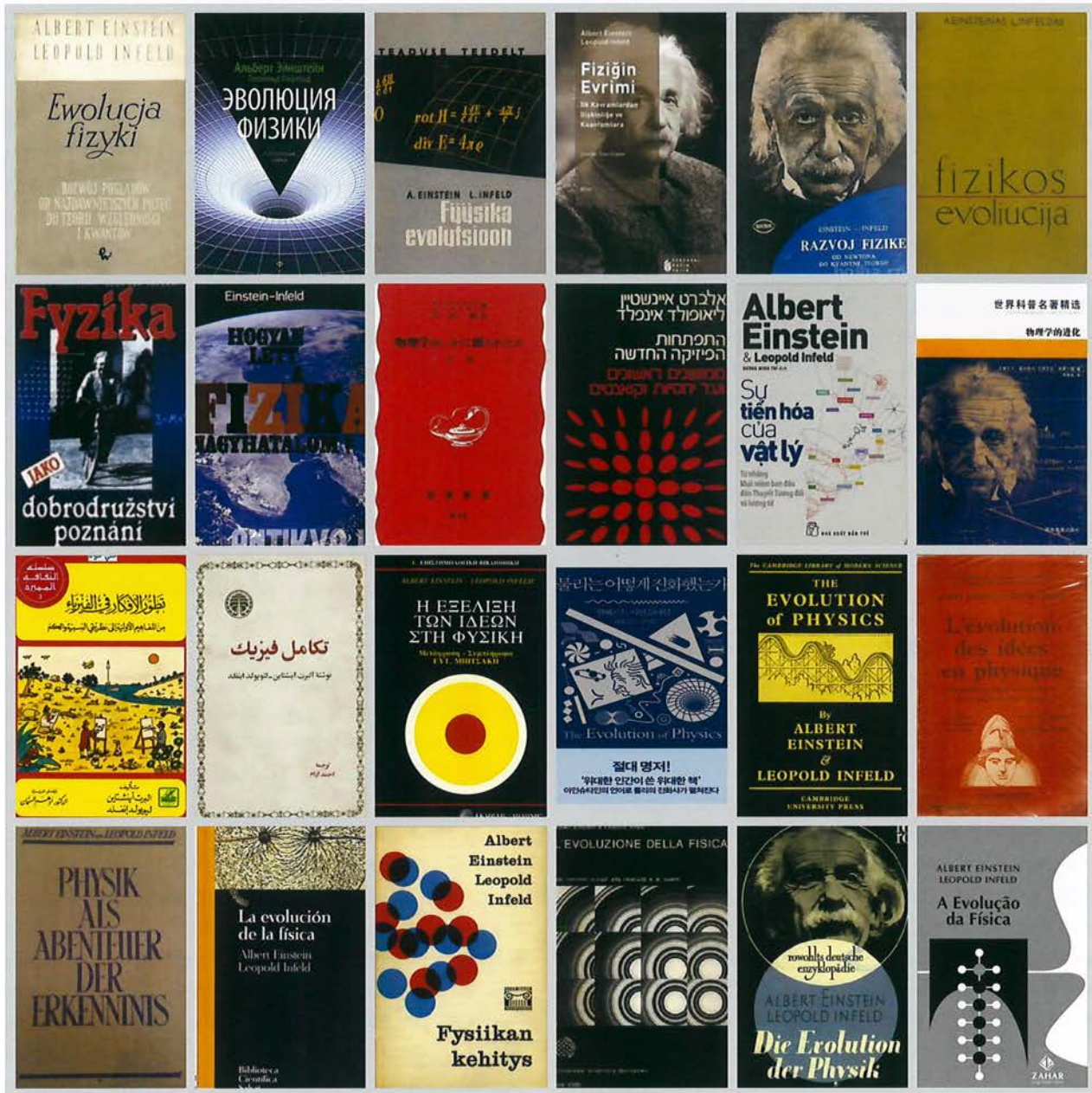
Readers Union, Londyn (1942). Dodajmy, że dużo później ukazały się dwa kolejne wznowienia: Chelsea Pub Co (1980) oraz American Mathematical Society (2006).

Niestety w tej książce Infeld przedstawił silnie zniekształcony obraz społeczności akademickiej w Polsce. Wylał wszystkie swoje żale i niepowodzenia, tłumacząc je ogromnym antysemityzmem, który zamykał jemu i wszystkim Żydom drogę do stanowisk akademickich. Stwierdzał, że trudno było mu znieść atmosferę ciągłych prześladowań, których miał doświadczać. W dobrym świetle przedstawił tylko profesora Stanisława Lorie, który go zatrudnił w Uniwersytecie Jana Kazimierza. Kilku innych fizyków, którzy, jak uważał, przyczynili się do jego utracenia, oznaczył inicjałami, po których łatwo rozpoznać kto był kim (C – to Szczepan Szczeniowski, N – Władysław Natanson, M – Mieczysław Wolfke, P – Stefan Pińkowski, R – Wojciech Rubinowicz, W – Jan Weysenhoff). Pozostałych fizyków polskich w ogóle zignorował i pominął.

Uniwersytety [w Polsce] były twierdzami antysemityzmu... Uniwersytety tworzyły silne ośrodki antyżydowskiej i reakcyjnej propagandy. Dawne tradycyjne prawa tego kraju, wyrażane sloganami „wolność nauki” i „autonomia uniwersytetów” były używane do zwalczania demokracji i do obrony bastionów reakcji. [26]

Infeld ubzdurał sobie, że jego niepowodzenie w uzyskaniu katedry fizyki w Wilnie było wynikiem specjalnie utworzonego ogólnopolskiego spisku, który miał mu uniemożliwić awans naukowy. Oto fragment tekstu jego książki dotyczący tej sprawy:

We Lwowie był wtedy fizyk-teoretyk, starszy ode mnie, który był już profesorem w Szkole Politechnicznej i którego można było po prostu przenieść na uniwersytet, ponieważ jego katedra fizyki teoretycznej została właśnie zlikwidowana przez ministerstwo. Opracowano zawczasu plan strategiczny, który wyglądał jak seria ruchów w grze w szachy: Profesor N. z Krakowa idzie na emeryturę. Profesor W. z Wilna przechodzi do Krakowa. Profesor C. ze Lwowa przechodzi do Wilna. Profesor R. z Politechniki Lwowskiej przechodzi na uniwersytet we Lwowie. Katedra fizyki teoretycznej na Politechnice Lwowskiej zostaje zlikwidowana. Nie było żadnych luk. Nie było potrzeby żydowskich docentów. Plan był doskonały i pokazywał jasno, że jestem zbędny dla polskiego życia akademickiego. [27]

Ryc. 6. Przegląd okładek książki *Evolution of physics* w różnych przekładach

Jednak prawdziwy rozwój wypadków był inny: W 1933 r. katedra fizyki teoretycznej profesora Rubiniowicza w Politechnice Lwowskiej została zlikwidowana, a jemu pozostało jedynie prowadzenie wykładów mechaniki dla studentów inżynierii. W 1935 r. profesor Natanson z Uniwersytetu Jagiellońskiego przeszedł na emeryturę. W tymże roku opróżnioną katedrę fizyki teoretycznej w UJ objął profesor Weysenhoff, który przenosząc się z Wilna, powrócił do macierzystej uczelni. Katedra fizyki teoretycznej w Wilnie pozostawała nieobsadzona do 1937 r., kiedy objął ją profesor Szczeniowski, przenosząc się ze Lwowa do Wilna. Opróżnioną przez niego katedrę w Uniwersytecie Jana Kazimierza objął profesor Rubinowicz, który

mógł w ten sposób wznowić swe prace w fizyce teoretycznej. Tak udało się naprawić krzywdę wyrządzoną temu zasłużonemu uczonemu przez reformę ministra Jędrzejewicza.

Trzeba przypomnieć, że Wojciech (Adalbert) Rubinowicz, profesor Politechniki Lwowskiej od 1922 r., był wtedy w Polsce najwybitniejszym fizykiem-teoretykiem, znanym i poważanym w całym świecie. Prowadził badania w trzech kierunkach: teorii dyfrakcji światła, reguł wyboru dla przejść w atomach i teorii promieniowania multipolowego. W 1917 r. opublikował pierwszą ze swych „wielkich” prac: o fali ugięcia w teorii dyfrakcji Kirchhoffa [28]; ten wątek badań kontynuował kilka lat później [29]. W 1918 r. napisał jedną

ze swych najważniejszych prac na temat tzw. reguł wyboru [30]. Praca ta rozślawiła jego nazwisko na całym świecie i do dziś jest wymieniana jako ważne ogniwo w rozwoju fizyki atomu. Duże znaczenie w okresie pracy we Lwowie miały jego prace na temat tzw. promieniowania kwadropolowego (1932) oraz przejść wzbronionych w atomach (1929, 1930) [31]. Teoria Rubinowicza znalazła pełne potwierdzenie w eksperymentach wykonanych wkrótce w Holandii i USA.

O ówczesnej pozycji Rubinowicza w świecie może świadczyć to, że zaproszono go do opracowania jednej z części sławnego dzieła „Handbook der Physik”, tom 24/1, „Quantentheorie” (1933), Pozostałymi autorami w tym tomie byli Hans Bethe, Wolfgang Pauli, Friedrich Hund, Nevill Mott i Gregor Wentzel. Trzech z nich (Bethe, Pauli i Mott) otrzymało wkrótce Nagrody Nobla z fizyki. Prace Rubinowicza były i są cytowane w niemal każdej monografii poświęconej dyfrakcji, budowie atomu i widmom optycznym.

Kolejną nieprawdziwą informacją podaną przez Infelda w „Quest” było to, że był on jedynym doktorem fizyki teoretycznej w Polsce. Tymczasem poza profesorem Wojciechem Rubinowiczem, którego nie wymienił w swej książce po nazwisku, działali wtedy jeszcze w Polsce, w kolejności alfabetycznej:

— Jan Blaton, który uzyskał doktorat z fizyki teoretycznej w 1932 r. na podstawie rozprawy „Über die Dispersion des Lichtes in der Umgebung von Quadrupollinien”, Zeit. Phys. 74, 418, (1932). Był uczniem profesora Rubinowicza i pracował jako asystent w Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie. Po habilitacji w 1936 r. objął stanowisko dyrektora Państwowego Instytutu Meteorologicznego w Warszawie.

— Myron Mathisson, uzyskał doktorat z fizyki teoretycznej w 1930 r. na podstawie rozprawy „Ogólna teoria względności a dynamika elektronu”; promotorem był Czesław Białobrzęski. Po habilitacji w 1932 r. na Uniwersytecie Warszawskim prowadził tam jako docent wykłady i seminarium z fizyki teoretycznej.

— Jan Weysenhoff uzyskał doktorat z fizyki teoretycznej w 1916 r. na uniwersytecie w Zurychu, na podstawie rozprawy „Anwendungen der Quantentheorie für rotierende Gebilde und die Theorie des Paramagnetismus”, opublikowanej w Ann. Phys. 51, 285–326 (1916). Jak już podano wyżej, po habilitacji w Uniwersytecie Jagiellońskim w 1921 r., został profesorem fizyki teoretycznej w Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie.

— Feliks Joachim Wiśniewski, uzyskał doktorat z fizyki teoretycznej w Uniwersytecie Warszawskim w 1920 r. na podstawie rozprawy „Teoria kinetyczna przewodnictwa cieplnego ciał krystalicznych”. Po habi-

litacji w 1926 r. na Politechnice Warszawskiej, był tam docentem, a także profesorem Wolnej Wszechnicy Polskiej.

Bardzo smutne stało się to, że stwierdzenia Infelda z jego książki zostały podchwyczone i dodatkowo rozpowszechnione w licznych recenzjach. Podaję tu trzy przykłady takich recenzji.

Po powrocie [z Cambridge] był on [Infeld] jedynym człowiekiem w wolnej Polsce, który mógł objąć katedrę fizyki teoretycznej. Chociaż świat miał być demokratyczny, intrygi antysemitycznych profesorów spowodowały, że musiał nadal zajmować niższe stanowisko. [32]

W Polsce było niemożliwe, aby Żyd został profesorem... Podany przez dr. Infelda obraz godnego ubolewania postępowania jego kolegów uniwersyteckich w Polsce, przyda się środowisku akademickiemu niemal wszędzie. [33]

Te słowa były głęboko niesprawiedliwe i nieprawdziwe. Profesorami fizyki żydowskiego pochodzenia na uniwersytetach polskich byli wtedy chociażby Władysław Natanson, nauczyciel Infelda z Krakowa, Stanisław Loria, szef i przyjaciel Infelda ze Lwowa, a także np. profesorowie matematyki ze Lwowa Hugo Steinhaus i Kazimierz Kuratowski. Infeld znał ich wszystkich, a jednak przemilczał to w swej autobiografii! Profesorowie żydowskiego pochodzenia byli też na innych wydziałach i w innych uczelniach. Prawdą jest, że w Polsce antysemityzm istniał, a pod koniec lat 1930. przybierał na sile, jednak zwłaszcza w naukach ścisłych było to zjawisko mało widoczne (np. na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym UW nie było „getta ławkowego”). Stwierdzenie Infelda, że to uniwersytety w Polsce były centrami antysemityzmu, było po prostu nieprawdziwe.

Po ukazaniu się „Quest” Infeld posłał egzemplarz książki Einsteinowi do Princeton. Einstein książkę zaraz przeczytał i w kwietniu 1941 r. napisał do Infelda list, w którym przyznawał, że jest to ciekawa lektura; ale jednocześnie zganiał go przypominając, że wcześniej odradzał mu opisywanie w taki sposób różnych osobistych spraw i rozmów z ludźmi, którzy nie mogą na to zareagować.

Jak wspomniano wyżej, „Quest” wydano ponownie w 1980 r. Przyniosło to nowe recenzje, utrwalające wśród zachodnich czytelników nieprawdziwy obraz polskiego środowiska akademickiego.

Infeld rozpoczął pisanie swej autobiografii w 1939 r., kiedy dowiedział się w Nowej Anglii, że naziści zdo-

byli jego rodzinne miasto, Kraków. Na szczęście dla niego, trzy lata wcześniej, rozczarowany, tępiony i prześladowany przez polskie gremia uniwersyteckie, był zmuszony szukać szczęścia w Ameryce. [34]

Kiedy Infeld wrócił do Polski w 1950 r., jego język złagodniał. Żyli przecież jeszcze fizycy (Rubinowicz, Szczeniowski, Weyssenhoff), których tak nieładnie sportretował w książce „Quest” jako swych prześladowców. Zabronił więc kategorię wydania „Quest” po polsku, a nielicznym współpracownikom, którzy zdobywali jej egzemplarz za granicą i przychodzili do niego z prośbą o autograf, odmawiał i ich rugał. Nadal jednak w swych książkach powtarzał fałszywe informacje. Oto przykłady:

Kariera naukowa Myrona Mathissona jest może jeszcze bardziej od mojej charakterystyczna dla stosunków, jakie panowały w Polsce międzywojennej. Odrzucano bez skrupułów usługi ludzi twórczych, tak potrzebnych dla kultury polskiej. [...] Skończył inżynierię... Nagle w „Zeitschrift für Physik” ukazał się szereg jego prac z teorii względności... Ja próbowałem je czytać, ale w owym czasie były one dla mnie za mądre. Nie rozumiałem ich... [35]

Infeld podał tu nieprawdziwą informację, że Mathisson „skończył inżynierię”. W rzeczywistości Mathisson studiował w latach 1915–1918 na Wydziale Inżynierii Budowlanej Politechniki Warszawskiej, ale przerwał studia i w latach 1919–1920 brał udział w wojnie z bolszewikami. W 1920 r. wstąpił na Wydział Filozoficzny UW. Studiował tam w latach 1920–1924 i ukończył studia fizyki uzyskując stopnie magistra i doktora. Prace Mathissona, które ukazały się „nagle”, zostały opublikowane w 1931 r. [36], kiedy Infeld był już docentem na Uniwersytecie Jana Kazimierza, zatem zagadkowa jest jego uwaga, że „były dla niego za mądre”.

Sformułowanie o „odrzucaaniu bez skrupułów usługi ludzi twórczych” było chyba umieszczone w celu przypodobania się władzom Polski Ludowej.

O Władysławie Natansonie Infeld napisał w „Quest”:

Jedynym wykładawcą fizyki matematycznej [w Krakowie] był stary, obojętny profesor, zadowolony z płynności i piękna swych wykładów; w ogóle go nie obchodziło czy kogoś nimi inspiruje.” [37]

W Polsce napisał jednak o nim inaczej:

Zastanawiam się, co dał mi profesor Natanson jako fizyk i czego mi nie dał. Dał mi rzecz najważniejszą:

poczucie piękna fizyki teoretycznej, rozbudził drzemiące jeszcze zamilowanie do niej... W miarę jak rozwijała się moja własna praca naukowa, wpływ osobisty mego profesora malał coraz bardziej. Oddalałem się od niego i adoracja dość nagle zmieniła się w niechęć. Dzisiaj mówię o tym szczerze, bo wiem, że byłem niesprawiedliwy... Dzisiaj dopiero oceniam lepiej skomplikowany charakter mego profesora. Widzę w nim człowieka niezdolnego do intryg, rycerskiego i szlachetnego... Historia fizyki teoretycznej w Polsce zaczyna się od profesora Natansona... [38]

Infeld podtrzymywał także swe przekonanie o istnieniu przeciw niemu zorganizowanego spisku.

W Wilnie zwolniła się katedra fizyki. Przez skomplikowaną intrygę nie dopuszczono mnie do niej. [39]

Wybitny polsko-amerykański matematyk Stanisław Ulam, który znał Infelda ze Lwowa, a potem spotykał go w Princeton, dał chyba bardzo udaną jego charakterystykę:

Infeld był bardzo ambitny i miał barwną karierę. Sądzę, że jego talent do fizyki i matematyki nie dorównywał jego ambicjom. W Polsce miałem wątpliwości co do jego rzeczywistego zrozumienia matematyki bardziej złożonych części ogólnej teorii względności. Może wynikało to z jego ograniczonej znajomości podstaw matematyki. [40]

Nie ulega wątpliwości, że postępowanie Leopolda Infelda we wczesnych latach jego kariery, zwłaszcza autorstwo książki „Quest”, nie przynoszą mu chwały. Trzeba jednak pamiętać, że po powrocie do Polski w 1950 r. był on już innym człowiekiem. Nie sposób przecenić jego zasług dla stworzenia w Polsce silnej fizyki teoretycznej, nie tylko w jego dziedzinie, teorii względności, lecz we wszystkich pozostałych, które tak szybko rozwijały się po II wojnie światowej.

Nie miałem wobec tego żadnych wahań, aby umieścić Infelda wśród dziesięciu najwybitniejszych postaci w fizyce w Polsce w stuleciu 1915–2015 [41].

Literatura

- [1] L. Infeld, *Quest. An Autobiography*, 1941.
- [2] L. Infeld, *Moje wspomnienia o Einsteinie*, Iskry, Warszawa 1956; *Szkice z przeszłości*, PIW, Warszawa 1964; *Kordian, fizyka i ja*, PIW, Warszawa 1967.
- [3] L. Infeld, *Fale świetlne w teorii względności*, *Prace matematyczno-fizyczne* 32, 33–67 (1921).
- [4] *Quest* s. 101; w oryginale: „just a modest contribution to the problem of light waves in relativity theory”.

- [5] A. Trautman, Wspomnienie o Leopoldzie Infeldzie, *Postępy Fizyki* 19, 147–155 (1968).
- [6] J. Dybiec, Działalność uniwersytecka Władysława Natansonona, s. 23–52 w: *Władysław Natanson (1864–1937)*, Polska Akademia Umiejętności, Kraków 2009.
- [7] L. Infeld, O dowodzie tw. Talesa w szkole średniej, *Przegląd matematyczno-fizyczny* 2, 87–89 (1924); O wprowadzaniu pojęć fizycznych w szkole średniej, tamże 3, 135–147 (1925).
- [8] L. Infeld, O wpływie nowych teorii fizycznych na nauczanie w szkole średniej, *Mathesis Polska* 1, nr 7, 103–109 (1926); L. Infeld, A. Łastowiecki, O fali elektronowej, tamże 6, nr 9–10, 186–202 (1931); L. Infeld, Problem struktury elektronu w fizyce współczesnej, tamże 10, nr 1–2, 27–39 (1935).
- [9] L. Infeld, O pomiarach przestrzenno-czasowych w fizyce klasycznej i teorii względności, *Spraw. i Prace Polskiego Towarzystwa Fizycznego*, 3, 1–16, 117–129 (1927).
- [10] L. Infeld, Zur Feldtheorie von Elektrizität und Gravitation, *Phys. Zeit.* 29, 145–147 (1928); Les équations de Maxwell dans la théorie commune à la gravitation et à l'électricité, *C. R. Acad. Sci.* 186, 1280–1282 (1928); Zum Problem einer einheitlichen Feldtheorie von Elektrizität und Gravitation, *Zeit. Phys.* 50, 137–152 (1928).
- [11] IV-ty Zjazd Fizyków Polskich w Wilnie, 29.IX–1.X 1928, *Spraw. i Prace PTF* 4, 102–119 (1929).
- [12] Hubert F. M. Goenner, On the history of unified field theories, *Living Rev. Relativity* 7, 2–153 (2004).
- [13] L. Infeld, Kausalgesetz und Quantenmechanik, *Zeit. Phys.* 57, 411–415 (1929).
- [14] L. Infeld, Kausalgesetz und Quantenmechanik II, *Zeit. Phys.* 61, 703–711 (1930); Über eine Interpretation der neuen Einsteinschen Weltgeometrie auf dem Boden der klassischen Mechanik, *Phys. Zeit.* 32, 110 (1931); Dirac's Equation in the General Relativity Theory, *Acta Phys. Polon.* 3, 1 (1934).
- [15] O tzw. relacjach niedokładności w mechanice kwantowej i o ich związku z zagadnieniem pomiarów i przyczynowości, (praca habilitacyjna) nakładem autora, 23 strony, Lwów 1930.
- [16] S. Szczeniowski, Sur la réflexion des électrons, *C. R. Acad. Sci.* 187, 106 (1928); obszerniejszy opis w pracy: O selektywnym odbiciu elektronów od kryształów, *Spraw. i Prace PTF* 3, 405 (1928).
- [17] Szkice z przeszłości, s. 59 (1964).
- [18] *Quest*, s. 170; w oryginale: „My new boss... behaved with tact and our relationship was correct. We soon found out that our tastes and interests in physics differed. By tacit agreement we avoided this subject altogether, talking politics and gossiping.” [Uwaga: wszystkie cytaty angielskie są podane według wydania *Quest* z 1980 r.]
- [19] L. Infeld i S. Szczeniowski, The influence of a cloud of electrons on the structure of de Broglie waves, *Bull. Acad. Pol. Sci. Ser. A*, 482 (1931); O wpływie chmury elektronowej na strukturę fali de Broglie'a, *Acta Phys. Pol.* 1, 37 (1931).
- [20] L. Infeld, B. L. v. d. Waerden, Die Wellengleichung des Elektrons in der allgemeinen Relativitätstheorie, *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.* 9, 380 (1933).
- [21] M. Born, L. Infeld, Foundations of the New Field Theory, *Nature* 132, 1004 (1933); Foundations of the New Field Theory, *Proc. Roy. Soc. A* 144, 425 (1934); On the Quantization of the New Field Equations I, *Proc. Roy. Soc. A* 147, 522 (1934); On the Quantization of the New Field Equations II, *Proc. Roy. Soc. A* 150, 141 (1935); Principes de la nouvelle électrodynamique quantique, *C. R. Acad. Sci.* 199, 1297 (1934); Deduction de l'équation d'ondes de Dirac à partir de l'électrodynamique quantique, *C. R. Acad. Sci. (Paris)* 199, 1596 (1934).
- [22] Program VII Zjazdu Fizyków Polskich w Krakowie 27 IX – 29 IX 1934, Kraków 1934.
- [23] *Moje wspomnienia o Einsteinie*, s. 70.
- [24] *Moje wspomnienia o Einsteinie*, s. 6–7.
- [25] *Quest*, s. 222; w oryginale: „The universities [in Poland] were strongholds of anti-Semitism... The universities formed active centers of anti-Jewish and reactionary propaganda. The old traditional laws of the country, expressed in the slogans, »freedom of learning« and »autonomy of the universities« were used to fight democracy and to defend the strongholds of reaction.”
- [26] *Quest*, s. 226; w oryginale: „There was then in Lwów a theoretical physicist, older than I, who was already a professor of the polytechnic school and who could simply be transferred to the university, as his chair of theoretical physics had recently been abolished by the Ministry of Education. The whole strategic plan was worked out in advance. It was like a series of moves in a chess game: Professor N. from Cracow retires. Professor W. from Wilno goes to Cracow. Professor C. from Lwów goes to Wilno. Professor R. from Lwów Polytechnic School goes to Lwów University. The chair of theoretical physics in Lwów Polytechnic School is liquidated. No loopholes anywhere. No Jewish docents wanted. The plan was perfect and it demonstrated clearly that I was superfluous in Polish academic life.”
- [27] A. Rubinowicz, Die Beugungswelle in der Kirchhoffschen Theorie der Beugungerscheinungen, *Ann. Phys.* 53, 257 (1917); w tym czasie Rubinowicz w publikacjach stosował zlatynizowaną formę swego imienia, podpisując się jako Adalbert, stąd inicjał A.
- [28] A. Rubinowicz, Zur Kirchhoffschen Beugungstheorie, *Ann. Phys.* 73, 339 (1924).
- [29] A. Rubinowicz, Bohrsche Frequenzbedingung und Erhaltung des Impulsmomentes, *Phys. Zeit.* 19, 441 oraz 465 (1918).
- [30] A. Rubinowicz, Zur Frage nach der Intensität der Multipollinien, *Zeit. Phys.* 53, 267 (1929); Über Intensitäten und Summenregeln in normalen Quadrupolmultipletts, *Zeit. Phys.* 65, 662 (1930); Die Quadrupolstrahlung, *Ergebnisse Exakt. Naturwiss.* 11, 176 (1932) (z J. Blatonem).
- [31] *Quest* reviewed by Waldemar Kaempffert, *The Saturday Review*, April 5, 1941; w oryginale: „On his return [from Cambridge] he [Infeld] was the one man in free Poland to occupy a chair of theoretical physics. Though the world had been presumably made safe for democracy, intriguing anti-Semitic professors saw to it that he was kept in a minor post.”
- [32] *Quest* reviewed by M. F. Ashley Montagu, *Isis* 33, 344–345 (1941); w oryginale: „In Poland it was impossible for a Jew to become a professor... The account which Dr. Infeld gives of the perfectly characteristic

- and deplorable conduct of his academic colleagues in Poland will do service for academic men almost anywhere.”
- [33] Quest reviewed by Maurice Goldsmith, *Science and Public Policy*, 8, no. 3, 252–253, June 1981; w oryginale: „Infeld began his autobiography in 1939, when in New England he learned that the Nazis had taken his native city of Cracow. Fortunately for him, only three years before, abused, disillusioned, and persecuted by the Polish university Establishment, he had been obliged to seek new opportunity in North America...”
- [34] Kordian, *fizyka i ja*, s. 203–204.
- [35] M. Mathisson, *Die Beharrungsgesetze in der allgemeinen Relativitätstheorie*, *Zeit. Phys.* 67, 270 (1931); *Die Mechanik des Materieteilchens in der allgemeinen Relativitätstheorie*, tamże 67, 826 (1931); *Bewegungsproblem der Feldphysik und Elektronenkonstanten*, tamże 69, 389 (1931).
- [36] *Quest* (1941) s. 88; w oryginale: „The only lecturer in mathematical physics was an old, completely detached professor, delighted with the smoothness and external beauty of his lectures and not really giving a damn whether he inspired anyone or not.”
- [37] *Szkice z przeszłości* (1964) s. 29–36.
- [38] *Szkice z przeszłości* (1964) s. 62.
- [39] S. M. Ulam, *Adventures of a Mathematician*, University of California Press, Berkeley, 1991, s. 61; w oryginale: „Infeld was a very ambitious man and had a colorful career. I do not think his talent for physics and mathematics was quite up to his ambitions. In Poland, I had had some doubts about his real understanding of the mathematics of the deeper parts of general relativity. Perhaps it was because of his rather limited background in fundamental mathematics.”
- [40] A. K. Wróblewski, *Bilans stulecia, Postępy Fizyki* 67, nr 3, 104–137 (2016).

Dodatek: Sprawa polskiego wydania *Ewolucji fizyki*

Jak podano w tekście artykułu, polskie tłumaczenie *Ewolucji fizyki* zostało wydane w 1959 r. W Przedmowie do tego wydania Leopold Infeld napisał:

Cieszę się, że książka ta, pisana przed dwudziestu dwu laty, ukazuje się wreszcie w języku polskim. Dziwne są koleje jej polskiego wydania. Było ono gotowe jeszcze przed ostatnią wojną światową i książka miała ukazać się na półkach księgarskich we wrześniu 1939 roku. Kiedy w roku 1949 byłem z krótką wizytą w Polsce, wstąpiłem do mego wydawcy, Gebethnera i Wolffa, aby dowiedzieć się o losy tego wydania. Okazało się, że cały nakład został spalony, nie pozostał ani jeden egzemplarz.

Kiedy Państwowe Wydawnictwo Naukowe zwróciło się do mnie z propozycją wydania tej książki, zaproponowałem jako tłumacza mego młodszego kolegę, p. Gajewskiego. Otóż praca p. Gajewskiego była już daleko posunięta, kiedy podczas Zjazdu Fizyków we Wrocławiu, w roku 1957, dowiedziałem się przypadkowo, że istnieje jeden egzemplarz przedwojennego polskiego wydania, znajdujący się w posiadaniu kolegi Halaunbrennera, który był łaskawy mi ten egzemplarz przysłać. Zawarta w nim przedmowa do wydania polskiego wydaje mi się interesująca i przytaczam ją w pełni.

Gdy pisaliśmy tę książkę, boleliśmy wspólnie, że żaden z nas pisać jej nie może w języku, w którym układają się jego myśli. Mam wrażenie, że można

odzwyczaić się od mówienia w ojczystym języku, może i od pisania, ale nigdy od myślenia.

Układaliśmy plan rozdziału za rozdziałem rozmawiając głównie po niemiecku. Ja przez cały czas myślałem po polsku, walcząc z doborem słów w rozmowie i borykając się z gramatyką. Pisaliśmy wprost po angielsku, pozostawiając kwestię nieprawdopodobnie trudnej ortografii angielskiej i błędów gramatycznych pomocy przyjaciół. Ku naszemu wielkiemu zdziwieniu styl podobał się nie tylko im, ale i krytykom.

Była to zresztą jedyna trudność przy pisaniu tej książki. Dla mnie opracowywanie jej wiąże się z najsilniejszym przeżyciem naukowym w moim życiu: współpracą z Einsteinem. Sam nauczyłem się wiele podczas pisania tej książki. Rozmowy nasze wybiegały daleko poza skromne ramy naszej pracy, ale w objętych nią problemach brały swój początek. Z kartami tej książki wiąże się dla mnie wspomnienie wspólnych spacerów po polach uniwersytetu w Princeton, obraz żywych kolorów, którymi łśni jesień w Ameryce, wielka przygoda współpracy i banalny epilog: stos zwariowanych listów, lekki posmak tego, czym może być sława i reklama w Ameryce.

Nie staraliśmy się o napisanie sensacyjnej książki. Nie pragniemy przerazić czytelnika ogromem wszechświata lub małością atomu. Pisaliśmy o podstawowych ideach fizyki. Staraliśmy się pisać o rzeczach prostych w sposób prosty.

Książka ta ukazuje się w językach ojczystych jej autorów jako tłumaczenie. Tłumaczenie niemieckie ukazało się w Holandii. Cieszę się, że książka ta znalazła drogę do czytelnika w Polsce i że jej tłumaczenie ukaże się w moim ojczystym kraju.

Toronto, styczeń 1939 r.

Długotrwałe próby odnalezienia tego wydania z 1939 r. nie przyniosły skutku. Nie ma go w Bibliotece Narodowej i żadnej bibliotece w Polsce, nie jest też

wymienione w Bibliografii polskiej 1901–1939 wydawanej przez Bibliotekę Narodową. Nie wiadomo czy była to kompletna książka czy tylko wydanie szrotkowe. W cytowanym przez Infelda tekście jest też mowa o wydaniu niemieckim z 1939 r. – także i o tym wydaniu nie udało się odszukać żadnej informacji w bazach światowych, w których przyjmuje się, że pierwsze wydanie niemieckie ukazało się dopiero w 1944 r. w Holandii.

Może kiedyś ta zagadkowa sprawa znajdzie wyjaśnienie. Może ktoś z czytelników tego artykułu ma jakąś informację na ten temat.

Fizyka i filozofia Stephena Hawkinga

Michał Heller

Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych, Kraków

1. Epizody

Sięgam myślą wstecz. To musiał być rok 1972. Moja pierwsza wizyta w Cambridge. Słynny DAMTP (Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics) mieścił się wówczas w starej kamienicy przy Silver Street (ściślej: w zaułku Old Press Site między Silver Street a Mill Lane). Uczestniczyłem w jednym z wydziałowych seminariów. Referat na temat kinematycznej teorii względności wygłaszała młoda Francuzka. Miała wyraźną treść, często myliła się. Jakiś długi wzór jej „nie wyszedł”. Z sali zaczęto podpowiadać – nic gorszego dla prelegenta. W pewnym momencie głos zabrał Stephen Hawking (już wtedy na wózku inwalidzkim; mówił tak niewyraźnie, że jego „asystent” tłumaczył to natychmiast na angielski). Zrobiła się cisza (Hawking już wtedy był autorytetem): „w drugiej linijce od góry, trzeci wyraz, trzeba zmienić na...” (coś w tym rodzaju). Poprawka została naniżona i dalej wszystko poszło gładko.

Innym razem, kilka lat później. Podczas przerwy na kawę w Queen Mary College w Londynie, rozmowa toczyła się na temat bieżących spraw. Ktoś zapytał o numer telefonu jakiejś instytucji. To było przed erą telefonów komórkowych, a numery telefoniczne w Londynie były wyjątkowo długie. Zaczęto szukać w notesach, ale Hawking wszystkich wyprzedził i wyrecytował numer z pamięci.

Wspominam te epizody, bo zawsze dziwiłem się, jak można uprawiać matematykę, i to wymagającą tak zaawansowanych rachunków, bez pomocy „kartki i ołówka”. Nie tylko trzeba mieć niezwykle wyostrzoną pamięć, lecz również zdolność „widzenia matematycznych struktur”. Przecież w pracach Hawkinga nie mniejszą rolę niż rachunki odgrywa twórcza manipulacja strukturami.

Martin Rees, który wówczas pracował w tym samym budynku, wspomina¹, że Steve godzinami tkwił bez ruchu na swoim wózku inwalidzkim. Rees zastanawiał się wówczas – podobnie jak ja kiedyś – co działo się w głowie Hawkinga. Okazało się potem, że on wtedy pracował swoją teorią promieniowania czarnych dziur.

2. Fizyka

Lata sześćdziesiąte były czasem fermentu w kosmologii. Po okresie stagnacji i dość jałowych dyskusji (które jednak okazały się przygotowaniem do naukowej rewolucji), Wszechświat przemówił obserwacjami (kwazary, promieniowanie tła), które wkrótce przekształciły kosmologię w pełnoprawną naukę eksperymentalną; również w teorii zaczęły się rodzić nowe, twórcze idee.

Podczas studiów w Cambridge Hawking chciał się specjalizować w kosmologii pod kierunkiem Freda Hoyle’a, który był wówczas u szczytu sławy. Z jakichś względów okazało się to jednak niemożliwe i Hawking trafił do Dennisa Sciama. Był to szczęśliwy zbieg okoliczności. Sciam gromadził wokół siebie prężną grupę, zajmującą się kosmologią. Miał także ciepły stosunek do ludzi i wyjątkowy talent pedagogiczny. To właśnie Sciam nadał właściwy kierunek badaniom Hawkinga.

Właśnie wtedy zdiagnozowano Hawkingowi nieuleczalną chorobę (stwardnienie zanikowe boczne)

1. Wiele szczegółów, dotyczących życia Hawkinga, zaczerpnąłem z pośmiertnego wspomnienia o nim, zatytułowanego Stephen Hawking – An Appreciation, napisanego przez Martina Reesa i rozesłanego do swoich członków przez Papieską Akademię Nauk. Obaj, Hawking i Rees, są jej członkami.

z prognozą przeżycia nie dłużej niż dwa lata. Dzięki swej przyszłej żonie, Jane Wilde, i Dennisowi Sciamie Hawking zdołał przezwyciężyć kryzys i po pewnej przerwie powrócił do pracy naukowej. Sciamia zachęcił Hawkinga do zapoznania się z najnowszymi pracami Rogera Penrose'a, związanego wówczas z Birkbeck College Uniwersytetu Londyńskiego.

Roger Penrose, starszy od Hawkinga o jedenaście lat, zdążył już wówczas wprowadzić do badań nad ogólną teorią względności nowe metody geometryczne (globalna analiza czasoprzestrzeni, diagramy Penrose'a), które wkrótce miały dać potężny impuls badaniom struktury czasoprzestrzeni. Właśnie niedawno, w 1965 roku, Penrose opublikował krótką pracę, w której udowodnił (również przy pomocy oryginalnych i wyrafinowanych metod geometrycznych), że kolaps grawitacyjny, przy pewnych okólnych warunkach, musi zakończyć się osobliwością. Hawking szybko przyswoił sobie tę pracę i, wykorzystując metodę Penrose'a, udowodnił, że również w otwartym modelu kosmologicznym osobliwość (początkowa) jest nieunikniona. Wynik ten został opublikowany w tym samym 1965 roku i wszedł jako ostatnia część do jego rozprawy doktorskiej.

Rozpoczął się płodny okres współpracy Hawkinga i Penrose'a. W 1970 roku razem opublikowali ważne twierdzenie; wówczas było ono najbardziej ogólnym, znanym twierdzeniem o istnieniu osobliwości w astrofizyce i kosmologii.

Niejako podsumowaniem tych badań stała się obszerna monografia, napisana przez Hawkinga razem z Georgem Ellisem (także uczniem Sciamy) pt. *The Large Scale Structure of Space-Time*² – do dziś podstawowy tekst do zaawansowanych metod geometrii czasoprzestrzeni i twierdzeń o osobliwościach.

Po tych pracach naukowe drogi Hawkinga i Penrose'a rozeszły się. Penrose pozostał wierny swojej pasji globalnych metod geometrycznych i zaangażował je w poszukiwanie rozwiązań podstawowych problemów fizyki grawitacji (teoria twistorów); Hawking wolał skoncentrować się na częściowych, semiklasycznych modelach, ale prowadzących do konkretnych wyników z nadzieją względnie szybkiej ich obserwacyjnej weryfikacji.

Następne prace Hawkinga dotyczyły następujących tematów. Najpierw była fizyka czarnych dziur. Hawking zauważył, że horyzont czarnej dziury nie może nigdy maleć, co nasunęło mu analogię z drugą zasadą termodynamiki (entropia nie może nigdy maleć). Współpracownikami Hawkinga byli wówczas Brandon Carter i James Bardeen. W ten sposób została

zapoczątkowana termodynamika czarnych dziur, rozwijana potem także przez Jacoba Bekensteina. W pośmiertnym wspomnieniu, zamieszczonym w *The Guardian*³, Roger Penrose pisze, że „badania Hawkinga w dziedzinie klasycznej ogólnej teorii względności były wówczas najlepszymi na świecie”.

Hawking był pionierem połączenia termodynamiki czarnych dziur z metodami kwantowymi. Doszedł Hawkinga do wniosku, że czarne dziury nie są całkiem czarne, lecz (na zasadzie podobnej do efektu tunelowego w mechanice kwantowej) emitują promieniowanie termiczne (zwane dziś promieniowaniem Hawkinga). Efekt ten jest znaczący tylko dla małych czarnych dziur (mini black holes), których powinno być wiele w młodym wszechświecie. Wprawdzie obserwacyjnie nie udało się dotychczas stwierdzić tego promieniowania, stało się ono prawie-paradygmatem w astrofizyce i kosmologii. (Pewne modele superstrun także przewidują jego istnienie; może dlatego w późniejszych latach Hawking z dużą sympatią odnosił się do tej teorii, mimo uprzedniej zdecydowanej niechęci.)

Hawking dalej szedł tym tropem i rozwijał – we współpracy z Jamesem Hartle'em i Thomasem Hertogiem – semiklasyczne metody kwantowania grawitacji. Idea polegała na tym, żeby metody sprawdzone w fizyce kwantowej (np. całkowanie po drogach Feynmana) tak przystosować, by się je dało stosować do ogólnej teorii względności, także – jeśli trzeba – odpowiednio spreparowanej.

Ta strategia wydała jeden, szczególnie interesujący owoc w postaci modelu, opracowanego razem z Jamesem Hartle'em (w 1983 roku), „kwantowego powstania wszechświata z nicości” (zwanego również „światem bez brzegów”). Model ten doczekał się szeregu modyfikacji i nowych wcieleń, jak również stał się przedmiotem licznych filozoficznych komentarzy (których autorzy nie zawsze rozumieli, o co chodzi).

George Ellis, najbliższy współpracownik Hawkinga z okresu prac nad klasycznymi osobliwościami w kosmologii, w pośmiertnym wspomnieniu, zamieszczonym w *Physics Today*⁴, naukową działalność Hawkinga dzieli na trzy okresy:

➤ do roku 1973: twierdzenia o osobliwościach; monografia *The Large Scale Structure of Space-Time*; zapoczątkowanie termodynamiki czarnych dziur,

2. Cambridge University Press, Cambridge 1973.

3. *Mind and Matter: Stephen Hawking – Obituary by Roger Penrose*, *The Guardian*, 14 March 2008. Jest to obszerne wspomnienie, w którym można znaleźć dość szczegółowy opis osiągnięć naukowych Hawkinga.

4. 14 March 2018, w dziale „People and History”.

► 1973–1979: praca nad integrowaniem kwantowej teorii pola z ogólną teorią względności; promieniowanie czarnych dziur,

► od roku 1980: praca z Hartleem o wszechświecie „bez brzegów”, prace na temat inflacji i teorii superstrun. Zdaniem Ellisa, publikacje z tego okresu były „bardziej spekulatywne i mniej ściśle” oraz wprowadziły „budziły zainteresowanie i stymulowały wiele naukowej aktywności, ale nie zyskały takiego stopnia akceptacji w naukowej wspólnoty jak prace na temat promieniowania Hawkinga”.

Dziesięć dni przed śmiercią Hawkinga w znanym internetowym archiwum (arXiv) ukazała się jego ostatnia praca (wspólna z Thomasem Hertogiem) zatytułowana *A Smooth Exit from Eternal Inflation*⁵. Jest to dość daleki potomek pierwszej pracy z Hartleem⁶. Autorzy proponują nowy mechanizm wyjścia z fazy inflacji, w wyniku którego rodzi się jedynie ograniczona liczba wszechświatów. Autorzy argumentują, że tego rodzaju „wieczna inflacja” produkuje wszechświaty, które są bardziej regularne (jednorodne) na późniejszych etapach ewolucji (a więc pod tym względem podobne do naszego). Ich zdaniem, taki „wieloświat” jest bardziej podatny na falsyfikację.

3. Filozofia

Filozofię uczonego można rozpatrywać dwojako: albo wertując jego prace naukowe (czasem można wiele wyczytać z samego stylu uprawiania nauki), albo analizując jego wypowiedzi na tematy filozoficzne, jeżeli takowe czynił. W przypadku Hawkinga jest ich wiele, zwłaszcza w późniejszym okresie jego życia (po wydaniu *Krótkiej historii czasu*). Stał się on wówczas osobą publiczną i chętnie wypowiadał się na tematy filozoficzne i światopoglądowe.

Wspomniałem już, że styl uprawiania fizyki Hawkinga najłatwiej scharakteryzować, porównując go ze stylem Rogera Penrose’a.⁷ W 1994 roku w Cambridge, w Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences (spadkobiercy dawnego DAMTP) odbyła się publiczna dyskusja między Stephenem Hawkingiem i Rogerem Penrose’em na temat fundamentalnych problemów fizyki grawitacji i kosmologii. Dyskusja miała postać sześciu wykładów, wygłaszanych na przemian przez obydwu uczonych; wszystko zakończone końcową debatą. Hawking w następujący sposób zwięźle scharakteryzował swoje stanowisko:

*Uznaję pozytywistyczny pogląd, że fizyczna teoria jest tylko matematycznym modelem i że nie ma sensu pytać, czy odpowiada rzeczywistości. Jedyne, czego można żądać, to by przewidywania teorii zgadzały się z obserwacjami.*⁸

Znacznie później Roger Penrose wydał opasły tom, którego tytuł dobrze obrazuje jego stanowisko w kwestii wywołanej przez Hawkinga. Tytuł ten brzmi *Droga do rzeczywistości*⁹. Tą drogą jest oczywiście zmatematyzowana fizyka. Zdaniem Hawkinga, fizyka nie dociera do żadnej rzeczywistości; może jedynie budować jej modele i porównywać je z wynikami obserwacji. Zgodnie z tą deklaracją, Hawking w swojej pracy badawczej wolał koncentrować się na semi-klasycznych, lub nawet „zabawkowych”, modelach, po których można było oczekiwać konkretnych przewidywań empirycznych niż tworzyć „wielkie teorie unifikacyjne”. Inna sprawa, czy do końca pozostał wierny temu programowi. Jego późniejsze sympatie do teorii superstrun (której przedtem nie lubił¹⁰) i naukowe wyprawy do koncepcji wielu światów (np. w ostatniej pracy z Hertogiem) świadczą raczej o tym, że nie udało mu się całkiem powstrzymać drzemiącego w każdym teoretyku zaufania do własnych dalekosiężnych intuicji.

W 1988 roku ukazała się popularna książka Hawkinga pt. *Krótką historią czasu*¹¹ i od razu stała się światowym bestsellerem. Gdy wydawcy pierwszego amerykańskiego wydania zorientowali się, że wypuszczono na rynek egzemplarze z błędami (np. jeden rysunek był wydrukowany „do góry nogami”), i chcieli je wycofać z obiegu, ze zdziwieniem stwierdzili, że wszystkie już zostały sprzedane.

Od tego czasu Hawking nie stronił od publicznych występów: wywiadów, audycji telewizyjnych, popularnych wykładów i pisania książek popularnonaukowych. Ważnym tego powodem na pewno była potrzeba funduszy na utrzymanie powiększającej się rodziny i przede wszystkim na sztab lekarzy, pielęgniarek i opiekunów, którzy stawali się coraz bardziej niezbędni, by utrzymać go przy życiu. Ale niewątpliwie Hawking miał też jakąś wewnętrzną potrzebę przekazywania swoich przemyśleń i naukowych dokonań szerokiej publiczności. Nawet więcej, Roger Penrose w swoim wspomnieniu pisze:

5. <https://arxiv.org/abs/1707.07702>.

6. Jak piszą autorzy, „we work in the no-boundary quantum state”.

7. Por.: W. Grygiel, Stephena Hawkinga i Rogera Penrose’a spró o rzeczywistość, CCPress, Kraków 2014.

8. S. W. Hawking, R. Penrose, *Natura czasu i przestrzeni*, Zysk i S-ka, Poznań 1996, s. 10.

9. Prószyński i S-ka, Warszawa 2006.

10. Por. *Natura czasu i przestrzeni*, s. 11.

11. Polski przekład: Alfa, Warszawa 1988.

wydaje się oczywistym, że rola „naukowej sławy nr 1”, jaką mu przypisywano, sprawiała mu ogromną przyjemność; wielkie tłumy uczestniczyły w jego publicznych wykładach nie tylko po to, by zdobywać naukową wiedzę.¹²

I tu dochodzimy do jego filozoficznych deklaracji, składanych przy takich okazjach. Można zauważyć ich pewną radykalizację w miarę upływu lat.

Ostatnie zdania jego fundamentalnej monografii (napisanej z Georgem Ellisem), poświęconej twierdzeniom o istnieniu osobliwości, brzmią:

Na rzecz stworzenia Wszechświata z niczego przytaczano niekonkluzywne argumenty od najdawniejszych czasów; zobacz na przykład Kanta pierwszą Antynomię Czystego Rozumu¹³. Wyniki, jakie otrzymaliśmy, wspierają ideę, że wszechświat miał początek w skończonym czasie. Jednakże sam punkt stworzenia, osobliwość jest poza zasięgiem obecnie znanych praw fizyki.¹⁴

Być może, zdania te pochodzą od Ellisa, który jest człowiekiem religijnym i autorem artykułów i książek o tematyce teologicznej; ale w każdym razie Hawking się pod nimi podpisał. Z czasem jednak, jego wypowiedzi były coraz bardziej sceptyczne, a w ostatnich latach zadeklarował się jako zdecydowany ateista. Ponieważ jednak wywiady nie są najlepszym źródłem, wróćmy do jego tekstów publikowanych.

Swoje filozoficzne poglądy w sposób najbardziej systematyczny Hawking wyłożył w książce, napisanej razem z Leonardem Młodinowem, pt. *The Grand Design. New Answers to the Ultimate Questions of Life*¹⁵. Młodinow jest znany ze swoich radykalnie ateistycznych poglądów i zapewne wiele sformułowań w tej książce pochodzi od niego (zwłaszcza, że książka powstała w okresie już bardzo zaawansowanej choroby Hawkinga), ale – podobnie jak w przypadku Ellisa wiele lat przedtem – myśli zawarte w tej książce musiały być wspólnie uzgadniane.

Postaram się pominąć dziennikarsko-zaczezną warstwę książki i skoncentrować się na filozoficznych poglądach autorów. Mimo, że moja niniejsza wypowiedź jest swojego rodzaju epitafium Stephena

Hawkinga, pozwolę sobie na kilka uwag krytycznych pod jego adresem. Był on bowiem na tyle osobą publiczną, że pozostawienie jego niektórych poglądów bez polemiki byłoby nieuczciwe zarówno wobec jego licznych słuchaczy i czytelników, jak i wobec niego samego. Wypada przy tym nadmienić, że naukowe środowisko Hawkinga nie zawsze aprobowało jego publiczne wypowiedzi. Da się to wyczuć w bardzo wyważonym fragmencie wspomnienia Martina Reesa:

...pewną ujemną stroną jego ikonicznego statusu było to, że jego komentarze przyciągały nadmierną uwagę nawet wtedy, gdy wypowiadał się w dziedzinach, w których nie był szczególnie biegły, na przykład w filozofii.¹⁶

Autorzy Wielkiego Projektu rozpoczynają od przedstawienia swoich poglądów na filozofię fizyki¹⁷; nazywają je „realizmem zależnym od modelu”. Jest to powtórzenie dawnej „pozytywistycznej” tezy Hawkinga: nie ma sensu pytać o prawdziwość fizycznej teorii lub modelu, lecz jedynie o ich zgodność z obserwacjami. Pogląd ten nie jest oczywiście niczym nowym. Jeżeli można tu mówić o jakiejś nowości, to jedynie w tym sensie, że autorzy traktują go nie jako tezę metodologiczną (jak się to zwykle czyni), lecz jako bardzo silne stwierdzenie ontologiczne. I to już nie jest tylko powtórzeniem dawnej „pozytywistycznej” tezy, lecz jej istotnym wzmocnieniem; autorzy twierdzą mianowicie, że rzeczywistość niezależna od modelu i niezależna od nas nie istnieje – to my ją powołujemy do istnienia przez akt obserwacji. Takie poglądy też już głoszone w związku z różnymi interpretacjami mechaniki kwantowej i jeszcze wcześniej: żeby wspomnieć choćby Berkeleygo i jego idealizm epistemologiczny, ale Hawking i Młodinow umieszczają je w kontekście współczesnej kosmologii: badając obecnie wszechświat, wykonując wielką liczbę jego obserwacji, sprawiamy, że 13,7 miliardów lat temu wszechświat zaistniał i, spośród wielu możliwych, wybrał taką historię, którą dziś badamy.

Jest to – trzeba przyznać – wizja fascynująca, ale wypadało powiedzieć, że opiera się ona na jednej z wielu możliwych interpretacji fizyki kwantowej i na wielu innych dowolnych założeniach. I że istnieją w stosunku do niej wizje konkurencyjne (np. koncepcja Penrose’a cyklicznego wszechświata).

Swoją wizję Hawking wzmocnia (można domniemywać, że to jego wkład, a nie Młodinowa) odwołaniem się do swojego modelu z Hartleem z 1983 roku.

12. The Guardian.

13. W antynomii tej, jak wiadomo, Kant przytaczał argumenty za i przeciw początkowi świata, uważając, że obydwa są jednakowo (nie)konkluzywne.

14. *The Large Scale Structure of Space-Time*, s. 364.

15. Bantam Press, London–Toronto–Sidney, 2010. Polski przekład: *Wielki Projekt*, Albatros, Szczecin 2011.

16. *Stephen Hawking – An Appreciation*.

17. Poniższe uwagi na temat tej książki są skrótem mojej jej recenzji zamieszczonej w *Postępkach Fizyki* 62 (2), 2011, 65–67.

Ale wówczas model ten Hawking traktował jako model czysto roboczy, teraz jako uniwersalny schemat kosmologiczny i to ubrany w silną interpretację ontologiczną. Zgodnie z mechaniką kwantową, przeszłość i przyszłość nie są dokładnie określone, istnieją jedynie „jako spektrum możliwości”. A więc i historia wszechświata jest tylko jedną z możliwych. Co więcej – zdaniem Hawkinga i Młodinowa – nasze obecne obserwacje mogą tę historię zmieniać.

Dość niepostrzeżenie „realizm zależny od modelu” zamienił się w ontologię świata.

Hawking i Młodinow umieszczają model „świata bez brzegów” w środowisku M-teorii (kolejne wcielenie teorii superstrun) z jej niewyobrażalną liczbą (rzędu 10^{500}) istniejących wszechświatów. Nasz wszechświat należy do „małego podzbioru” wszechświatów, w których mogła zawiązać się ewolucja biologiczna. Ale to my stwarzamy ten wszechświat przez to, że poddajemy go badaniu i obserwacji.

Hawking i Młodinow wymieniają trzy pytania, na które dotychczas nikt nie znał zadowalającej odpowiedzi: (1) Dlaczego istnieje raczej coś niż nic? (2) Dlaczego my istniejemy? (3) Dlaczego istnieją te a nie inne prawa fizyki? Ale teraz – ich zdaniem – znamy już odpowiedzi na wszystkie te pytania. Mieści się ona w zdaniu: badanie wszechświata stwarza wszechświat, który stworzył nas.

To oczywiście już nie fizyka, lecz najczystszej wody metafizyka.

Ośmieliłbym się na końcu postawić następującą diagnozę: Hawking bardzo chciał stworzyć „teorię

wszystkiego” (ostateczną teorię fizyki), ale – mimo licznych sukcesów po drodze – tego nie osiągnął. Więc stworzył filozoficzną wizję, która „wyjaśnia” wszystko.

Wielcy twórcy filozoficznych systemów robili to samo. Tylko dlaczego tych „wszystko wyjaśniających” systemów jest aż tak wiele?

* * *

Stephen Hawking był dla wielu swoistą ikoną. Tłumy chodziły na jego odczyty. Miliony kupowały jego książki. Ciekawe, jaki procent je czytał? Przypuszczam, że niewielki. A więc nie chodziło tylko o to, żeby dowiedzieć się czegoś o kosmosie i innych cywilizacjach. Był jeszcze inny powód, także z pogranicza science-fiction: Ciało prawie martwe, oplecione elektroniką, przykute do inwalidzkiego wózka, porozumiewające się z otoczeniem za pomocą elektronicznego syntetyzatora mowy (dla Anglików było to zawsze powodem rozbawienia, gdy Hawking zaczynał przemawiać z silnym amerykańskim akcentem). Niekiedy wręcz przywoływano porównanie: „mózg uwięziony” – jak świadomość zaklęta w superkomputerze.

I to jest godne podziwu: wola życia i niezwykła aktywność umysłu, który przejął wiele funkcji obumierającego ciała. Niech Stephen Hawking pozostanie dla nas wzorem, jak duch może panować nad materią!

Tarnów, 24 marca 2018 roku.

Profesor Jan Fiutak, nasz „Szef” pionier fizyki teoretycznej na Wybrzeżu

Janusz Czub, Stanisław Kryszewski, Wiesław Miklaszewski, Marek Żukowski

Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki, Uniwersytet Gdański

Profesor Jan Fiutak odszedł na zawsze 25 lutego 2016 r. Nazywaliśmy go „Szefem”, bo dla nas był nim przez długie lata. Historia fizyki teoretycznej na Wybrzeżu zaczyna się od Niego.

Do książki wydanej na 40-lecie Uniwersytetu Gdańskiego Szef napisał swoje wspomnienia dotyczące początków tej uczelni i początków fizyki teore-

tycznej w Gdańsku. Oto kilka ważniejszych elementów tych wspomnień: Prof. Janusz Sokołowski, przyszły rektor–założyciel UG, przyjechał do Torunia w 1966 roku. Szukał fizyków teoretycznych – w regionie gdańskim nie było ani jednego. Szef pojawił się w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Gdańsku w 1967 roku i został kierownikiem Katedry Fizyki Teoretycznej oraz pro-

dziekanem. Jednak jako główne zadanie postawił sobie przygotowanie gmachu i zespołu dla całej przyszłej fizyki. Gdy powstał Uniwersytet Gdański, w ramach Instytutu Fizyki kierował Zakładem Fizyki Teoretycznej i pomagał w tworzeniu Zakładu Astrofizyki, na którego czele stanął Robert Głębocki. Pod koniec lat siedemdziesiątych, gdy oba zakłady już coś znaczyły, nie tylko na UG ale i w Polsce, powstał z nich osobny Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki (IFTiA). Szefer był jego długoletnim dyrektorem.

Wtedy już pracowaliśmy na Uczelni i pamiętamy go jako człowieka wymagającego od nas intensywnej pracy naukowej, która koniecznie musiała być uwieczniona publikacjami w czasopiśmie zagranicznych. Kto temu nie podołał, musiał odejść z Instytutu. Przechowalni w postaci stanowiska starszego wykładowcy nie było. Dzięki tej polityce – publikuj lub giń – przetrwali tylko najwytrwalsi. To było ziarno, z którego wyrosła obecna pozycja IFTiA i późniejszego ściśle organizacyjnie z nim związanego Krajowego Centrum Kwantowej Informacji, o których można bez przesady powiedzieć, że tworzą istotny na mapie świata ośrodek badań nad informacją kwantową. IFTiA ma też istotne osiągnięcia w innych obszarach fizyki, np. fizyce matematycznej i optyce kwantowej. Dzięki Jego osobowości Instytut był oazą bezkonfliktowości, nie pamiętamy wewnętrznych scysji i konfliktów interesów. Staraliśmy się ten klimat utrzymać. Ta atmosfera naukowej rzetelności, wysokich, ale opartych na wzajemnej życzliwości, wymagań jest zapewne jednym z najcenniejszych, choć niewymiernych osiągnięć naszego Szefera.

Profesor Fiutak opuścił Instytut przenosząc się do Pomorskiej Akademii Pedagogicznej (PAP) w Słupsku. Jednakże nie tracił z nami kontaktu – ani podczas pobytu w Słupsku, ani w późniejszym czasie na emeryturze spędzanej w Gdyni – nadal powstawały wspólne publikacje. Był osobą niezwykle towarzyską, więc często (nawet niezapowiedziani), odwiedzaliśmy Go w jego ukochanym domku nad jeziorem Kniewo, gdzie spędzał wszystkie miesiące letnie. Zapraszał nas i wraz z żoną przyjmował nas bardzo serdecznie. Był osobą dowcipną, niezwykle zainteresowaną historią świata, literaturą i polityką. Był wspaniałym dyskutantem. Na takich spotkaniach toczyliśmy z nim wielogodzinne spory na tematy fizyczne, historyczne i polityczne. Jedną z Jego pasji była gra w brydża, na którą poświęcił niejedną noc. Był dla nas przyjacielem, wzorem i punktem odniesienia.

Tyle od nas. Bardzo trudno jest streścić nasze wspomnienia, a wiele anegdot ma już inny smak. Poniżej w skrócie przedstawiamy Jego dokonania jako Twórcy naszego Instytutu, naszego Nauczyciela i światowego teoretyka.

Jan Fiutak urodził się 28 marca 1933 roku w Działdowie. Jego ojciec był żołnierzem straży granicznej. Po wybuchu wojny w 1939 roku Jego matce udało się przedostać wraz z nim z okolic Chojnic do Inowrocławia, skąd pochodziła cała Jego rodzina. Nie uczęszczał do szkoły podstawowej, bo szkół dla Polaków nie było. Uczył się na tajnych kompletach, na tyle dobrze, że w 1945 roku został przyjęty do Gimnazjum i Liceum im. Jana Kasprówicza w Inowrocławiu na podstawie egzaminu kwalifikacyjnego. Po ukończeniu liceum w roku 1950 rozpoczął trzyletnie studia na kierunku fizyka na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. W latach 1953–55 roku odbył dwuletnie studia magisterskie w zakresie fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Warszawskim. Tytuł magistra fizyki (w zakresie fizyki teoretycznej) uzyskał w 1955 roku.

Po rocznej pracy na stanowisku asystenta w Zakładzie Fizyki Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie, przeniósł się do Torunia, gdzie pracował w Katedrze Fizyki Teoretycznej UMK. Jego praca doktorska oparta na spostrzeżeniu, że równania Diraca, stosowane do tej pory opisu do cząstek o spinie połówkowym, mają też zastosowanie do opisu cząstek o spinie jednostkowym, a także do opisu pola elektromagnetycznego, powstała pod kierunkiem wybitnego teoretyka profesora Jerzego Rayskiego. Na podstawie tej pracy uzyskał stopień doktora w 1960 roku.

Po doktoracie wyjechał na Uniwersytet w Toronto na roczny staż naukowy, gdzie pracował w zespole wybitnego znawcy teoretycznych aspektów optyki i spektroskopii profesora Jana Van Kranendonka, który zaproponował stażyście z Polski teoretyczne opracowanie opisu procesów i linii ramanowskich oraz ich poszerzania ciśnieniowego. W ten sposób powstały dwie prace Fiutaka i Van Kranendonka, opublikowane w *Canadian Journal of Physics* w roku 1962 i 1963 [1]. Autorzy rozszerzyli w niej uderzeniową teorię poszerzania zderzeniowego widm absorpcyjnych i emisyjnych Andersona na widma Ramana. Używając przybliżenia dróg klasycznych wyprowadzili wyrażenia opisujące kształt linii i optyczne przekroje czynne. Krótko mówiąc teoria uderzeniowa została zastosowana do opisu procesów radiacyjnych drugiego rzędu. Prace te, wielokrotnie cytowane, były punktem wyjścia do zbudowania teorii redystrybucji promieniowania (Cooper i inni).

Kolejnym ważnym osiągnięciem z tego okresu była praca Fiutaka dotycząca precyzyjnego wyprowadzenia pełnego opisu oddziaływania pola elektromagnetycznego z atomem, który używa do opisu atomu jego momentów multipolowych, a pole elektromagnetyczne jest opisywane bezpośrednio, czyli bez użycia potencjałów. Zauważył, że można wprowadzić precyzyjnie

określoną transformację unitarną przekształcającą tradycyjny opis, używający tzw. hamiltonianu minimalnego sprzężenia, w formę multipolową. Było to możliwe dzięki zapisaniu pełnej polaryzacji atomu jako całki po abstrakcyjnych liniach łączących jądro z elektronami. Także ta praca była cytowana ponad sto razy i również została opublikowana w *Canadian Journal of Physics* [2].

Po powrocie do Torunia kontynuował pracę w zakresie ciśnieniowego rozszerzania linii widmowych. Habilitował się w 1967 roku, na podstawie rozprawy habilitacyjnej pt. *Metoda rezolwenty w teorii ciśnieniowego rozszerzania linii widmowych*, przed Radą Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UMK.

Jak wspomnieliśmy, w tym czasie organizatorzy Uniwersytetu Gdańskiego poszukiwali kadry dla przyszłego Instytutu Fizyki. W wyniku ich starań Jan Fiutak podjął pracę w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Gdańsku na stanowisku docenta i kierownika Katedry Fizyki Teoretycznej. Pełnił także funkcję kierownika Zespołu Katedr Fizyki, prodziekana oraz organizatora kierunku fizyka dla przyszłego Uniwersytetu Gdańskiego. Po utworzeniu tego uniwersytetu w 1970 r. został pierwszym dyrektorem Instytutu Fizyki. W latach 1978–1981 profesor Fiutak był dziekanem Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Gdańskiego.

Największym Jego osiągnięciem organizacyjnym było zbudowanie od podstaw ośrodka fizyki teoretycznej w Gdańsku. Był dyrektorem Instytutu Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki od chwili utworzenia, w roku 1981, tego Instytutu aż do roku 1993.

Prof. Fiutak kontynuował w latach 60., 70. i 80. badania teoretyczne dotyczące poszerzenia ciśnieniowego linii widmowych. W wyniku współpracy z Eugeniuszem Czuchajem, Elżbietą Bielicz, Ryszardem Horodeckim, Zbigniewem Engelsem, Ewą Paul i Januszem Czubem powstało kilkanaście prac dotyczących różnych aspektów i zastosowań teorii poszerzenia ciśnieniowego. W pracy [3], opublikowanej w *Journal of Physics B* w 1980 roku, Jan Fiutak i Jan Van Kranendonk opracowali teorię pozwalającą na opis relaksacji atomowej i promienistej atomu wzbudzonego przez silną wiązkę laserową i zaburzanego przez atomy gazu szlachetnego. W latach 80. i 90. Jan Fiutak wraz z Januszem Czubem, Wiesławem Miklaszewskim, Stanisławem Kryszewskim, Sylwią Zielińską, Jerzym Filończukiem i A.M. Alhasanem stosował metodologię wprowadzoną w tej pracy do opisu zjawisk towarzyszących oddziaływaniu silnych pól laserowych z układami atomowymi. Badano kwantowy efekt interferencyjny

w parach metali alkalicznych, widmo fizyczne (zależne od czasu), efekt dryfu optycznego i propagację impulsów świetlnych. Jan Fiutak również interesował się teorią lasera, co zaowocowało pracami napisanymi ze Zbigniewem Engelsem i Jackiem Mizer-skim. Warte uwagi są również prace o charakterze biofizycznym, które powstały w wyniku współpracy z Elżbietą Bielicz i J. Terleckim. Opis multipolowy rozwijał współpracując ze Zbigniewem Engelsem i Markiem Żukowskim.

Profesor Fiutak po 1970 roku własne badania łączył z kształceniem młodej kadry. Był promotorem jedenastu doktoratów, siedmiu Jego doktorantów uzyskało stopień doktora habilitowanego, z tego trzech tytuł profesora. Potwierdzeniem uznania dla działalności naukowej i osiągnięć w kształceniu kadr było przyznanie mu tytułu profesora nadzwyczajnego w 1975 r. oraz profesora zwyczajnego w 1985 r.

Ważnym wkładem Profesora w rozwój optyki kwantowej i spektroskopii w Polsce było współorganizowanie ośmiu międzynarodowych szkół *Quantum Optics and Spectroscopy* w latach 1975–1990. Szkoły te naprzemiennie organizował Uniwersytet Gdański (prof. Józef Heldt) oraz UMK (prof. Stanisław Łęgowski).

Od 1996 roku Profesor Fiutak zatrudniony był w Instytucie Fizyki PAP (dawniej WSP) w Słupsku, którego był dyrektorem w latach 1999–2002. W tym czasie zorganizował pracę naukową i dydaktyczną w Zakładzie Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki, którego był kierownikiem.

Jego dorobek naukowy to ponad czterdzieści oryginalnych prac opublikowanych w specjalistycznych czasopismach międzynarodowych. Uczestniczył czynnie w wielu konferencjach międzynarodowych, na których prezentował swe wyniki w formie wykładów, komunikatów i posterów.

Za swe osiągnięcie naukowe, organizacyjne i dydaktyczne wyróżniony został wieloma nagrodami i odznaczeniami, w tym Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski i Medalem Komisji Edukacji Narodowej.

Literatura

- [1] J. Fiutak, J. Van Kranendonk, *Impact Theory of Raman Line Broadening*, *Can. J. Phys.* 40, 1085 (1962); *Theory of Impact Broadening of Raman Lines Due to Anisotropic Intermolecular Forces*, *ibidem*, 41, 21 (1963).
- [2] J. Fiutak, *Multipole Expansion in Quantum Theory*, *Can. J. Phys.* 41, 12 (1963).
- [3] J. Fiutak, J. Van Kranendonk, *The Effects of Collisions on Resonance Fluorescence and Rayleigh-scattering at High Intensities*, *J. Phys. B*, 13, 2869 (1980).

Nowoczesny, przejrzyste napisany, kompletny podręcznik podstaw fizyki, który powstał na podstawie legendarnej już książki Resnicka i Hallidaya. Przedstawia aktualny stan wiedzy, zarówno w rozdziałach związanych z fizyką współczesną, jak i w tych dotyczących fizyki klasycznej. Prezentowany materiał jest bogato ilustrowany i poparty wieloma przykładami, a aparat matematyczny ograniczony do niezbędnego minimum. Uzupełnieniem książki są wykazy niektórych danych astronomicznych, współczynników zamiany jednostek, wzorów matematycznych, właściwości pierwiastków, wybranych stałych i właściwości fizycznych, a także układ okresowy pierwiastków oraz skorowidz pojęć.

Kultowy podręcznik NOWE WYDANIE!

HALLIDAY RESNICK · WALKER

PODSTAWY FIZYKI

tom
1-5

Drugie wydanie polskie opiera się na najnowszym, już dziesiątym, wydaniu amerykańskim.

Najważniejsze zmiany:

- podzielona na nowo treść książki, niektóre rozdziały napisano na nowo
- dodana lista celów nauczania oraz informacja o podstawowych faktach, które należy przyswoić
- 16 nowych przykładów oraz 250 nowych zadań i 50 pytań
- w Internecie na stronie książki dostępne pomoce dydaktyczne (np. animacje, wskazówki do zadań)

• Podstawowy podręcznik dla studentów i uczniów

• Nieoceniona pomoc dla wykładowców i nauczycieli

