

POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK
POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY FIZYCZNEJ

PTF

TOM XIV

ZESZYT 6

1963

RADA REDAKCYJNA

Przewodniczący — Szczepan Szczeniowski (Warszawa)
Członkowie — Władysław Kapuściński (Warszawa),
Karol Majewski (Warszawa), Ludwik Natanson
(Warszawa), Henryk Niewodniczański, czł. rzecz.
PAN (Kraków), Wojciech Rubinowicz, czł. rzecz. PAN
(Warszawa), Leonard Sosnowski, czł. koresp. PAN
(Warszawa), Jan Weysenhoff, czł. koresp. PAN (Kraków)

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny — Jan Weysenhoff, czł. koresp. PAN (Kraków)
Członkowie Redakcji — Antoni Bajorek (Kraków), Lubomir Gąbła (Kraków),
Andrzej Kisiel (Kraków)

Adres Redakcji, Kraków, Gołębia 13
tel. 267-45

Maszynopisy prac należy nadsyłać w 2 egzemplarzach pod adresem Redakcji. O przyjęciu do druku decyduje Komitet Redakcyjny.

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY FIZYCZNEJ

TOM XIV, ZESZYT 6

KATEDRA FIZYKI DOŚWIADZALNEJ
Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej
BIBLIOTEKA
Lublin, ul. Nowotki Nr 8

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

1963

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE
Oddział Kraków, ul. Smoleńsk 14

Nakład 1784 + 136 egz.	Rękopis dostarczono 26. VIII. 1963
Ark. wyd. 7,5, ark. druk. 6 $\frac{1}{2}$	Podpisano do druku 11. XII. 1963
Papier druk. sat. 80 g, kl. III, 70×100	Druk ukończono w grudniu 1963
Zamówienie 434/63	Cena zł 15.— F-11

DRUKARNIA UNIwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, Czapskich 4

Patrząc na działalność Stefana Pieńkowskiego z perspektywy dziesięciolecia, jakie upłynęło od Jego śmierci, lepiej możemy sobie uświadomić wagę Jego zasług jako twórcy i kierownika pierwszej w Polsce wielkiej szkoły fizyków. Jego uczniowie (a ostatnio już i uczniowie Jego uczniów) odgrywają niemałą rolę w rozwoju naszej fizyki.

Osiągnięcia uzyskane obecnie w wielu gałęziach fizyki doświadczalnej są w dużej mierze plonem z gleby przez Niego uprawionej i zasianej.

Sądzimy więc, że jest rzeczą słuszną i godną, aby pamięci Stefana Pieńkowskiego dedykowany był zawarty w niniejszym zeszycie zbiór artykułów, których autorami są Jego uczniowie.

Wydając ten zeszyt Redakcja pragnie również uczcić pamięć Stefana Pieńkowskiego jako Założyciela i pierwszego Naczelnego Redaktora „Postępów Fizyki“.



Władysław Kapuściński

Katedra Fizyki Lekarskiej
Akademii Medycznej
Warszawa

Stefan Pieńkowski

28. VII. 1883 — 20. XI. 1953

Dwudziestego listopada bieżącego roku minęło dziesięć lat od dnia zgonu Profesora Stefana Pieńkowskiego. Fizycy polscy — i nie tylko fizycy — starszej i średniej generacji zachowują żywą i wdzięczną pamięć o nim jako o znakomitym badaczu, niestrudzonym nauczycielu i organizatorze nauki, o szlachetnym człowieku — o jego zasługach dla rozwoju fizyki polskiej. Inaczej może sprawa się przedstawiać w przypadku młodszego i najmłodszego pokolenia fizyków. Burzliwy rozwój nauki, szybkie tempo życia i wydarzeń mogą powodować to, że postać Profesora zdaje się równie szybko odsuwać w przeszłość, pokrywać cieniem zapomnienia — i, być może, staje się jakby *legendarną*, jak postacie na przykład Witkowskiego, Smoluchowskiego lub Marii Skłodowskiej-Curie. Ci młodzi i najmłodsi fizycy nasi (tak znacznie już przeważający liczebnie w porównaniu ze starszą generacją) wiedzą oczywiście o tym, że Profesor był twórcą Instytutu Fizyki w Warszawie, w którym wielu z nich zdobywa wiedzę i prowadzi własne badania. Słyszeli może o *szkole Pieńkowskiego*, nieraz zapewne korzystają z podręcznika opracowanego po wojnie na podstawie jego wykładów. Nie mieli oni jednak, rzecz jasna, wielu sposobności do bliższego zapoznania się z jego wybitną osobowością, z jego życiem wypełnionym służbą nauce oraz z wynikami tej pracy. Temat ten powinien by zresztą być przedmiotem jego monografii, zawierającej obok obszernego życiorysu szczegółową charakterystykę działalności Profesora na polu naukowym, pedagogicznym, organizacyjnym i społecznym. Artykuł niniejszy ma cel bez porównania skromniejszy: przypomnienie w dziesiątą rocznicę zgonu Profesora tych aspektów jego pracy, które najwięcej zaważyły na rozwoju fizyki polskiej w dwudziestoleciu międzywojennym i w pierwszych latach po II wojnie.

Na wstępie jednak trzeba przynajmniej pokrótce wspomnieć o tym, jakie były drogi kształtowania się umysłu i charakteru przyszłego profesora w mło-

dości, w czasie studiów i późniejszej samodzielnej pracy w nielatwych warunkach wieloletniego pobytu na obczyźnie.

* * *

Urodzony w 1883 r. w Łęczycy, w niezamożnej rodzinie, młody Stefan Pieńkowski po ukończeniu gimnazjum i po paroletniej przerwie wypełnionej pracą zarobkową wyjeżdża na studia wyższe do Leodium, nie chcąc kształcić się w „imperatorskim“ uniwersytecie warszawskim lub w takiejże politechnice. Studia w Belgii rozpoczął na wydziale inżynierii, jednakże po dwóch latach (w ciągu których złożył przepisane egzaminy ze szczególnym odznaczeniem), pociągnięty wzrastającym z biegiem czasu zamiłowaniem do fizyki, przeniósł się na wydział nauk matematyczno-fizycznych. Wkrótce też (w 1911 r.) uzyskał tytuł doktora, również z najwyższym odznaczeniem. Po doktoracie pracował przez kilka miesięcy w Heidelbergu pod kierunkiem Lenarda.

Jako asystent (od 1911 r.) profesora fizyki uniwersytetu w Liège, de Heena, prowadził z własnej inicjatywy pozakursowe wykłady i seminaria: de Heen poznał się widocznie na talentach swego młodego współpracownika i zostawił mu zupełną swobodę w zorganizowaniu tych zajęć. Uczęszczała na nie gromadka bardziej zaawansowanych studentów i młodych pracowników naukowych, pociągniętych zarówno ciekawą treścią (dotyczącą zazwyczaj najbardziej wówczas aktualnych problemów fizyki), jak również żywym, przykuwającym uwagę słuchaczy sposobem wykładu, ilustrowanego często doświadczeniami. Ten duch „nowoczesności“, który przejawiał się w zajęciach prowadzonych przez Pieńkowskiego, odbijał wyraźnie od szacownej wprawdzie, ale nieco zrutynizowanej formy i treści innych wykładów.

Już w tych wczesnych latach kariery naukowej Stefana Pieńkowskiego uwydatniły się jasno te dodatnie rysy jego umysłu i charakteru, które miały go cechować do ostatnich chwil życia. Było to przede wszystkim zupełne oddanie się nauce, postawienie jej na najwyższym stopniu w hierarchii wartości życiowych, całkowicie przy tym pozbawione śladu jakiegokolwiek afektacji lub pozy: naturalne i niezachwiane. Była dalej niezwykła wytrwałość w pracy, czy to w laboratorium, czy nad lekturą, systematyczne studiowanie ulubionych klasyków, ale i bieżącej literatury, co pozwalało mu na osiągnięcie rozległych horyzontów naukowych. Interesowały go wówczas specjalnie spektroskopia, luminescencja, a także promienie X, w której to dziedzinie dokonane w tym czasie odkrycie Lauego ujawniło nieoczekiwane możliwości. Jak wiadomo, tematom tym Stefan Pieńkowski pozostał wierny i nadal, w swej pracy w Warszawie¹.

Już wtedy wykazał Stefan Pieńkowski cechujący go później stale niezwykły dar tworzenia kolektywów, ich zespalandia i kierowania nimi: z jego inicjatywy powstaje ściśle kółko młodych naukowców różnych specjalności, związanych poza wspólnymi zainteresowaniami również węzłami prawdziwej

¹ Inne publikacje z lat 1910—14 dotyczą głównie badania sił występujących w polu elektrostatycznym

przyjaźni. Przetrwala ona do śmierci Profesora: najbardziej może wzruszające słowa wspomnień, jakie zostały wypowiedziane po jego zgonie, pochodzą właśnie od tych starych przyjaciół belgijskich. Ale wówczas, czterdzieści lat przedtem, nikt z tych młodych nie myślał zapewne o tak odległej przyszłości. Ten Polak jest wśród nich, koleżeński, życzliwy, pełen dobrego humoru — na pozór taki jak oni. A jednak zdają sobie oni sprawę, że jest on ich naturalnym i niekwestionowanym przywódcą. Wykłada im, uczy ich eksperymentować, wykonywać pomiary fizyczne, rozdaje referaty seminaryjne (część wyszła potem drukiem), udziela wskazówek, i to nie tylko dotyczących jakichś szczegółów, ale nieraz odnoszących się do spraw, które zadecydowały o wyborze całej przyszłej drogi naukowej młodszego kolegi. Mamy tu dobry przykład tego, co może zdziałać rozumne przewodnictwo człowieka, który pociąga innych swym przykładem, swym entuzjazmem — choć przecież nie błyszczy jeszcze najwyższymi tytułami naukowymi, nie ma doświadczenia starego profesora!

Jest rzeczą charakterystyczną dla energii i pasji działania, ożywiających wówczas Stefana Pieńkowskiego, że poza tymi wszystkimi zajęciami, o których była mowa, potrafił zorganizować i prowadzić kółko naukowe, grupujące studentów Polaków. Członkowie koła wygłaszali referaty na tematy wybrane przez Pieńkowskiego z różnych dziedzin fizyki i matematyki. Charakterystyczna jest też nazwa kółka nadana mu przez inicjatora: *Nauka i Praca...*

* * *

Lata wojny i okupacji niemieckiej 1914—18 przeżyli Pieńkowscy² w Liège Wobec zamknięcia uniwersytetu trzeba było zarabiać na życie lekcjami matematyki i wykładami fizyki w szkole średniej. Po zakończeniu wojny stanął Pieńkowski przed koniecznością dokonania wyboru: ofiarowano mu właśnie katedrę fizyki w Wyższej Szkole Górniczej w Mons, a jednocześnie rząd polski zaproponował mu objęcie katedry fizyki doświadczalnej w Uniwersytecie Warszawskim. Być może, iż wybór nie byłby łatwy dla człowieka, któremu chodziłoby przede wszystkim o tzw. „urządzenie się“. Bo zważmy, z jednej strony, wprowadzie kraj tu obcy, ale mało dotknięty skutkami wojny, zamożny; kilkunastoletnie zżycie się z tym krajem, z ludźmi, perspektywa spokojnej pracy naukowej w ustabilizowanych warunkach. A z drugiej strony — miły był powrót do ojczyzny nareszcie niepodległej po stuletniej przeszło niewoli; pociągała samodzielna placówka w stołecznym uniwersytecie, pole do rozwinięcia wszystkich swych możliwości na rodzimym terenie. Ale kraj toczył ciężką wojnę na granicach wschodnich, inne granice w dużym stopniu były nieustalone, za nimi — zaciepła wrogość lub co najmniej niechęć, wyniszczenie wojną i okupacją, początki inflacji; stosunki polityczne i społeczne w stanie bliskim wrzenia, stosunki międzyludzkie — wielką niewiadomą...

² Stefan Pieńkowski poślubił na krótko przed wojną siostrę swego kolegi i dobrego przyjaciela, Polaka, studenta wydziału nauk technicznych, która przyjechała do Liège w odwiedziny do brata

Jednak Profesor nie był człowiekiem, którego decyzja mogłaby nastroczać wątpliwości — w grę mógł wchodzić tylko powrót. Oczekujące w kraju trudności i kłopoty były raczej bodźcem pobudzającym energię Profesora. *Trudności są po to, aby je przełamywać* — było jedną z jego maksym, stosowanych wciąż w praktyce. Profesorostwo wracali do kraju, ale w Warszawie trzeba było zaczynać prawie od zera.

Gmach Zakładu Fizyki „cesarskiego warszawskiego uniwersytetu“ były to nagie niewykończone mury, bez okien, bez instalacji. Wykłady musiał Profesor rozpocząć w wypożyczonej sali Politechniki, przyrządy pokazowe były nieliczne i prymitywne, ćwiczenia dla studentów trzeba było prowadzić w małych pokojkach w jednym z gmachów uniwersytetu, posługując się starymi, nieraz zdezelowanymi przyrządami; zespół asystencki był zbyt szczupły; nawet mieszkania jako tako odpowiedniego Profesor nie mógł początkowo otrzymać. W tych niełatwych warunkach ujawniła się po raz pierwszy w kraju niespożyta energia i żelazna pracowitość Profesora. Dotarł on wszędzie, gdzie było trzeba, przekonał wszystkich, od kogo zależały decyzje i fundusze, o konieczności uruchomienia Zakładu Fizyki. Wkrótce też ruszyły roboty przy wykańczaniu budynku przy ulicy Hożej. Gdy się patrzy na te sprawy z punktu widzenia dzisiejszych warunków prowadzenia wszelkich inwestycji, można się tylko zdumiewać, że już po 15 miesiącach, w końcu stycznia 1921 r., mogła się odbyć inauguracja działalności Zakładu we własnym lokalu. A przecież w ciągu tego czasu przypadał rok 1920, gdy wojna dotarła prawie do przedmieść Warszawy...

W planowaniu przyszłego rozwoju Zakładu Fizyki Profesor Pieńkowski nie ograniczył się do programu minimalnego, stosunkowo najłatwiejszego do urzeczywistnienia, który by pozostawił kierownikowi maksimum sił i czasu dla własnej, spokojnej pracy naukowej — lecz powziął ambitny zamiar uczynienia ze stworzonej przez siebie placówki dużego, nowoczesnego zakładu badawczego, który mógłby pokusić się o zajęcie jednego z czołowych miejsc wśród tego typu instytutów w Europie, i który byłby zarazem miejscem kształcenia kadr fizyków, „wylegarnią talentów“. Idealem Profesora było bowiem harmonijne połączenie pracy badawczej, twórczej z dydaktyką na najwyższym poziomie.

Realizacja tego planu wymagała wielkiego, niekończącego się wysiłku. Trzeba było przede wszystkim krzątać się wokół usuwania dotkliwych braków w wyposażeniu w instalacje, materiały, aparaturę naukową przeznaczoną do pracowni studenckich oraz do pokazów wykładowych. Niezbędne było zorganizowanie warsztatów, głównie mechanicznego i szklarskiego. Szefom tych warsztatów, Brandlowi i Ostasiewiczowi, przysłowiowym „złotym ręką“, Zakład zawdzięczał niewątpliwie bardzo wiele. Pierwsze lata tych starań były okresem coraz bardziej rosnącej inflacji; stabilizacja waluty (1924) nie zmieniła faktu, że wszelkie fundusze, dotacje lub stypendia ówczesne rządy wydzielały z trudem i skąpo³. Trzeba bowiem pamiętać, że zrozumienie zna-

³ Znaczenie później, drogą raczej uboczną, wyszło na jaw, że w całym tym okresie duże sumy poszły na cele zakładowe z własnych oszczędności Profesorostwa Pieńkowskich. Profesor nigdy nie chciał na ten temat mówić.

ezenia nauki i związany z tym stosunek do jej potrzeb materialnych był w owych czasach na ogół zupełnie inny niż obecnie. Nauka — nie tylko zresztą u nas — była uważana za rodzaj luksusu, niekiedy pożytecznego lub zajmującego, ale zwykle odsuwanego na dalszy plan wobec innych, bardziej „życiowych“ potrzeb. Pod tym względem wyjątkowe było stanowisko nauki w Związku Radzieckim, gdzie uznawano jej przewodnią rolę we wszechstronnym rozwoju społeczeństwa — a także w niektórych mniejszych, bogatych krajach (np. Holandia), w których tradycja, jak również względy prestiżowe odgrywały niemalą rolę w popieraniu nauki przez państwo.

Wytrwale zabiegi Profesora przynosiły powoli coraz piękniejsze rezultaty. Polepszało się wyposażenie pracowni naukowych w przyrządy wysokiej klasy, zwłaszcza w zakresie optyki. Były to spektrografy najrozmaitszych typów, o różnych dyspersjach, aż do wielkich przyrządów wieloprzyrmatycznych kwarcowych i szklanych, doskonała siatka wkłęśła Wooda o 180 tysiącach rys (ustawiona w specjalnym termostatowym podziemiu), płytki Lummera, rozmaite polaryzatory, mikrofotometry, lampy rtęciowe (przeważnie wykonywane w Zakładzie, oparte na oryginalnych pomysłach) i in. Dział rentgenowski rozporządzał pierwszorzędną na owe czasy aparaturą do 250 kV; w warsztatach zakładowych były również wykonywane lampy rentgenowskie przystosowane do określonych badań, jak również liczne inne precyzyjne przyrządy. Z ważniejszych instalacji warto wymienić skraplarkę do powietrza, duże baterie akumulatorów, doprowadzenie prądów różnych typów oraz sprężonego powietrza do pracowni naukowych. W latach trzydziestych powstała też instalacja wysokonapięciowa typu Cockcrofta-Waltona na blisko 800 kV, przeznaczona dla zapoczątkowanego wówczas nowego kierunku badań — fizyki jądrowej.

* * *

W miarę rozwoju Zakładu, wzrostu liczby studentów i pracowników naukowych (w 1939 r. było ich około 30) wzrastała również dokuczliwa ciasnota w dotychczasowych pomieszczeniach, obliczonych na znacznie mniejszą liczbę użytkowników. Dzięki usilnym staraniom Profesora udało się uzyskać odpowiednie fundusze na dobudowanie nowego skrzydła Zakładu. Jednocześnie, dobra opinia, jaką już wówczas cieszył się Zakład za granicą, oraz autorytet jego kierownika sprawiły, że Fundacja Rockefellera przeznaczyła 50 tys. dolarów na zakup nowoczesnych przyrządów wyłącznie do prac badawczych. Wszystkie te czynniki sprawiły, że w drugiej połowie lat trzydziestych Zakład przy ul. Hożej stanął istotnie — tak, jak przed 15 laty planował Profesor Pieńkowski — w rzędzie najlepszych instytutów fizycznych w Europie zarówno pod względem wyposażenia, jak zwłaszcza z punktu widzenia aktywności naukowej. Dawali temu świadectwo liczni goście zagraniczni czy to zwiedzający Zakład, czy pracujący jako doktoranci nad swymi rozprawami doktorskimi. Żywy oddźwięk dawnych swych wrażeń na ten temat zawarł we wspomnieniu pośmiertnym o Profesorze Pieńkowskim Pol Swings, profesor astro-

fizyki w Liège, który swą pracę doktorską wykonał w naszym Zakładzie w latach 1929—31.

Badania prowadzone w Zakładzie koncentrowały się przede wszystkim wokół zagadnień optyki atomowej i molekularnej. Inne artykuły w niniejszym zeszycie, pisane przez uczniów Profesora, omawiają obecną problematykę swoich zakładów i związek tych badań z problematyką zapoczątkowaną przez Profesora. Tu wystarczy przypomnieć, że dotyczyły one fotoluminescencji ciekłych i stałych roztworów barwników (m. in. zbudowano w Zakładzie w latach trzydziestych najlepszy wówczas na świecie fluorometr), badano luminescencję par metali, świecenia opóźnione w parze rtęci i w powietrzu, zjawisko Ramana, strukturę linii widmowych przy zastosowaniu dużej dyspersji i in. Należy przyznać, że wybór tej tematyki, interesującej Profesora Pieńkowskiego — jak widzieliśmy — już od czasów belgijskich, był szczęśliwy; w owych czasach była to dziedzina żywa i szybko się rozwijająca, w której mnóstwo jeszcze było do zrobienia. Sam Profesor pracował w tej dziedzinie głównie nad różnymi zjawiskami w świeceniu opóźnionym pary rtęci, nad fluorescencją niektórych barwników, polaryzacją linii w zjawisku Ramana itd.

Inny kierunek prac Zakładu stanowiły, skrótowo mówiąc, badania rentgenowskie. Chodziło tu m. in. o strukturę mikrokryształiczną różnych utworów roślinnych: drewna, koleców, żywie, sęków; badano strukturę fotograficznego obrazu utajonego, strukturę subtelną granic pochłaniania itd. Rentgenowskie badania strukturalne były zawsze bardzo bliskie sercu Profesora (por. np. drugi tom *Skryptu z fizyki doświadczalnej!*), toteż poświęcał im wiele czasu i trudu.

Tematy prac zakładowych nie ograniczały się bynajmniej do omówionych przed chwilą dwóch działów. Badano stałe dielektryczne zawieszin, rozpylanie katodowe stopów, braggowskie odbicie elektronów od kryształu i inne drobniejsze zagadnienia. Wobec ilościowej i jakościowej przewagi tematyki optycznej i rentgenowskiej te bardziej odosobnione prace były interesującym uzupełnieniem, pożytecznym dlatego, że rozszerzały horyzonty zespołu, przeciwdziałając zbyt niemu zacieśnianiu się w jednej czy dwóch „kapliczkach“.

W latach trzydziestych zarysowuje się nowy kierunek badań Zakładu, mianowicie fizyka jądrowa. Profesor Pieńkowski zdawał sobie dobrze sprawę z tego, że jest to fizyka przyszłości. Po powrocie dwóch pracowników Zakładu z pobytu w Stanach Zjednoczonych i w Anglii, wykonano w Zakładzie duże i kosztowne prace adaptacyjne, tworząc odpowiednie laboratoria do tych badań. Pierwsze wyniki uzyskano niedługo przed wojną. Nie ulega wątpliwości, że gdyby nie wojna, ten trzeci kierunek prac zakładowych wysunąłby się na czołowe miejsce.

W Zakładzie prowadzono również różnorodne ekspertyzy i inne badania dla instytucji państwowych i dla przemysłu. Sam Profesor brał udział w latach 1935—37 w dokładnych pomiarach zdolności rozpraszającej ekranów używanych w fotometrii. Prace te były wykonywane zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej.

Suchy wykaz prac wykonanych w Zakładzie, tytuły publikacji (do r. 1939 było ich około 250) — nie dają jeszcze pełnego wyobrażenia o wewnętrznym życiu Zakładu. Mówi się często, że przed I wojną byli wybitni fizycy polscy⁴, ale nie było fizyki polskiej. Prace poszczególnych uczonych były jakby izolowane od siebie, jak gdyby zawieszane w pustce. Mogło się to zmienić — i zmieniło się — dopiero po odzyskaniu niepodległości i gdy znalazł się człowiek, który umiał ześrodkować aspiracje i zdolności wielu młodych, pełnych zapału pracowników ku wyraźnie nakreślonym celom, który potrafił pokierować ich rozwojem naukowym — który zdołał, jednym słowem, dokonać tego, co nie powiodło się najwybitniejszym jego poprzednikom: stworzyć szkołę.

Pojęcie „szkoły“ w nauce można, jak się zdaje, rozumieć co najmniej dwójako. W znaczeniu węższym jest to po prostu zespół ludzi pracujących w jakiejś wyodrębnionej dziedzinie danej nauki, kierowanych przez „mistrza“ o wielkim autorytecie; wskazuje on tematykę badań, ma głos decydujący w interpretacji wyników itd. Jeśli o „szkole“ mówi ktoś stojący na zewnątrz niej, to najczęściej ma na myśli właśnie to ujęcie węższe.

W znaczeniu szerszym jest to zespół związany nie tyle tematyką i miejscem pracy, ale w przeważającej mierze tym, co się w przerośni nazywa „atmosferą“ środowiska. Na „atmosferę“ składa się przede wszystkim wpływ wychowawczy mistrza, ideały, które stawia on przed swymi uczniami i współpracownikami, i — co najważniejsze — przykład, który im daje własnym życiem i pracą. Powstaje wówczas pomiędzy członkami zespołu szczególna więź, wynikająca z podobnych poglądów na wartość nauki w skali innych wartości życiowych, na rolę obowiązku i wytrwałej pracy w badaniach, na „uczciwość“ w stosunku do zjawisk i ich interpretacji. Zjawia się poczucie pewnej wspólnoty w zespole, rodzaj *esprit de corps* w najlepszym znaczeniu słowa — i to nawet wtedy, gdy prywatne stosunki wcale nie są najlepsze... Opracowywane tematy mogą być bardzo różnorodne, ludzie „wychowywani“ mogli byli dawno przekroczyć wiek, w którym bywa się wychowywanym — a jednak po przyjęciu za swoje ideałów i dążeń „szkoły“ stają się jej członkami.

Taka była właśnie *Szkola Pieńkowskiego*. Na zewnątrz — to: luminescencja plus bogaty zakład. Od wewnątrz — to owa wspólnota, o której była mowa przed chwilą. Nasz Mistrz uczył nas bowiem i wychowywał od pierwszych godzin spędzonych w Zakładzie. W wykładach, w dyskusjach seminaryjnych, w rozmowach w czasie wykonywania prac badawczych wpajał swym uczniom cześć dla prawdy naukowej, walor żywego, konkretnego zjawiska przyrody, niechęć do werbalizmu, ostrożność i krytycyzm w interpretowaniu zjawisk. Żądał obowiązkowości, wytrwałej, systematycznej pracy, niezrażania się trudnościami. Sam był w tym wszystkim nieustającym przykładem. Niespożyta energia, dla której zdawało się nie istnieć coś nieosiągalnego, niezmordowana pracowitość, ogromny talent organizacyjny, dar koordynowania prac innych, dar jednania sobie ludzi — wszystko to tworzyło całość, którą podziwialiśmy, ale której dorównać nie było w naszych siłach.

⁴ Za granicą uważani zresztą przeważnie za „Austriaków“ lub „Rosjan“

Ale Profesor Pieńkowski był nie tylko naszym „wychowawcą“ i wymagającym nieraz kierownikiem, ale także nauczycielem i opiekunem. W długich dyskusjach omawiał wyniki prac, cieszył się serdecznie, gdy czyniły one dobre postępy, udzielał doświadczonych rad i wskazówek. Pełzły były czytane i poprawiane teksty prac, referaty na zjazdy! Profesor starał się dla swych uczniów o stypendia, wysyłał na długotrwałe studia zagraniczne, popierał swe „dzieci“, jak je nazywał, na każdym kroku. Do bardzo wielu prac, które wychodziły w świat jedynie pod nazwiskiem uczniów, miałby wszelkie prawo dołączyć swe nazwisko. Nie czynił tego z zasady, pragnąc, aby młodzież miała więcej publikacji, w nagłówku całkiem „samodzielnych“...

W drugiej, trzyletniej kadencji rektorskiej (1933—36) nawet Profesorowi nie wystarczało czasu na wszystko, co chciałby sam wykonać. Część wykładów powierzył jednemu z docentów, inni doświadczeni pracownicy naukowemu opiekowali się gromadką młodych fizyków, wykonujących prace magisterskie. Zawsze był jednak *au courant*, przynajmniej w ogólnych zarysach, tego, co dzieje się w pracy każdego magistranta. Z jakąż satysfakcją powrócił do dawnego trybu zajęć po zakończeniu kadencji, gdy miał już czas na własną pracę eksperymentalną!

Trzeba przyznać, że *Szkoła Pieńkowskiego* dobrze zasłużyła się fizyce polskiej. Wychowankami jej jest kilkunastu profesorów naszych wyższych uczelni, w tej liczbie są uczeni znakomici, szeroko znani w świecie naukowym. Kilkudziesięciu magistrów zasiliło szkolnictwo średnie, wielu znalazło zatrudnienie w uczelniach wyższych lub w laboratoriach przemysłowych, w instytutach badawczych itd. W „Szkołe“ studiowali spektroskopię w swych młodych latach dwaj wybitni chemicy polscy... Za przykładem Warszawy powstawały przed wojną podobne „szkoły“, jakkolwiek oczywiście w znacznie mniejszej skali, również w innych miastach uniwersyteckich: we Lwowie — szkoła Reczyńskiego, w Wilnie — Dziewulskiego i Patkowskiego, w Krakowie — Zakrzewskiego. Ich przedstawiciele trzymali się na zjazdach razem, duch wspólnoty i *esprit de corps* były bardzo wyraźne!

* * *

Wielką zasługą Profesora Pieńkowskiego było również to, że dzięki działalności jego i jego szkoły fizyka polska wyszła z zaścianka na forum europejskie. Prace „szkoły“ z zakresu fotoluminescencji były dobrze znane i cieszyły się uznaniem w kołach specjalistów za granicą. Dowodzą tego chociażby liczne strony w dziełach Pringsheima, Finkelburga i in., zawierające streszczenia i dyskusje prac warszawskich. Inicjatywa Profesora Pieńkowskiego urządzenia w Warszawie pierwszego kongresu międzynarodowego poświęconego fotoluminescencji spotkała się z przychylnym przyjęciem. Zjazd ten odbył się w r. 1936 z pełnym sukcesem. Referaty wygłoszone na nim zajęły cały duży tom *Acta Physica Polonica*. Była to niewątpliwie dobra propaganda

nie tylko fizyki polskiej, ale w ogóle naszego kraju, w świecie, który bardzo często miał o nas całkiem opaczne wyobrażenia!

Innym dowodem uznania, które dla ośrodka warszawskiego istniało za granicą, jest fakt przyjazdu na studia do Zakładu sporej grupy młodych pracowników nauki: z Belgii, Francji, Łotwy, a nawet ze Stanów Zjednoczonych. Spośród nich najbliższe węzły przyjaźni połączyły z Zakładem i z Profesorem P. Swingsa z Liège. W ciągu kilku lat po jego powrocie do Belgii liczne tematy prac doktorskich opierano na koncepcjach uzyskanych podczas pobytu Swingsa w Polsce.

Wyrazem uznania dla Profesora Pieńkowskiego osobiście były doktoraty honorowe uniwersytetów w Heidelbergu, Rydze, a przede wszystkim doktorat Sorbony.

* * *

Wrzesień 1939 r. i okupacja przyniosły Zakładowi Fizyki kompletną ruinę. Już w listopadzie zostały wywiezione wszystkie najcenniejsze przyrządy oraz biblioteka, a znaczną część Zakładu zajęło wojsko. To brutalne zniszczenie ukochanego dzieła całego życia było nad wyraz ciężkim ciosem dla Profesora. Nie załamał się jednak pod nim. Współpracownicy, gromadzący się znów wokół niego, obserwowali go bacznie i z jego zachowania i słów czerpali siły i nadzieje. Niezlomnie przekonany o tym, że wojna musi przynieść ostatecznie klęskę hitlerowskiemu najeźdźcy, starał się przede wszystkim o zabezpieczenie pozostałych resztek przyrządów jako zaczątku przyszłego, po wojnie, wyposażenia Zakładu. Mimo nalegań i gróźb przez cały czas okupacji nie wykonano w Zakładzie ani jednej pracy, która mogłaby przynieść jakąkolwiek korzyść okupantom. Aby uratować formalnie pozory istnienia Zakładu (co chroniło przez pewien czas resztki aparatury, a częściowo też pracowników) wykonywano niektóre pomiary fizyczne dla instytucji miejskich, pozostających wówczas jeszcze pod zarządem polskim (np. pomiary jasności lamp gazowych w zależności od ciśnienia gazu; stopnia czystości wody w różnych punktach sieci wodociągowej i in.). W 1943 r. prace te ustały całkowicie, gdyż cały gmach został zajęty przez Niemców i przebudowany na biura kolei, a resztki przyrządów i mebli zabrane.

Od 1940 r. Profesor Pieńkowski organizuje na najszerszą skalę tajne nauczanie na kompletach uniwersyteckich, będąc zarazem władzą zwierzchnią tej akcji. Stopniowo wciąga do niej wszystkich przebywających w Warszawie swych współpracowników. Posługując się pozostałą jeszcze aparaturą, studenci kompletów przerabiają ćwiczenia dosłownie pod boki Niemców. Przez cały też czas okupacji, niemal do przedednia powstania warszawskiego, odbywały się co tydzień — najczęściej w mieszkaniu Profesora — posiedzenia konwersatorium, na których referowano i dyskutowano prace naukowe, prawie tak, jak w czasach pokoju, tylko w szczupłym gronie i przy zachowaniu znanych środków ostrożności.

Nigdy może stała życzliwość Profesora dla jego uczniów i współpracowników, troska o nich, o ich potrzeby materialne, teraz zaś o ich bezpieczeństwo, nie przejawiały się tak wyraźnie, jak właśnie w tych ciężkich latach niewoli.

* * *

Po powstaniu losy rzuciły Profesora do Zakopanego, skąd przybył do Warszawy w marcu 1945 r. i wraz z garstką współpracowników stanął natychmiast do pracy przy zabezpieczeniu i odbudowie zdewastowanego gmachu, przy gromadzeniu najpotrzebniejszej aparatury i innego wyposażenia. Wiadomo, że w tym czasie był poważnie dyskutowany projekt przeniesienia Uniwersytetu Warszawskiego do jednego z ocalałych miast prowincjonalnych albo nawet „rozparcelowania“ go w osiedlach podwarszawskich! Gorąco opierał się podobnym projektem Profesor Pieńkowski: w jego przekonaniu oznaczałoby to upadek tej uczelni, której tyle trudu i troski w latach ubiegłych poświęcił i której dobro tak bardzo leżało mu na sercu. Niedoparcie przypomina się rok 1919, Profesor znów musi zabiegać, przekonywać władze o słuszności bronionej sprawy, a przedstawia tak ważne argumenty, działa całą swą osobowością, swym autorytetem tak sugestywnie, że walkę wygrywa: Uniwersytet pozostaje w stolicy — w morzu ruin — a jego obrońca jest pierwszym powojennym rektorem i może przygotowywać otwarcie roku akademickiego 1945/46. Inaczej niż w 1919 r. Profesor musi się teraz troszczyć nie tylko o Zakład Fizyki, ale o odbudowę i rozbudowę szybko odradzającego się Uniwersytetu. Warunki pracy są teraz i gorsze i lepsze niż wówczas. Dlaczego gorsze? Wystarczy sobie przypomnieć zabiegi, jakich wymagało zdobycie kilku gwoździ. Dlaczego lepsze? Bo inny jest teraz stosunek władz państwowych do spraw i potrzeb nauki, inne jest zrozumienie jej znaczenia w kulturze i gospodarce narodu. Lepsze — bo przynajmniej w Zakładzie Profesor ma sporą gromadkę dawnych doświadczonych współpracowników, którym może powierzać coraz bardziej odpowiedzialne zadania. Samo zdobywanie pierwszych niezbędnych przyrządów wymagało nieraz całych wypraw do odległych zakątków kraju albo nawet za granicę — wypraw dokonywanych w warunkach niekiedy bardzo trudnych, o głodzie i chłodzie. Było to zadaniem młodszych pracowników, ożywionych tym samym zapałem odbudowy, który stale cechował Profesora. W Zakładzie, stanowiącym właściwie teren prac budowlanych, odbywały się — początkowo w ogromnej ciasnocie — wykłady (jak dawniej wygłaszane ze zwykłą swadą i mimo wszystko ilustrowane pokazami), ćwiczenia, seminaria i konwersatoria. Liczba pracowników naukowych i technicznych wzrosła znacznie w porównaniu ze stanem przedwojennym. Losy wojny rzuciły sporą gromadkę dawnych uczniów Profesora na Zachód: listownie czy też w osobistej rozmowie w czasie podróży za granicę starał się jak najprędzej ściągnąć ich do kraju. Dziś kilku z nich zajmuje katedry na naszych wyższych uczelniach, z chlubą dla siebie i z pożytkiem dla nauki polskiej.

Rozwój powojenny Zakładu postępował szybko naprzód. Obfite dotacje państwowe umożliwiły zakup wielu cennych nowoczesnych przyrządów i in-

stalacji. Również pracownie studenckie, obsługujące teraz znacznie zwiększoną, w porównaniu z przedwojenną, liczbę słuchaczy, zostały lepiej i nowocześniej zaopatrzone niż dawniej. Gdy wreszcie ukończono odbudowę wielkiej sali wykładowej, piękniejszej i lepiej wyposażonej niż przed wojną — można było uznać, że renowacja Zakładu dobiegła w zasadzie końca. Zresztą jednocześnie z odbudową przebiegała rozbudowa Zakładu, gdyż powiększył się on o tzw. „Halę atomową“ przeznaczoną dla nowo utworzonej katedry atomistyki, którą objął dawny uczeń i współpracownik Profesora, prof. A. Sołtan. Powstała również nowa katedra elektroniki i radiologii, kierowana przez prof. L. Sosnowskiego, również wychowanka Zakładu z Hożej. Do dawnych kierunków badań przybyły nowe: badania z zakresu fizyki jądra, promieni kosmicznych i cząstek elementarnych, fizyki ciała stałego. Sam Profesor nie ograniczył się we własnej pracy do luminescencji, ale rozpoczął badania promieniotwórczości różnych minerałów i analogiczne tematy dał kilku młodszym pracownikom naukowym.

Trzy zakłady: dawny Zakład Fizyki Doświadczalnej, i nowe — Zakład Atomistyki oraz Zakład Elektroniki, zostały organicznie połączone w Instytut Fizyki Doświadczalnej UW, którego dyrektorem został Profesor Pieńkowski.

* * *

Pomimo usamodzielnienia się wielu dawnych współpracowników Zakładu i objęcia przez nich kierownictwa autonomicznych lub zupełnie niezależnych placówek naukowych, ogromny autorytet osobisty Profesora, stworzony przykładem i pracą całego życia, a ostatnio nowymi zasługami przy odbudowie ośrodka warszawskiego — nie doznał bynajmniej uszczerbku. Nie tylko wszyscy pracownicy Instytutu Fizyki, ale także dawni uczniowie, zajmujący obecnie stanowiska w innych uczelniach, uznawali w nim nadal swego bądź faktycznego, bądź moralnego zwierzchnika i przywódcę. Jakkolwiek obarczony w latach powojennych wprost ogromną ilością najrozmaitszych zajęć i obowiązków „pozakładowych“ Profesor nie mógł zajmować się tak szczegółowo kierownictwem badań młodszych pracowników naukowych, jak to czynił przed wojną — to jednak wielu zagadnieniom starał się po dawnemu poświęcać możliwie dużo czasu, nie szczędził, jak dawniej, rad i wskazówek, brał udział w konwersatoriach, prowadził wykłady.

Zasługi Profesora Pieńkowskiego dla odbudowy fizyki polskiej po wojnie nie ograniczają się tylko do tego, co zawdzięcza mu fizyka doświadczalna w ośrodku warszawskim. Wywarł on ważki wpływ na rozwój fizyki w innych ośrodkach przez to, że w licznych wystąpieniach głosił w sposób przekonujący wielkość jej roli i jej znaczenie dla kultury i gospodarki narodowej. Wskazywał między innymi na konieczność ściślejszego powiązania badań fizycznych z ich praktycznym zastosowaniem, przede wszystkim w przemyśle, na konieczność bliższego poznania wzajemnego obustronnych potrzeb i możliwości. Poglądom tym dawał wyraz w czasie przygotowań do I Kongresu

Nauki Polskiej oraz na jego forum, a później w Polskiej Akademii Nauk, w której był członkiem prezydium. Wyrażał przekonanie, że wśród instytutów naukowych tworzonych w PAN nie może zabraknąć fizycznego instytutu badawczego, niezależnego od bieżących potrzeb placówek fizycznych w uczelniach wyższych i od często zmiennych warunków ich działalności. Istotnie też Instytut Fizyki PAN został utworzony, Profesor zaś został jego pierwszym dyrektorem. Niestety, były to już ostatnie dni jego życia...

* * *

Profesor Pieńkowski cieszył się na ogół doskonałym zdrowiem. Jeszcze we wrześniu 1953 wydawał się na pozór w pełni sił i ze zwykłym swym optymizmem snuł plany dalszej działalności kierowanych przez siebie placówek. Bliski siedemdziesiątki — miał wygląd człowieka o piętnaście lat młodszego.

Tym większym zaskoczeniem stał się dla otoczenia — a zapewne i dla Profesora — nagły wybuch choroby, z której się już nie podniósł. Objawy były typowe dla ciężkiej choroby popromiennej. Czy był to skutek dawnych długotrwałych naświetlań promieniami X przenikającymi przez ściany lub strop do gabinetu Profesora? Czy może pył ze sproszkowanych minerałów, zawierających pierwiastki promieniotwórcze, dostał się do organizmu przez przewód pokarmowy lub przez drogi oddechowe? Próżno byłoby snuć na ten temat przypuszczenia, których dowieść nie można i które nic nie zmieniają! Tragizm polega na tym, że nieubłagana choroba położyła kres, w ciągu niespełna dwóch miesięcy, życiu człowieka, który mógł jeszcze długie lata z wielkim pożytkiem służyć swemu krajowi i swej umiłowanej nauce...

* * *

Na początku artykułu wspomniano o tym, że postać Profesora może jak gdyby przechodzić do legendy, może pokrywać się cieniem zapomnienia. To drugie byłoby na pewno niewłaściwe i złe. Gdy jednak chodzi o legendę... Może właśnie są potrzebne takie prawdziwe „legendy“: o życiu poświęconym poszukiwaniu prawdy naukowej, wytrwałej pracy w jej szerzeniu? Może potrafią one skłonić kogoś do wstąpienia na trudną drogę Profesora, do przejścia się hasłem jego życia: *Prawda — Nauka — Praca...*

Bronisław Buras

Instytut Badań Jądrowych, Świerk
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytetu Warszawskiego

Od dyfrakcji promieni X na Hożej do dyfrakcji neutronów w Świerku

Fizyka promieni rentgenowskich i ich zastosowanie do badań struktury ciał, a zwłaszcza uporządkowania krystalitów, to jeden z kierunków badawczych zapoczątkowany w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego przez twórcę tego Zakładu — Profesora Stefana Pieńkowskiego — i uprawiany przez Niego i Jego uczniów.

Wychowany w Szkole na Hożej pierwsze swe poczynania naukowe w tej właśnie dziedzinie rozpoczynałem. Nim jednak pozwolono mi włożyć biały fartuch — tę zewnętrzną oznakę pracowników nauki, do których zaliczano również magistrantów — wykonać musiałem jeszcze dodatkowe zadanie (wtedy właśnie zestawione) w Pracowni II dla zaawansowanych, polegające między innymi na pomiarze długości fali promieniowania charakterystycznego miedzi za pomocą bardzo prostego spektrometru rentgenowskiego z kryształem soli kuchennej oraz „rozszyfrowaniu“ rentgenogramu polikrystalicznej miedzi uzyskanego metodą Debye'a-Scherrera. Było to moje pierwsze bezpośrednie zetknięcie się z dyfrakcją promieni X.

Po tych prostych pomiarach przyszły trudniejsze — w trakcie wykonywania pracy magisterskiej. Wraz z nimi śnieżnobiałe niewielkie prostokątne kartki papieru charakterystycznie podpisane inicjałami Profesora. Na niektórych po nazwisku adresata widniał zwrot „zechce“ i odpowiednie polecenie, np. przygotowania referatu. Inne zawierały jakieś pytanie lub informację. Do kartek nieprzyjemnych należały te, które poza inicjałami i godziną ich podpisania... nie zawierały nic więcej. Zatknięte bywały zazwyczaj za drzwi zamkniętej pracowni i oznaczały, że Profesor nie zastał jej użytkownika. Kartki te stanowiły swoisty, sprawnie działający instrument dyscypliny.

Pierwsze prace i dyskusje naukowe najdłużej zazwyczaj pozostają w pamięci. Wytworzone w tym czasie skojarzenia, schematy logiczne pozostają trwałą własnością tej stworzonej przez naturę maszyny matematycznej, jaką — w pewnym sensie — jest umysł ludzki. Profesor przez specyficzny sposób prowadzenia seminarium i konwersatorium, przez dyskusje związane z prowadzoną pracą naukową „stroił“ w sposób mistrzowski ten wielokanałowy

instrument, specjalnie zwracając uwagę na wzajemne powiązanie zjawisk i wyrobienie w młodych umysłach właściwego poglądu na stan aktualny i przyszły rozwój badań fizycznych. Wiele w tym zakresie zawdzięczam Szkole na Hożej.

W okresie bezpośrednio po wojnie troje nas — uczniów Profesora — było asystentami Sali Wykładowej. Z resztek przyrządów przechowanych i spalonych w Politechnice Warszawskiej, użyzonych nam przez szkoły średnie, zakupywanych na ulicy warszawskiej oraz budowanych naprędce w podręcznym warsztacie, przygotowywaliśmy pokazy do wykładu fizyki doświadczalnej prowadzonego przez Profesora. Otrzymywaliśmy na kilka dni przed wykładem kartkę, na której w postaci szkicowych rysunków przedstawione były doświadczenia, jakie należało przygotować. „Pierwsze czytanie“ takiej kartki zazwyczaj przejmowało nas grozą — większość niezbędnej aparatury nie istniała podówczas w Zakładzie. Jednocześnie nikomu z nas nie przychodziło na myśl, że moglibyśmy polecenia Profesora nie wykonać. Toteż wysilaliśmy całą naszą pomysłowość, a często gęsto w nocy przed samym wykładem nie kładliśmy się spać i w nerwowym pośpiechu przygotowywaliśmy pokazy, aby tylko maksymalnie wypełnić postawione nam przez Profesora zadanie. On sam kilkakrotnie podczas tych przygotowań do nas zachodził, sprawdzał stopień przygotowania, doradzał, a czasem... polecał ustawić dodatkowy pokaz. Na samym wykładzie istniała jakaś tajemnicza więź między nami i Profesorem: bez słowa lub gestu z Jego strony przeprowadzaliśmy w odpowiednich chwilach właściwe pokazy. Gdy czasem „synchronizacja“ ta zawodziła lub, co gorsza, pokaz nie udawał się, byliśmy głęboko nieszczęśliwi.

Te kilka lat pracy w charakterze asystenta wykładowego Profesora Pieńkowskiego były świetną szkołą głęboko pojętego obowiązku, kształcenia inwencji eksperymentatora, zdolności improwizacji i wyrobienia nie zawsze słusznego, ale bardzo pomocnego w praktycznej działalności przekonania, że w fizyce doświadczalnej decyduje pomysłowość nie zaś aparatura.

W roku 1950 Profesor skierował mnie do Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, aby tam zorganizować Zakład Fizyki. Jeśli zadanie to uwieńczone zostało powodzeniem, to głównie dlatego, że wykonywałem je w oparciu o Jego autorytet i że wyniosłem z Hożej dobry przykład, jak należy Zakład Fizyki organizować. (Nota bene kierownikiem tego Zakładu jest obecnie również jeden z uczniów Profesora¹.)

Gdy po dwóch latach wróciłem z powrotem na Hożą, niedługo po tym zabrakło Profesora. Pozostała jednak Jego Szkoła, pozostali uczniowie. Zwłaszcza ci, którzy już wtedy sami byli profesorami, podjęli w pierwszym rzędzie dzieło swego Nauczyciela i poczęli kontynuować tradycję Hożej.

Gdy patrzę wstecz na wspomniane poprzednio początki mej pracy naukowej w dziedzinie dyfrakcji promieni X, na moją pracę najpierw w Zakładzie, a potem Instytucie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego i na proble-

¹ Tadeusz Dryński

matykę zorganizowanego przeze mnie w roku 1956 Zakładu Fizyki Jądrowej Instytutu Badań Jądrowych w Świerku, a zwłaszcza na prowadzone w tym Zakładzie prace z zakresu dyfrakcji neutronów, to jestem głęboko przekonany, że realizuję program badań w myśl tych wytycznych, które sobie przyswoilem w Szkole na Hożej. Wydaje mi się pewnym, że gdyby Profesor miał do dyspozycji reaktor jądrowy, to posiadając niezwykłą intuicję przyrodniczą i wyczuwając świetnie potencjalne możliwości nowych kierunków badań skierowałby część swoich uczniów, obznajomionych z fizyką i techniką promieni X, do badań z zakresu dyfrakcji neutronów. Neutrony powolne bowiem oddziałując z ciałem stałym ujawniają właściwości falowe (długość fali jest tego samego rzędu, co odległości między atomami w kryształach) i podobnie jak promieniowanie rentgenowskie ulegają dyfrakcji, przy czym formalizm teorii dyfrakcji promieni X i neutronów oraz technika doświadczalna są bardzo podobne. Mechanizm oddziaływania promieni X i neutronów z atomami jest jednak odmienny, co stwarza nowe interesujące możliwości badawcze.

Jak wiadomo promieniowanie rentgenowskie ulega rozproszeniu na elektronach powłoki atomu, neutrony zaś na jądrach atomów (jeśli nie uwzględnić oddziaływań magnetycznych, o których będzie mowa dalej). W przypadku atomów lekkich promieniowanie rentgenowskie ulega słabemu rozproszeniu, toteż przy użyciu tej metody trudne, lub czasem zgoła niemożliwe, jest określenie ich położenia, zwłaszcza w obecności atomów ciężkich, np. określenie położenia atomów węgla w węglkach metali ciężkich. Rozproszenie neutronów natomiast nie zależy od liczby elektronów, a tylko od właściwości jądra atomowego, a te w większości przypadków różnią się w sposób łatwo mierzalny zdolnością rozpraszania, co pozwala zarówno na wyznaczenie położenia atomów lekkich i ciężkich, jak też na odróżnienie atomów o zbliżonej liczbie elektronów (np. miedzi i cynku).

Badania strukturalne przy pomocy neutronów mają jednak jeszcze jedną dodatkową zaletę w porównaniu z rentgenowskimi. Dzięki posiadaniu przez neutron momentu magnetycznego oddziałuje on również z momentami magnetycznymi atomów lub jonów. To oddziaływanie leżące u podstaw tzw. rozpraszania magnetycznego pozwala między innymi wyznaczyć ustawienie momentów magnetycznych atomów lub jonów w materiałach magnetycznych: ferromagnetykach, ferrytach, antyferromagnetykach.

Świadom tych zalet dyfrakcji neutronów autor tego artykułu wraz z grupą młodych zapalonych fizyków i chemików rozpoczął w roku 1956 przygotowania do podjęcia prac w tej dziedzinie. Gdy wiosną roku 1958 został uruchomiony reaktor jądrowy w Świerku, przy jednym z eksperymentalnych kanałów reaktora stał już gotów do pracy całkowicie zautomatyzowany dwukrystaliczny spektrometr neutronów. Jakkolwiek różnił się znacznie od bardzo prostego spektrometru lub kamery Debye'a-Scherrera dla promieni rentgenowskich — urządzeń wspomnianych we wstępie tego artykułu — to jednak może być uważany za ich modyfikację związaną z przesunięciem w czasie o lat dwadzieścia.

Wkrótce potem zbudowano drugi (trójosiowy) krystaliczny spektrometr neutronów. Z czasem też neutronografia zyskała prawo obywatelstwa; stała się przedmiotem wykładów monograficznych i seminarium na Hożej, tematem prac naukowych (w tej liczbie także magisterskich i doktorskich), przedmiotem zainteresowania innych placówek naukowych, zwłaszcza współpracujących z przemysłem.

Głównymi kierunkami badań neutronograficznych prowadzonych w Zakładzie Fizyki Jądrowej IBJ są:

1. badania struktur tlenków metali ciężkich,
2. badania struktur węglików wolframu, zwłaszcza tych, które występują w stalach specjalnych,
3. badania struktur magnetycznych.

W ramach kierunku pierwszego wyznaczono np. struktury tetragonalnego i ortorombowego tlenku ołowiu, dwutlenku ołowiu, dwutlenku telluru i molibdenianu ołowiu. We wszystkich tych przypadkach było nieznane lub znane z bardzo małą dokładnością położenie atomów tlenu. Metoda neutronograficzna pozwoliła położenie to wyznaczyć z dużą dokładnością i w konsekwencji wyciągnąć interesujące wnioski dotyczące rodzajów wiązań chemicznych występujących w tlenkach metali ciężkich.

W ramach kierunku drugiego wyznaczono np. strukturę węgliku wolframu WC, a w trakcie jest wyznaczanie struktur węglików żelazowowolframowych. Również i w tym przypadku interesujące jest położenie atomu lekkiego — węgla — bardzo trudne lub zgoła niemożliwe do wyznaczenia przy pomocy promieni X. Badania w zakresie tego kierunku mają prócz znaczenia poznawczego duże znaczenie praktyczne przy opracowywaniu technologii stali specjalnych.

W zakresie badań struktur magnetycznych wyznaczono np. ustawienie momentów magnetycznych w tellurku żelaza, manganku germanu, selenku żelaza, kilku ferrytów. Część tych prac jest wykonywana przy współdziałaniu placówek krajowych i zagranicznych zainteresowanych właściwościami magnetycznymi związków chemicznych i stopów.

Ostatnio rozpoczęto również opracowywanie nowej oryginalnej metody badań krystalograficznych wykorzystującej fakt, że neutronom o długościach fal od jednego do kilku \AA — stosowanych w badaniach strukturalnych — odpowiadają prędkości od kilkuset do kilku tysięcy metrów na sekundę, tj. łatwo mierzalne przy pomocy znanej w fizyce jądrowej techniki. Przy pomocy selektora powolnych neutronów uzyskuje się krótki — kilkadziesiąt mikrosekund trwający — impuls neutronów, które przy pomocy urządzeń kolimacyjnych kieruje się na polikrystaliczną próbkę i bada natężenie wiązki rozproszonej pod stałym kątem. Licznik mierzący to natężenie jest połączony z wielokanałowym analizatorem czasu i rejestruje natężenie neutronów rozproszonych w różnych punktach (dokładniej przedziałach) czasu. Każdemu z tych punktów czasu, przy określonej długości toru przelotu neutronu od selektora do licznika, odpowiada określona prędkość neutronu, a zatem okre-

ślona długość fali. W wyniku otrzymuje się zależność natężenia neutronów rozproszonych od długości fali przy stałym kącie rozproszenia, podobnie jak w metodzie Debye'a-Scherrera otrzymuje się zależność natężenia neutronów rozproszonych od kąta rozproszenia przy stałej długości fali. Jak to po raz pierwszy właśnie wykazano w Zakładzie Fizyki Jądrowej IBJ, otrzymany przy użyciu tej metody neutronogram pozwala na wyznaczenie struktury kryształu. Pierwsze uzyskane i opublikowane wyniki zdają się być bardzo zachęcające. Przede wszystkim metoda ta pozwala znacznie (o rząd wielkości) skrócić czas ekspozycji, a ponadto stwarza nowe możliwości badawcze niedostępne metodzie klasycznej.

Opisane badania neutronograficzne wyzyskują tzw. sprężyste rozpraszanie neutronów, tj. rozpraszanie, przy którym energia neutronu nie ulega zmianie. Jak to wykazano w latach pięćdziesiątych powolne neutrony ulegają w ciałach stałych również niesprężystemu rozpraszaniu i mogą podczas tego aktu zyskiwać lub tracić energię kosztem drgań sieci krystalicznej (fononów). Badając zmiany energii i pędu neutronów wskutek takich niesprężystych oddziaływań można wyciągnąć interesujące wnioski o wewnętrznej dynamice sieci krystalicznej, a zwłaszcza wyznaczyć krzywe dyspersji i widmo częstości fononów. W materiałach magnetycznych zderzenie niesprężyste neutronów może doprowadzić również do odwrócenia momentu magnetycznego (spinu) jednego z atomów lub jonów. Ten odwrócony w stosunku do innych spin — operując obrazem półklasycznym — nie jest umiejscowiony w sieci krystalicznej i powstałe zaburzenie rozchodzi się w postaci tzw. fali spinowej. Podobnie jak poprzednio badając zmiany energii i pędu neutronu wywołane tego rodzaju rozproszeniem niesprężystym, można wyciągnąć interesujące wnioski o dynamice podsieci magnetycznej ferromagnetyków, antyferromagnetyków i ferrytów.

W Zakładzie Fizyki Jądrowej IBJ prowadzi się od kilku lat tego rodzaju badania dynamiki sieci krystalicznej. Stosuje się przy tym zarówno wspomniane już przedtem spektrometry krystaliczne neutronów, jak też tzw. metodę odwróconego filtra berylowego oraz tzw. metodę prostego filtra berylowego w połączeniu z selektorem „zimnych“ neutronów. Główne kierunki prowadzonych badań w tej dziedzinie są następujące:

1. badanie widm fononów w ciałach stałych,
2. badanie drgań termicznych w związkach chemicznych w fazie stałej,
3. badanie praw dyspersji fal spinowych.

W ramach kierunku pierwszego zbadano widmo fononów w wyhodowanych w Zakładzie dużych monokryształach miedzi, cynku i magnezu, przy czym w odniesieniu do monokryształów układu hexagonalnego badania te miały charakter nowatorski. W przypadku cynku uzyskano szczególnie interesujące wyniki świadczące o dużym wpływie oddziaływania elektron-fonon na widmo fononów.

Prowadzone badania drgań termicznych w haloidkach amonu należy zaliczyć do kierunku drugiego. Uzyskano w tym zakresie pewne nowe wyniki nieznane z dotychczasowych badań metodami optycznymi. Badania praw

dyspersji fal spinowych znajdują się w stadium początkowym — prace były przeważnie wykonane przez pracowników Zakładu podczas praktyk zagranicznych.

W ciągu ostatnich pięciu lat opublikowano z zakresu sprężystego i niesprężystego rozpraszania neutronów w ciałach stałych kilkadziesiąt prac naukowych. Wiele z nich było referowanych na międzynarodowych konferencjach naukowych. W Zakładzie Fizyki Jądrowej IBJ z dwudziestu pracowników nauki i trzydziestu pięciu inżynierów, techników i laborantów prawie połowa bezpośrednio lub pośrednio pracuje w dziedzinie dyfrakcji neutronów. Prace te są ostatnio prowadzone w ścisłym powiązaniu z nowo powstałą Pracownią Neutronograficzną Katedry Fizyki Ciała Stałego Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego.

Mimo bardzo krótkiej swej historii prace Zakładu w dziedzinie dyfrakcji neutronów wzbudziły zainteresowanie w świecie i spotykają się z żywym odzwiekiem. Pracownicy Zakładu są często zapraszani do laboratoriów zagranicznych, a przy spektrometrach neutronowych w Świerku goszczą na kilkumiesięcznych i rocznych praktykach pracownicy z różnych ośrodków w kraju i z zagranicy (ZSRR, USA, ZRA, Włochy). Nawiązana jest też bardzo ścisła współpraca z Zjednoczonym Instytutem Badań Jądrowych w Dubnej. Istnieją ponadto dowody, że zaszczerpiono w kilku ośrodkach krajowej myśli technicznej pragnienie wykorzystania dyfrakcji neutronów dla celów postępu technicznego. W powiązaniu z Instytutem Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego szkoli się młoda kadra naukowa. Toteż droga Hoża-Świerk jest dwukierunkowa. Profesor Pieńkowski nie dożył budowy i otwarcia *tej konkretnej* drogi, ale jako *idea* istniała ona już w Jego umyśle; można ją odczytać w wielu Jego wypowiedziach na temat organizacji nauki i szkolnictwa wyższego w Polsce.

Marian Danysz i Jerzy Pniewski

Katedra Fizyki Cząstek Elementarnych
 Uniwersytetu Warszawskiego
 Zakład Fizyki Wielkich Energii
 Instytutu Badań Jądrowych
 Warszawa

Fizyka wysokich energii i cząstek elementarnych w Ośrodku Warszawskim na Hożej

W maju 1945 roku jeden z uczniów Profesora Stefana Pieńkowskiego otrzymał od Niego list tej treści: „Będziemy odbudowywać Uniwersytet w Warszawie, nie wiem czy nie warto byłoby umieścić go w nowych budynkach, w każdym razie fizykę chciałbym znów widzieć na Hożej“. W lecie tego samego roku grupa Jego uczniów i pracowników Zakładu istotnie rozpoczęła pod Jego kierunkiem odbudowywać fizykę na Hożej. Zrujnowany budynek, pozbawiony wszelkich instalacji i przerobiony na lokale biurowe znajdował się w stanie oplakany. Mimo to istniał i w zniszczonej Warszawie był niezwykle skarbnem. Remont i przeróbka budynku prowadzone były w sposób trudny dziś do pojęcia. Zbiórka raczej prymitywnych przyrządów ocalałych w szkołach na Śląsku oraz niezwykle zakup niemal na ulicy niektórych cenniejszych przyrządów pozwoliły na podjęcie wykładów fizyki doświadczalnej ilustrowanych pokazami już w grudniu 1945 r. Rozpoczął je Profesor Pieńkowski w prowizorycznej sali wykładowej na terenie obecnej II pracowni na parterze. W marcu 1946 r. podjęte zostały już normalne zajęcia w I pracowni, a pierwszą doświadczalną pracę magisterską rozpoczęto w roku 1946. Z biegiem czasu wracają inni koledzy; Hoża zyskuje nowych ludzi, których nazwiska stają się popularne i na trwałe związane z jej historią. Są wśród nich nie tylko fizycy, ale fizyka staje się ich pasją — ich rzetelny wkład w odbudowę Hożej jest niezapomniany. Stopniowo budynek się rozrasta, przybywają skrzydła: najpierw Hali Atomowej, potem Fizyki Teoretycznej. Dalszy rozwój fizyki na Hożej w ramach Instytutu Uniwersyteckiego, Polskiej Akademii Nauk oraz Instytutu Badań Jądrowych to bogata historia, jednak nie śledzona już przez Profesora. Autorzy tego artykułu patrzą na nią z pewnością jednostronnie, toteż chcieliby podać migawkowy obraz rozwoju tylko tej jej części, która znalazła się w kręgu ich zainteresowań. W ich przekonaniu rozwój ten jest kontynuacją zamierzeń Profesora Pieńkowskiego.

Na pewnym szczeblu rozwoju każdego ośrodka konieczny jest import myśli naukowej. Podobnie było w przypadku autorów tego artykułu. W latach

1949—1950 rozpoczęli oni za granicą pracę w zakresie spektrometrii β stosując emulsje jądrowe. Celem pracy było sprawdzenie niskoenergetycznej części widma, która podówczas przyczyniała liczne kłopoty wykazując pozorne niezgodności z tym, co przewidywała teoria rozpadu β . Wkrótce jednak punktem ciężkości zainteresowań autorów artykułu stała się nie spektrometria β , lecz fizyka cząstek elementarnych. Szybkie tempo rozwoju tej dziedziny badań, jak również dziedziny pokrewnej — fizyki wysokich energii — powoduje, że zainteresowania fizyków wielu krajów świata skupiają się na tych zagadnieniach. W Warszawie w Instytucie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego prace w tym kierunku rozpoczęły się nawet w roku 1947. Na razie był to jednak bardzo skromny zakres, właściwie jedynie zapoznanie się z nową techniką pracy opartej o emulsje jądrowe. Ówczesnie produkowane emulsje nie rejestrowały jednak torów cząstek relatywistycznych pojedynczo naładowanych. Właściwy rozwój datuje się dopiero od roku 1952, kiedy Ośrodek Warszawski otrzymuje z Bristolu pierwszy blok emulsji o dużej czułości naświetlony w stratosferze. W trzy miesiące po rozpoczęciu pracy zostaje znaleziony przypadek przykuwający uwagę swym osobliwym wyglądem. Cząstka kosmiczna rozbija jądro bromu lub srebra spośród tych, które wchodzi w skład emulsji fotograficznej. Jeden z fragmentów rozbitego jądra po zatrzymaniu rozpada się z wydzieleniem energii znacznie przekraczającej energię wzbudzenia obserwowane w dotychczasowych badaniach fizyki jądrowej. Jednocześnie rozpad fragmentu wydaje się być silnie opóźniony. Po szczegółowej analizie i rozpatrzeniu wielu możliwości staje się jasne, że jedynie związanie hiperonu Λ^0 we fragmencie jest właściwym wyjaśnieniem obserwowanego zjawiska. Hiperon Λ^0 podobnie do nukleonów może wchodzić w skład materii jądrowej. W ten sposób zaobserwowany przypadek stał się pierwszym przykładem hiperjądra atomowego zawierającego obok nukleonów hiperon Λ^0 .

Początek był z pewnością szczęśliwy, jednak dalsza droga wymagała organizacji laboratorium, wyszkolenia personelu naukowego i technicznego, wreszcie zdobycia odpowiednich materiałów i wyposażenia pracowni. Fizyka cząstek elementarnych bez źródeł cząstek wielkich energii nie ma perspektyw rozwoju. Wykorzystanie jednego z tych źródeł — promieniowania kosmicznego — wymagało zorganizowania lotów balonów stratosferycznych, drugiego — akceleratorów — ogromnych inwestycji. Obie drogi były zbyt trudne do zrealizowania naszymi skromnymi środkami, a korzystanie z nich stało się możliwe jedynie w ramach zorganizowanej współpracy międzynarodowej. Tak więc przygotowanie materiałów, pochłaniające wiele czasu i wysiłku, wymagające udziału różnych fachowców (w znacznej części także nie fizyków), zostało na tej drodze rozwiązane. Analiza uzyskanych materiałów to praca bezpośrednio obchodząca fizyka, a jej wykonanie staje się możliwe nawet w obrębie jednego laboratorium. Do tej właśnie pracy przygotowywało się laboratorium fizyki cząstek elementarnych na Hożej. Obecnie istniejące laboratorium jest wspólnym dorobkiem Katedry Fizyki Cząstek Elementarnych Uniwersytetu Warszawskiego i Zakładu Fizyki Wielkich Energii Instytutu Badań Jądrowych.

Dokładność i skrupulatność w pracy oraz ostrożność w interpretacji wyników stały się dewizą laboratorium. Jeżeli ośrodek warszawski ma osiągnięcia, które mogą się liczyć w skali światowej, to chyba jedynie dzięki bezwzględnemu przestrzeganiu tej zasady.

Słabą stroną ośrodka jest brak odpowiedniej automatyzacji pomiarów oraz szybkich maszyn cyfrowych. Limituje to wszelkie możliwości podjęcia problemów wiążących się z dużymi statystykami.

Obecnie praca prowadzona jest w oparciu o dwie techniki — emulsji jądrowych i komór pęcherzykowych, trzecia technika — komór iskrowych — podjęta w roku ubiegłym ma dobre perspektywy szybkiego rozwoju.

Pod względem problematyki prace dają się rozdzielić na dwa kierunki:

- 1) fizyka jądrowa wysokich energii: hiperjądra, fragmentacja jąder i oddziaływania cząstek wysokiej energii z jądrami;
- 2) własności cząstek elementarnych i stanów rezonansowych, oddziaływania wysokich energii w przypadku struktur prostych.

Obecna kadra naukowa liczy 25 osób, w tym 2 docentów, 5 doktorów. Trzy habilitacje i trzy przewody doktorskie są w toku i prawdopodobnie będą ukończone w chwili ukazania się tego artykułu. Praca rozdzielona jest pomiędzy 5 zespołów: trzy pracujące techniką emulsji jądrowych i dwa techniką komór pęcherzykowych, wodorowo-propanowych lub ksenonowych.

Dwa z tych zespołów zajmują się problematyką struktur hiperjądrowych oraz fragmentacji ciężkich jąder. Odkrycie możliwości wiązania hiperonu Λ^0 w jądrze zapoczątkowało szereg prac będących jego naturalną kontynuacją. Prace te rozwinęły się w trzech kierunkach i dotyczyły pogłębienia naszych wiadomości o samych hiperfragmentach, dokładniejszego wyznaczania masy hiperonu Λ^0 (informacja ta posiada zasadnicze znaczenie przy ocenie energii wiązania hiperfragmentów) i zagadnienia produkcji hiperfragmentów. Znaleziono dalsze przypadki rozpadu hiperfragmentów, stwierdzono korelacje kątowe następujące przy ich rozpadzie, dostarczające informacji o oddziaływaniach w stanie końcowym. Napływający bogaty materiał doświadczalny z zagranicznych laboratoriów posłużył do opracowania światowego przeglądu danych doświadczalnych dotyczących własności hiperfragmentów. W szczególności zauważono przy tym systematyczny wzrost energii wiązania cząstki Λ^0 ze wzrostem masy hiperfragmentu. To spostrzeżenie, znacznie silniej ugruntowane dalszymi danymi zebranymi w innych laboratoriach, posłużyło nam ostatnio do zwrócenia uwagi na tworzenie się hiperizomerów helu 7. Byłby to więc pierwszy przypadek bezpośredniej obserwacji długożyciowego stanu wzbudzenia struktury hiperjądrowej.

Wykorzystując materiały emulsyjne naświetlone mezonami K^- przeprowadzono pomiar masy hiperonu Λ^0 . Uzyskana wartość $Q = 37,58 \pm 0,18$ MeV jest obecnie jedną z najdokładniejszych. Materiały te posłużyły także do uzyskania danych dotyczących widma energii hiperonów Λ^0 produkowanych z oddziaływań mezonów K^- z jądrami emulsji. Te rezultaty stanowiły podstawę do oceny całkowitej wydajności produkcji hiperfragmentów ujawnionych

łącznie z kryptofragmentami, gdy powstałe po oddziaływaniu ciężkie reziduum jądrowe zawiera hiperon.

Z inicjatywy jednego z pracowników naszego zespołu, w ramach szeroko zakrojonej współpracy międzynarodowej, znaleziona została droga do wykrycia ciężkich hiperfragmentów. Po raz pierwszy zaobserwowano hiperfragmenty o dużych liczbach masowych. Użycie mezonów K^- o dużej energii, przekazujących jądru tarczy obok „dziwności“ duży pęd, rozszerzyło w bardzo istotny sposób możliwości jawnej produkcji ciężkich hiperfragmentów. Lekkie jądra będące głównym źródłem hiperfragmentów w oddziaływaniach zatrzymujących się mezonów K^- — w tym przypadku raczej fragmentowane — przestają odgrywać istotną rolę. Ciężkie jądra tylko częściowo fragmentowane w swej pozostałej ciężkiej części łatwo zatrzymują wyprodukowany w oddziaływaniu hiperon Λ^0 , a uzyskawszy dość znaczny pęd mogą uwidocznić swój rozpad rozdzielony przestrzennie od miejsca pierwotnego oddziaływania. Oddziaływanie mezonów K^- o dużym pędzie może wytworzyć dodatkową „dziwność“. Powstające w ten sposób hiperony Ξ^- , po zatrzymaniu i wychwycie w lekkim jądrze, mogą produkować wykrywalne hiperfragmenty zawierające dwie cząstki Λ^0 . Pierwszy taki przypadek znaleziony i przeanalizowany w Warszawie umożliwił uzyskanie pierwszych danych o wzajemnym oddziaływaniu hiperonów Λ^0 .

Od kilku lat prowadzone prace, dotyczące fragmentacji ciężkich jąder w zderzeniach wysokich energii, dostarczają coraz więcej danych nie dających się w całości pogodzić z jedną dobrze opracowaną teorią tego procesu opartą na modelu parowania. Temperatura parującego jądra, energia przekazana jądru tarczy wydają się znacznie przekraczać granice możliwe do przyjęcia. Z drugiej strony niskie bariery potencjalne w sumie sugerują bardziej szybki i bezpośredni proces fragmentacji w przypadku oddziaływań wysokich energii. Systematyczność tej pracy pozwoliła skierować uwagę na liczne błędy łatwo zakradające się do gromadzonych materiałów statystycznych.

Zasadniczą trudność w pracach prowadzonych techniką emulsyjną przedstawia identyfikacja cząstek i pomiar ich pędu w przypadku, gdy w grę wchodzi energia osiągalna w obecnych akceleratorach. Ogromny wysiłek włożony przez jeden z zespołów w pracę tego typu, opartą na zastosowaniu silnych impulsowych pól magnetycznych, został uwieńczony pełnym sukcesem. W oparciu o tę metodę można było podjąć analizę zderzeń wysokich energii i procesu produkcji cząstek wtórnych. Jeśli tarczą jest jądro, wówczas można zyskać pełniejsze informacje o rozwoju kaskady wewnątrzjądrowej.

Szeroko obecnie dyskutowane wnioski, wynikające z koncepcji biegunów Reggego, mogą być konfrontowane z doświadczeniem przez pomiary różniczkowego przekroju czynnego dla rozprożeń elastycznych protonów na protonach. Wykorzystując prostopadłe naświetlenie bloku emulsji wyznaczono wartość tych przekrojów, w szczególności dla małych kątów rozproszenia. Wyniki tej pracy wskazują na wyraźne zniżenie wartości całkowitego przekroju czynnego uzyskanego poprzednio. Praca ta jest pewnego rodzaju ostrze-

żeniem przed zbyt pochopnie wyciąganymi wnioskami z danych obarczonych niekontrolowanymi błędami w wykryciu i w rozpoznaniu przypadków rozproszenia.

Przez pewien czas prowadzona bardzo ścisła współpraca z Ośrodkiem Krakowskim doprowadziła do interesujących wyników w zakresie zderzeń najwyższych energii rejestrowanych w emulsjach fotograficznych.

Grupy pracujące techniką komór pęcherzykowych przede wszystkim rozwiązały problemy z zakresu metodyki pomiarów. Grupa pracująca przez szereg lat w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej wyspecjalizowała się w technice pracy z komorą ksenonową. Duża masa ksenonu umożliwia rejestrację fotonów γ . Cała tematyka tej grupy obraca się wokół zagadnień, w których decydująca informacja wiąże się z obserwacją fotonów γ . Druga grupa operująca komorami wodorowymi i propanowymi rozwiązała analogiczne problemy z zakresu metodyki pracy z tymi komorami, koncentrując swe zainteresowania najpierw na problemie sprężystych rozprożeń mezonów π^- na protonach. Wynikiem tej pracy jest wkład do ogólnych informacji dotyczących oddziaływań cząstek elementarnych przy zderzeniach wysokich energii.

Dalsze prace dotyczą analizy oddziaływań pion-proton o dużej krotności cząstek wtórnych oraz produkcji neutronów w tego typu oddziaływaniach. Prace dotyczące własności i oddziaływań cząstek elementarnych wymagają zebrania wielu systematycznych i nieobciążonych statystycznie informacji. To jest też celem prac prowadzonych obecnie przez grupy interesujące się tą problematyką.

Wspominając trud włożony w długotrwałą pracę lub niektóre sukcesy, człowiek zawsze gotów jest widzieć je lepiej niż na to zasługują. W całości dorobku Ośrodka Warszawskiego, znajdującego się przez tyle lat pod opieką Profesora Pieńkowskiego, to, co przedstawiliśmy jest niewątpliwie drobnym fragmentem.

Jan Ehrenfeucht

Uczeń o swoim Profesorze

Profesor Pieńkowski doceniał wielkie znaczenie właściwego nauczania fizyki. Sam był wspaniałym dydaktykiem. Dość wspomnieć np., że nawet zwykle, kursowe wykłady były zawsze tak ciekawe, że przyciągały niekiedy studentów innych specjalności. Albo odczyty wiosenne urządzone przez Polskie Towarzystwo Fizyczne, pomiędzy którymi wyróżniał się zawsze odczyt samego Profesora. Zostawały one na długo w pamięci słuchaczy nie tylko przez ciekawie pomyślane doświadczenia, ale także przez jakieś tchnienie poezji nauki, pobudzające do głębszego zastanawiania się nad filozofią przyrody.

Ważne jest jednak nie tylko właściwe nauczanie fizyki w szkole. Chodzi jeszcze o to, aby młodzież możliwie dokładnie poznała zasady tej nauki i umiała stosować je do samodzielnego rozwiązywania podstawowych problemów. Ponieważ w normalnym toku nauczania w szkole ten cel nie zawsze mógł być łatwo osiągnięty, Profesor Pieńkowski wystąpił z inicjatywą urządzania Olimpiad Fizycznych. Olimpiada pozwalała wyselekcjonować spośród rzesz młodzieży szkolnej te jednostki, które były szczególnie zainteresowane fizyką i zdolne do bardziej twórczej, samodzielnej pracy. Olimpiada Fizyczna odbywała się co roku już od szeregu lat. Być może, iż obecnie jej idea została przez młodzież trochę wypaczona, może zbyt często o udziale w Olimpiadzie decydują pobudki utylitarne — łatwiejsze dostanie się na wyższą uczelnię — niemniej jednak Olimpiada pozwala co roku wydzielić pewne jednostki naprawdę zdolne i rokujące nadzieję, że z czasem przyczynią się one do dalszego rozwoju nauki.

Olimpiada wybiera więc jednostki wyjątkowe. Ale pozostała młodzież powinna również zdobywać gruntowną znajomość przynajmniej podstawowych elementów fizyki. Zapewniają to odpowiednie programy nauczania fizyki w szkołach. Już nawet na poziomie szkoły podstawowej program przewiduje zapoznanie młodzieży z całokształtem zjawisk fizycznych. Program klas licealnych nie tylko rozszerza i pogłębia zakres wiadomości zdobytych przez ucznia w szkole podstawowej, ale pozwala przerobić z nimi całość kursu fizyki, oczywiście na poziomie dostępnym młodocianym umysłom. Ogromną wagę przypisuje program doświadczeniom oraz ćwiczeniom wykonywanym samodzielnie przez uczniów.

Programy fizyki zarówno dla szkół podstawowych, jak i dla liceum, były opracowywane przez Komisję Programową przy Ministerstwie Oświaty. Jest

rzeczą zmienną, że w Komisji tej, od samego początku jej istnienia, pracowało kilku uczniów Profesora i wywarło istotny wpływ na treść tych programów. Ten stan rzeczy trwa do dziś w związku z opracowywaniem nowych programów dla szkół w wyniku przeprowadzanej reformy szkolnictwa. Oczywiście, że chwila obecna stawia przed nauczaniem fizyki nowe zadania. Młodzież ma poznawać fizykę nie tylko jako gałąź czystej nauki, ale także jako potężne narzędzie sprzyjające rozwojowi techniki. (Z tego powodu programy szkolne może nie mają takiej postaci, jakiej życzyliby sobie naukowcy.) Jednak pozostaje w nich rzecz najważniejsza — ścisłość naukowa, i tej strzegą uczniowie Profesora pracujący w Komisji Programowej.

Kontakt z fizyką zapewnia młodzieży nie tylko nauczyciel. Dużą rolę odgrywa także podręcznik. I znów nie jest przypadkiem, że podręczniki szkolne, z których korzystały już miliony młodzieży w okresie powojennym, są napisane przeważnie przez uczniów Profesora, którzy bardzo starali się o to, aby nawet na poziomie szkolnym nie odstąpić od ścisłości naukowej.

A piszący te słowa, nauczyciel jednej ze szkół, będzie do końca życia dumny z tego, że kiedyś, dawno, zetknął się trochę z Zakładem na Hożej i stara się przekazać młodzieży nie tylko rzetelną prawdę wiedzy, ale wszczepić jej także trochę tej poezji przyrody, którą sam przejął od Profesora.

Aleksander Jabłoński

Katedra Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytetu Mikołaja Kopernika
Toruń

O pracach Katedry Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika

1. Wstęp

Katedra Fizyki Doświadczalnej „najmłodszego“ z uniwersytetów polskich, Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, rozpoczęła swą działalność w lutym 1946 r. Działalność ta ograniczała się w okresie początkowym wyłącznie do pracy organizacyjnej i dydaktycznej. Pracy badawczej nie próbowałem nawet w tym czasie organizować. Przyświecała mi myśl o konieczności zorganizowania przede wszystkim nauczania. „Należy na pewien czas zapomnieć o pracy naukowej i poświęcić wszystkie siły na nauczanie, aby w ten sposób przyczynić się do odbudowy zniszczonej przez najeźdźców polskiej kultury“ — powiedział mi Profesor Pieńkowski w czasie naszego pierwszego po wielu latach spotkania (po zakończeniu działań wojennych). Ta myśl mego Profesora głęboko utkwiała mi w pamięci i kierowałem się nią po objęciu pracy na UMK. Nie istniały wówczas warunki na prowadzenie prac badawczych. Katedra nie posiadała przyrządów, nie miała ani jednego, przygotowanego do pracy naukowej, pomocniczego pracownika nauki, a do końca pierwszego roku akademickiego nie posiadała nawet ani jednego pokoju. Przed początkiem roku akademickiego 1946/47 Katedry Fizyki (Katedra Fizyki Doświadczalnej, Katedra Fizyki Teoretycznej i Katedra Mechaniki Teoretycznej) otrzymują lokal kilkupokojowy, umożliwiający prowadzenie zajęć dydaktycznych, jednak nie wystarczający nawet do wykonywania magisterskich prac doświadczalnych¹. Dopiero w 1951 r., z chwilą oddania do użytku nowego gmachu Fizyki (Collegium Physicum UMK), można było zacząć myśleć o rozpoczęciu prac badawczych. Tematyka tych prac ograniczała się prawie wyłącznie do dziedzin, w których pracowałem przed wybuchem wojny (sytuację dobrze charakteryzuje powiedzenie S. I. Wawiłowa: „Trudno jest przesiąść na innego konia!“). Tematyka ta miała tę zaletę, że nie wymagała

¹ Z konieczności pierwsze prace magisterskie, z jednym jedynym wyjątkiem, były pracami teoretycznymi, wykonywanymi pod kierunkiem profesorów J. Rayskiego i J. Rzewuskiego

bardziej skomplikowanej i kosztownej aparatury. Rozpoczęto więc prace nad fotoluminescencją roztworów i rozszerzeniem linii widmowych. Z biegiem czasu, kiedy rozrosła się kadra pracowników nauki Katedry i kiedy pracownicy ci nabrali doświadczenia i samodzielności, tematyka prac uległa rozszerzeniu. Rozpoczęto m. in. prace z dziedziny paramagnetycznego rezonansu jądrowego i rezonansu elektronowego (K. Antonowicz z współpracownikami). Są one obecnie kontynuowane w niedawno kreowanej Katedrze Elektroniki i Fizyki Ciała Stałego, której kierownikiem jest doc. dr K. Antonowicz. Nie będą one w niniejszym przeglądzie omawiane.

Nie mogę tu nie wspomnieć o dwóch instytucjach, z którymi Katedra współpracowała bardzo ściśle i które się bardzo przyczyniły do ożywienia działalności naukowej Katedry.

Jedną z nich jest Instytut Fizyki PAN. Z inicyjatywy jej dyrektora, prof. L. Sosnowskiego, została w Toruniu zorganizowana w r. 1956 Pracownia Fotoluminescencji, będąca jedną z dwóch pracowni Zakładu Optyki Instytutu Fizyki PAN. Otrzymała ona etaty wolnych od zajęć dydaktycznych pracowników nauki (4, a później 5), 2 etaty mechaników i siłę administracyjną. Otrzymywała ona wysokie, w stosunku do uniwersyteckich, dotacje i zaopatrzona została w szereg cennych przyrządów. W roku 1962 Pracownia przekazana została Uniwersytetowi Mikołaja Kopernika i przyłączona do Katedry Fizyki Doświadczalnej tego uniwersytetu.

Drugą instytucją, z którą ściśle współpracuje Katedra, jest Przemysłowy Instytut Elektroniki (PIE). Instytut ten zorganizował w Toruniu jedną ze swych komórek, Pracownię Fotokatod. Początkowo mieściła się ona w lokalu Katedry. Pracownikami jej byli (na pół etatu) niektórzy z pracowników Katedr Fizyki UMK i Pracowni Fotoluminescencji IFPAN. Obecnie komórka ta, przemianowana na Zakład Fizyki Ciała Stałego, posiada własny budynek i szereg pracowników, absolwentów UMK, na pełnym etacie. Wspomnieć tu warto, że w okresie ściślejszej współpracy Katedry z PIE wynaleziona została (przez A. Bączyńskiego i M. Czajkowskiego) nowa technologia produkcji komórek fotoprzewodzących, produkowanych obecnie na skalę przemysłową. Produkcja ma być przeniesiona w przyszłości do będącego w budowie specjalnego gmachu.

2. Badania aktualnie prowadzone w Katedrze Fizyki Doświadczalnej UMK

Dziedzinami aktualnych badań Katedry są: fotoluminescencja roztworów organicznych, fotoluminescencja i elektroluminescencja nieorganicznych fosforów krystalicznych, fotoprzewodnictwo półprzewodników nieorganicznych i organofosforów oraz widma drobin dwuatomowych i ciśnieniowe rozszerzenie atomowych linii widmowych.

Wspomnę przede wszystkim o niektórych oryginalnych metodach doświadczalnych, opracowanych i stosowanych w tutejszej Katedrze. Do badania

względnej wydajności fluorescencji stosowana jest metoda opracowana przez R. Bauera i D. Frąckowiak. Pozwala ona w sposób prosty i dokładny wyznaczać wydajność względną fluorescencji w funkcji długości fali wzbudzającej lub stężenia roztworu.

Pomiary polaryzacji fotoluminescencji wykonywane są za pomocą polarymetru R. Bauera i M. Rozwadowskiego. Istotną częścią tego polarymetru jest komórka Billingsa, za pomocą której modulowane jest światło, jeżeli jest ono przynajmniej częściowo spolaryzowane. Za detektor służy fotopowielacz. Wzmacniana i mierzona jest jedynie składowa zmienna fotoprądu. Za pomocą kompensatora Arago badane światło może być zdepolaryzowane, a tym samym doprowadzona do zniknięcia składowa zmienna fotoprądu. Kąt skręcenia kompensatora, przy którym znika ta składowa fotoprądu, wyznacza stopień polaryzacji badanego światła. Metoda jest najdokładniejszą i najczulszą z aktualnie istniejących metod pomiarów polaryzacji. Pozwala ona mierzyć stopnie polaryzacji rzędu 10^{-5} nawet przy stosunkowo słabych natężeniach światła.

Do pomiarów czasów świecenia fluorescencji rzędu 10^{-9} sek. używany jest fluorometr R. Bauera i M. Rozwadowskiego. Cechą wyróżniającą ten fluorometr wśród innych tego typu przyrządów jest jego świetlność. Świetlność ta osiągnięta została dzięki zastosowaniu jako modulatora światła kostki z kwarcu topionego (izotropowego), umieszczonej pomiędzy skrzyżowanymi polaroidami, w której ultradźwiękowa fala stojąca wytwarza periodycznie dwójłomność wymuszoną. Fluorometr pozwala wyznaczać czasy świecenia z dokładnością dochodzącą do $5 \cdot 10^{-11}$ sek. Obecnie fluorometr jest przebudowywany celem umożliwienia wykonywania pomiarów przy wzbudzaniu fluorescencji w dziedzinie nadfioletowej.

Do badań dłuższych czasów świecenia (fosforescencji) opracowane zostały różne typy fosforoskopów. Pozwoliły one wyznaczać nie tylko czasy świecenia, lecz również i przebiegi gaśnięcia świecenia w czasie, czyli tzw. krzywe gaśnięcia, oraz zmiany stopnia polaryzacji świecenia zachodzące w trakcie gaśnięcia. Oryginalny fosforoskop skonstruowany został przez M. Frąckowiaka. W fosforoskopie tym fosfor (w postaci pasa „bez końca“) porusza się na pewnym odcinku po linii prostej z dużą prędkością (rzędu prędkości pociągów pośpiesznych). Rozciągnięte dzięki temu ruchowi zanikające świecenie fotografowane jest za pomocą kamery fotograficznej. Umieszczenie polaroidów w biegu wiązki wzbudzającej i emitowanej pozwala zbadać gaśnięcie oddzielnych składowych fosforescencji, a tym samym wyznaczyć przebieg zmian stopnia polaryzacji fosforescencji, zachodzących w czasie jej gaśnięcia.

Fosforoskop innego typu został zbudowany przez A. Bączyńskiego i M. Czajkowskiego. Do pomiarów zmieniającego się w czasie natężenia światła fotoluminescencji użyli oni połączonego z oscylografem katodowym fotopowielacza. Wiązka światła wzbudzającego mogła być nagle przerywana. Przy odsłoniętej wiązce wzbudzającej oscylograf rejestruje natężenie całkowitej fotoluminescencji (fluorescencji + fosforescencji) organofosforu. Po osiągnięciu stanu stacjonarnego wiązka wzbudzająca jest nagle przerywana. Następuje

nagły spadek w krzywej oscylograficznej. Dalej rejestrowane jest stosunkowo powoli gasnące natężenie światła fosforescencji (bez domieszki światła fluorescencji). Z krzywych w ten sposób otrzymanych, wyznaczano nie tylko krzywe gaśnięcia fosforescencji, lecz również i stosunek natężeń fosforescencji i fluorescencji, a tym samym stosunek ich wydajności.

Głównym celem badań roztworów luminezujących jest zdobycie wiadomości o mechanizmie różnych typów świecenia i o naturze „centrów“ fotoluminescencji. Centrami takimi mogą być różne formy jonowe monomerów drobin luminezujących, drobin luminezujące wzbudzone do stanu metatrwałego, dimery drobin luminezujących, kompleksy tych drobin z drobinami rozpuszczalnika itp.

Wyżej wspomnianemu celowi służą badania widm absorpcji i fotoluminescencji, wydajności, polaryzacji oraz czasów świecenia i krzywych gaśnięcia fotoluminescencji.

Krzywe wydajności fluorescencji w funkcji długości fali wzbudzającej, otrzymane dla chlorofilu *a* w różnych rozpuszczalnikach, wskazują na występowanie w tych roztworach kilku rodzajów centrów (monomery, dimery, kompleksy chlorofilu *a* z drobinami rozpuszczalnika oraz drobin chlorofilu *a*₁, odmiany chlorofilu *a* powstającej pod wpływem naświetlania). Badania tej drobin, tak ważnej ze względu na jej rolę w reakcjach fotosyntezy w roślinach, prowadzi D. Frąckowiak.

A. Bączyński i M. Czajkowski prowadzą badania zależności stosunku wydajności fosforescencji do wydajności fluorescencji od stężenia barwnika. Z wyników ich badań wyciągnąć można wniosek, że mechanizm fosforescencji nie jest mechanizmem czysto monomolekularnym.

Badania zależności wydajności fluorescencji długotrwałej od stężenia, dla zamrożonych za pomocą ciekłego powietrza roztworów alkoholowych benzenu, mają na celu uzyskanie wiadomości o wygaszaniu tego świecenia. Krzywe gaśnięcia tej fluorescencji dają się przedstawić jako nałożenie się dwóch krzywych wykładniczych (T. Marszałek).

Z widm i różnych innych własności roztworów drobin luminezujących, w rozpuszczalnikach o różnych polarnościach i różnych *pH*, wyciągane są wnioski o występujących w tych roztworach formach jonowych tych drobin (M. Rozwadowski, A. Gutsze i H. Waleryś).

Rozpoczęto badania polaryzacji fluorescencji długotrwałej organofosforów (D. Frąckowiak). Z badań dotychczasowych (m.in. wykonanych przez autora niniejszego artykułu w roku 1935 w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego) wynika, że dipol przejścia, odpowiedzialny za fluorescencję długotrwałą, posiada w drobinie kierunek inny, niż dipol przejścia, związany z fluorescencją krótkotrwałą². Ostatnio ogłoszone badania wskazują na to, że jest on skierowany prostopadle do płaszczyzny drobin; okoliczność, która pomimo wielu prób nie uzyskała jeszcze zadowalającego

² Fluorescencja długotrwała występuje w roztworach sztywnych w niskich temperaturach. Jej widmo jest przesunięte w stronę fal długich w stosunku do widma fluorescencji krótkotrwałej.

wytłumaczenia na gruncie przyjętej powszechnie hipotezy o naturze poziomu metatrwałego tych drobin. Zgodnie z tą hipotezą poziom ten jest poziomem trójkowym czyli poziomem, dla którego liczba kwantowa spinowa $S = 1$. Przejście z tego poziomu do poziomu normalnego (jedynekowego), jest przejściem wzbronionym ze względu na zakaz interkombinacji. Stąd długotrwałość związanej z tym przejściem świecenia (fluorescencji długotrwałej).

Nie jest jeszcze rozstrzygnięte zagadnienie, czy organiczne drobinyluminescujące posiadają jeden jedyny poziom metatrwały, czy też jest ich więcej, np. dwa (to ostatnie przypuszczenie wysunęli Pringsheim i Vogels, a później J. Franck i Pringsheim, w stosunku do trypaflawiny). Prowadzone obecnie badania akryflawiny, oddzielonej chromatograficznie od trypaflawiny (która jest mieszaniną akryflawiny i proflawiny), nie doprowadziły na razie do rozstrzygnięcia zagadnienia (H. Waleryś).

Pomiary (fluorometryczne) czasów świecenia fluorescencji, w połączeniu z pomiarami jej anizotropii emisji³, dostarczyć mogą wiadomości o procesach powodujących depolaryzację fluorescencji roztworów. Jeżeli przyjmiemy przynajmniej przybliżoną stosowalność podanej przez F. Perrina teorii depolaryzacji fluorescencji roztworów przez ruchy obrotowe drobin, podlegających, w myśl założenia teorii, prawom brownowskiego ruchu obrotowego cząstek kulistych, pomiary powyższe pozwalają wyznaczyć graniczną anizotropię emisji (r_0), czyli anizotropię emisji, która byłaby obserwowana, gdyby czas świecenia był równy zeru, oraz objętość otoczki solwatacyjnej biorącej udział wraz z drobiną wzbudzoną w brownowskim ruchu obrotowym. Obserwowane r_0 jest zawsze mniejsze, niż teoretyczna wartość podstawowej anizotropii emisji⁴, co tłumaczy się przez występowanie dalszych czynników depolaryzujących. Jeżeli takie czynniki, jak fluorescencja wtórna i migracja energii pomiędzy drobinami, zostaną w doświadczeniach wyeliminowane, pozostanie jeszcze co najmniej jeden czynnik, drgania torsyjne drobin. Znajomość otrzymanego w tych warunkach r_0 i momentu bezwładności drobin pozwala oszacować średnią wartość momentu kierującego, działającego na drobinę w badanym roztworze (A. Jabłoński). Pomiary, mające na celu otrzymanie tych wszystkich danych, zapoczątkowane zostały przez R. Bauera. Są one obecnie kontynuowane przez J. Heldta i H. Grudzińskiego, którzy postawili sobie poza tym za zadanie zbadanie wpływu oddziaływań międzydrobinowych na natężenia oscylatorów i na czasy świecenia drobin fluoryzujących (badają oni wpływ tych oddziaływań na czasy świecenia akryflawiny w homologicznym szeregu alkoholi).

Poza wspomnianymi wyżej czynnikami depolaryzującymi, występuje jeszcze jeden czynnik, nazwany przeze mnie „wstrząsem początkowym“. Przez

³ Anizotropia emisji $r = (I^{\parallel} - I^{\perp}) / (I^{\parallel} + 2I^{\perp})$ jest wielkością obecnie w naszej Katedrze używaną zamiast stopnia polaryzacji $P = (I^{\parallel} - I^{\perp}) / (I^{\parallel} + I^{\perp})$. (I^{\parallel} i I^{\perp} oznaczają natężenia składowych światła fotoluminescencji równoległej i prostopadłej do kierunku wektora elektrycznego liniowo spolaryzowanego światła wzbudzającego).

⁴ Podstawową anizotropią emisji nazywamy jej wartość, która byłaby obserwowana, gdyby w roztworze nie występowały żadne czynniki depolaryzujące fluorescencję.

wstrząs początkowy rozumiejąc towarzyszące na ogół aktowi absorpcji światła wzmocnienie ruchu oscylacyjnego drobiny luminezującej, jej ruchu jako całości oraz ruchu drobin bezpośrednio otaczających drobinę absorbującą. Część uzyskanej energii tych ruchów jest szybko rozpraszana w ośrodku w postaci fali sprężystej, pozostała część powoduje lokalne ogrzanie centrum fluorescencji (centrum fluorescencji = drobina luminezująca + drobin otaczające). Wzmocnienie wspomnianych ruchów powoduje zwiększenie prawdopodobieństwa obrotu drobiny luminezującej, przyczynia się więc do zwiększenia depolaryzacji fluorescencji. Efekt ten zależy musi od częstości światła wzbudzającego. Teoria zjawiska jest opracowywana (A. Jabłoński). Pomiary zależności anizotropii emisji różnych roztworów fluoryzujących od częstości światła wzbudzającego (E. Lisicki) dają krzywe o postaci zgodnej z przewidywaniami teorii.

W celu uzyskania dobrego źródła światła do wzbudzenia roztworów prowadzona jest praca nad skonstruowaniem lamp błyskowych o możliwie krótkim błysku i o widmie najbardziej zbliżonym do widma ciągłego (A. Bielski).

Prace nad fosforami krystalicznymi dotyczą wpływu warunków wytwarzania fosforów na tworzenie się centrów luminescencji i ich rodzaj, zmian wywołanych w fosforach przez ich naświetlanie szybkimi neutronami (w reaktorze „Ewa“), związku zachodzącego pomiędzy różnymi pułapkami elektronowymi a określonymi centrami, zjawiska przekazywania energii wzbudzenia od jednego rodzaju centrów do centrów innego rodzaju i zależności jasności elektroluminescencji od temperatury elektroluminoforu (A. Wrzesińska).

H. Łożykowski bada elektroluminescencję monokryształów ZnSe-Cu. Udało mu się otrzymać elektroluminescencję w przejściach *p-n*. Otrzymane przez niego diody wykazują efekt fotowoltaiczny.

Została podjęta praca na temat zależności elektroluminescencji ZnS od jego struktury (H. Męczyńska).

Badania fotoprzewodnictwa organofosforów (drobin barwników w szklistym kwasie borowym) doprowadziły do stwierdzenia występowania w nich fotoefektu wewnętrznego. Naświetlanie światłem nadfioletowym powoduje powstawanie fotoprądu o natężeniu stopniowo malejącym. Własności organofosforu ulegają zmianie (maleje wydajność fotoluminescencji). Ogrzanie tak zmienionego fosforu do temperatury ok. 100°C powoduje powrót jego do stanu normalnego z emisją słabej luminescencji (M. Czajkowski).

Prace nad półprzewodnikami nieorganicznymi prowadzone są głównie przez A. Bączyńskiego i M. Czajkowskiego (w ramach współpracy z PIE). Doprowadziły one do uzyskania wysokoczułych fotooporników, produkowanych obecnie na skalę przemysłową (patrz wstęp).

Praca M. Frąckowiaka otwiera nowy kierunek badań na naszym terenie — badania widm drobin dwuatomowych w stanie gazowym. M. Frąckowiak pracował w ciągu dwu lat w Physics Division of the National Research Council of Canada, kierowanym przez G. Herzberga. Po wykonaniu pracy wspólnej z Douglasem przystąpił on do badania (bez współpracowników) widma drobiny $^{15}\text{N}_2$. Otrzymany tam materiał doświadczalny jest obecnie

(w Toruniu) opracowywany. Jednym z celów pracy jest wyznaczenie energii predysocjacji drobiny $^{15}\text{N}_2$. Zgodnie ze wstępnymi obliczeniami, energia ta jest bardzo bliska wartości uzyskanej dla $^{14}\text{N}_2$.

Część prac Katedry ma charakter teoretyczny lub rachunkowy. Należy do nich obliczenie oscylacyjnych funkcji własnych i poziomów energetycznych V. d. waalsowskiej drobiny HgA (W. Berdowski). Z pracą tą wiąże się praca J. Fiutaka (z Katedry Fizyki Teoretycznej UMK) i M. Frąckowiaka, którzy obliczyli krzywe potencjalne dla atomu Hg w stanie 6^3P_1 + atom A w stanie normalnym 3^1S_0 . Skorygowali oni m. in. dotychczas błędnie przyjmowane przyporządkowanie tych (dwóch) krzywych potencjalnych liczbom kwantowym $\Omega = 1$ i $\Omega = 0^+$.

Do dziedziny teorii ciśnieniowego rozszerzenia linii widmowych należy zagadnienie, w jaki (nadający się do obliczeń numerycznych) sposób można obliczyć rozkład natężeń i przesunięcie linii widmowej atomu pochłaniającego lub emitującego światło, powstające dzięki oddziaływaniu z wieloma atomami zakłócającymi, jeżeli znany jest efekt wywołany przez pojedynczy atom zakłócający. Zagadnienie to zostało rozwiązane dla przypadku, w którym efekty wywołane przez poszczególne atomy zakłócające są dodajne (jak w przypadku oddziaływania V. d. Waalsa) (A. Jabłoński). Obliczenia numeryczne w oparciu o wyniki powyższej teorii dla linii Hg 2537 Å zakłóconej przez argon wykonywane są przez J. Kwiatkowskiego.

W Zespole Katedr Fizyki UMK powstała grupa „Chemii Kwantowej“, kierowana przez W. Woźnickiego (z Katedry Fizyki Teoretycznej). Do grupy tej należą niektórzy z pracowników Katedry Fizyki Doświadczalnej, a m. in. K. Jankowski, który ostatnio zakończył pracę na temat wpływu wzajemnego rozmieszczenia atomów N na widma sprotonowanych drobin benzenopochodnych.

Czytelnik obeznany z pracami, kierowanej przez Profesora Pieńkowskiego, Katedry Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego, dostrzeże łatwo, że znaczna część omówionych tu prac może być uważana za kontynuację prac z okresu międzywojennego Katedry Profesora Pieńkowskiego.

Leopold Jurkiewicz

Katedra Fizyki II Akademii Górniczo-Hutniczej
Instytut Techniki Jądrowej AGH
VI Zakład Instytutu Badań Jądrowych
Kraków

Zagadnienia geofizyki jądrowej w pracach Katedry Fizyki II AGH, Instytutu Techniki Jądrowej AGH i Krakowskiego Oddziału Zakładu VI IBJ

Artykuł ten poświęcam pamięci mego nauczyciela, Profesora Stefana Pieńkowskiego, który swym niezwykle czynnym życiem demonstrował na co dzień, jak można świetnie godzić zamiłowanie do czystej nauki z jej zastosowaniem do rozwiązywania zagadnień praktyki przemysłowej.

Wstęp

Fizyka jądrowa, jak rzadko która z nauk podstawowych, znalazła szybko drogę do zastosowań przemysłowych. Prace w tym kierunku zostały spopularyzowane w świecie w 1955 r. przez Konferencje Moskiewską i Genewską, poświęcone pokojowemu wykorzystaniu energii jądrowej. Pokazały one, że istnieją kolosalne możliwości użycia izotopów promieniotwórczych w różnych dziedzinach badań przemysłowych i w kontroli procesów technologicznych. Dzięki tym zastosowaniom przemysł ma możliwość znacznego nieraz poprawiania jakości produkcji i uzyskiwania dużych korzyści ekonomicznych.

Jednym z kierunków przemysłowego wykorzystania fizyki jądrowej jest tzw. geofizyka jądrowa, która najszerzej stosuje różne metody laboratoriów jądrowych, łącznie ze spektrometrią gamma i z techniką akceleratorów jonowych. Ta dziedzina nauki jest rozwijana obecnie w Instytucie Techniki Jądrowej AGH, który jest kontynuatorem prac z fizyki stosowanej, zapoczątkowanych w Akademii Górniczo-Hutniczej przez Katedrę Fizyki II.

Prace w omawianym zakresie zostały podjęte w naszym ośrodku z inicjatywy prof. M. Mięśowicza w 1948 r. Kierowana przez niego grupa pracowników naukowych mogła dość szybko, bo już w 1949 r., podać rozwiązanie aparatury pomiarowej, opartej na licznikach GM, dla tzw. karotażu gamma, dla prospekcji geofizycznej w przemyśle naftowym [17; 20-23].

Warto tu może zaznaczyć, że grupa ta wykorzystwała w dużej mierze swoje doświadczenia eksperymentalne, uzyskane w budowie aparatury do pomiaru promieniowania kosmicznego na dużych głębokościach pod ziemią.

Prace Katedry Fizyki II AGH w omawianym zagadnieniu przyśpieszyły o kilka lat rozwój prospekcyjnych metod radiometrycznych w Polsce. Metody te są obecnie u nas stosowane powszechnie w przemyśle naftowym, węglowym i w ograniczonym zakresie w przemyśle solnym. Na nich opierają się poszukiwania i eksploatacja rud uranowych.

Karotaż gamma

Jedną z metod uzyskiwania informacji geologicznej w poszukiwaniach odwiertowych jest prowadzenie tzw. wierceń rdzeniowych, które dostarczają próbek skalnych z całej głębokości otworu. Wiercenia takie są dość kosztowne i powolne. W niektórych partiach skalnych nie są one w stanie dostarczyć próbek z pełnej głębokości otworu. Dotyczy to np. skał, które się łatwo kruszą, czy ścierają, jak np. węgiel, karnalit itp. W tych niekorzystnych przypadkach zdarza się, że geolog uzyskuje nieraz poniżej 10% rdzenia z przewierconej skały.

Tę lukę zapełniają metody pomiarowe geofizyki prospekcyjnej. Pierwszą metodą użytą do tego celu i najczęściej dziś stosowaną, jest metoda karotażu elektrycznego, polegająca między innymi na pomiarze pozornego oporu właściwego skał i występującego w nich naturalnego potencjału elektrycznego. Metoda ta ma swoje ograniczenia i nie zawsze daje zadowalającą odpowiedź. Jak każda metoda prospekcyjna, daje ona odpowiedź obciążoną jakimś stopniem niepewności. Dlatego musi być stosowana w zespole z innymi metodami geofizycznymi, opartymi na pomiarze innych wielkości fizycznych, charakteryzujących skały. Taką uzupełniającą metodą w tym przypadku jest karotaż gamma.

Karotaż gamma opiera się na pomiarze naturalnego promieniowania γ skał otaczających otwór wiertniczy. Z licznych eksperymentów, przeprowadzonych w ostatnich paru dziesiątkach lat, wiadomo, że w określonym rejonie geologicznym skały charakteryzują się domieszkami promieniotwórczymi zawartymi w pewnych dość określonych granicach. Niektóre skały osadowe, jak np. anhydryt, węgiel kamienny, sól kamienna itp. są pod względem domieszek promieniotwórczych bardzo czyste, innymi słowy odznaczają się bardzo znikomą radioaktywnością, również wapienie, piaskowce, wapienie i piaskowce ilaste charakteryzują się na ogół niską radioaktywnością, lecz wyraźnie wyższą niż ta, jaką obserwujemy w przypadku pierwszym, podczas gdy inne skały, jak np. ily, łupki, sole potasowe, względnie skały zawierające w swym składzie minerały uranowe lub torowe, wykazują wysoką aktywność promieniotwórczą. Skały wybuchowe odznaczają się na ogół dość wysoką promieniotwórczością. Ich radioaktywność maleje przy przechodzeniu od skał kwaśnych do zasadowych.

Wykorzystując radioaktywność naturalną potasu, opracowano w Katedrze Fizyki II AGH metodę karotażu gamma dla podziemnych poszukiwań soli potasowych [2, 26, 29, 30].

Karotaż gamma rozwinął się znacznie dzięki ogromnemu postępowi w dziedzinie techniki pomiarowej laboratoriów jądrowych i stał się dziś jedną z podstawowych metod geofizyki poszukiwawczej. W zespole z innymi metodami prospekcji geofizycznej, głównie z karotażem elektrycznym, służy on obecnie do rozwiązywania wielu problemów poszukiwawczych.

Uzupełnia on i uściśla profile litologiczne odtwarzane na podstawie próbek rdzeni wiertniczych i na podstawie wyników karotażu elektrycznego. W wielu przypadkach pomiar dotyczący naturalnego promieniowania γ skał bywa jedynym źródłem informacji geofizycznej dla niektórych przewiercanych pokładów. Należy tu wspomnieć, że radioaktywny pokład skalny bywa bardzo pomocny przy stratygraficznej interpretacji pomiarów odwiertowych, jako tzw. horyzont przewodni. Ma to duże znaczenie przy przeprowadzaniu korelacji profili geologicznych dotyczących otworów wiertniczych przebijających badane złoża. Posługując się takim horyzontem przewodnim, możemy przeprowadzać korelację, o której mowa, dla otworów znajdujących się nieraz w znacznej odległości od siebie, dochodzącej do kilku kilometrów, zależnie od rozmiarów złoża.

Stwierdzono też, że metoda karotażu gamma może być użyteczna dla wstępnej lokalizacji stref okruszcowania przy poszukiwaniu rud miedzi [19].

W przypadkach, gdy otwór wiertniczy przebija warstwy solne, płuczka wypełniająca ten otwór ulega zasoleniu, wskutek czego wyniki pomiarów przeprowadzanych metodami karotażu elektrycznego obarczone są dużymi błędami. Metoda karotażu gamma jest wtedy nieodzowna.

Skały osadowe różnią się zawartością domieszek ilastych. Ponieważ wzrości ilości substancji ilastej w skale przepuszczalnej odpowiada zmniejszenie jej porowatości, przeto można oczekiwać, że pomiar natężenia promieniowania γ w skale otaczającej otwór wiertniczy, powinien dać informację o jej porowatości. W niektórych laboratoriach przeprowadzane są próby oznaczania położenia kolektorów ropy naftowej w oparciu o ilościową interpretację krzywych karotażu gamma.

Interpretacja ta w warunkach przemysłowych jest utrudniona przez szereg czynników, jak duża zmienność warstw geologicznych, zmienność średnicy otworu wiertniczego i związana z tym niejednorodność płaszcza cementowego poza rurami, zmienność gęstości płuczki w otworze itp.

Ilościowa interpretacja karotażu gamma wymaga oparcia się na dobrym opracowaniu teoretycznym samej metody. Obliczenia w tym zakresie, nawet po przyjęciu pewnych uproszczeń dla modelu matematycznego badanego otworu, są bardzo skomplikowane. Trzeba w nich uwzględnić wpływ różnych parametrów, jak wpływ średnicy otworu, średnicy sondy, długości detektora, miąższości warstw, szybkości ruchu sondy pomiarowej, stałej czasowej integratora impulsów, rodzaju płuczki w otworze itd. Obliczenia takie zostały przeprowadzone w Krakowskim Oddziale Zakładu VI IBJ. Dały one wyniki, które lepiej nadają się do praktycznego wykorzystania w przemyśle niż teorie

autorów zagranicznych. Prace w tym kierunku są kontynuowane przez nasz zespół [3, 4, 7-12, 14-16].

Rozumie się samo przez się, że interpretacja ilościowa oparta na dobrej bazie teoretycznej ma duże znaczenie dla praktyki geofizycznej. Umożliwia ona dokładniejszą ocenę zasobów surowców kopalnych wykrywanych przy pomocy karotażu gamma.

Dużą zaletą omawianej metody prospekcyjnej jest to, że może być ona stosowana zarówno w otworach niezarusowanych, jak i w otworach zarurowanych. Uwaga ta dotyczy zresztą większości stosowanych dziś w praktyce przemysłowej metod radiometrycznych. Ta cecha jest szczególnie ważna w przypadku badań starych otworów wiertniczych, dla których brak jest dokumentacji geologicznej, lub też musi być ona uaktualniona.

Karotaż gamma-gamma

Jako cenne uzupełnienie omawianej wyżej metody służy pomiar rozproszonego promieniowania gamma w skałach otaczających otwór wiertniczy. W tym wypadku opuszcza się wraz z sondą źródło sztuczne promieniowania gamma, np. Co^{60} lub Cs^{137} , ekranowane odpowiednio od detektora przy pomocy materiału o dużym ciężarze właściwym, np. ołowiu lub wolframu. Ponieważ za natężenie promieniowania gamma dochodzącego do detektora w efekcie rozproszenia w lekkim materiale, jakim jest większość skał osadowych, odpowiedzialny jest głównie efekt Comptona, przeto karotaż gamma-gamma daje nam w tym przypadku informację o średnim ciężarze właściwym badanych skał.

Najnowsze rozwiązania sond pomiarowych dla metody gamma-gamma idą w kierunku stosowania detektorów scyntylicyjnych, dobrego kolimowania promieni gamma wychodzących ze źródła, jak też docierających do detektora i silnego dociskania sondy do ściany otworu, by zapewnić możliwie stałą geometrię pomiaru. Urządzenie dociskające sondę do ściany otworu konstruuje się często tak, że służy ono równocześnie jako kalibromierz do ciągłej kontroli średnicy otworu. Sondę osłania się od strony płuczki grubą warstwą ciężkiego absorbenta dla wyeliminowania wpływu różnic gęstości płuczki na mierzony efekt na różnych głębokościach otworu.

Opisaną metodę zastosowaliśmy w 1958 r. w kopalni soli w Kłodawie do wyróżniania pokładów karnalitu od sylwinu. Wykorzystano tu okoliczność, że karnalit jest znacznie lżejszy od sylwinu i od soli kamiennej (ich gęstości wynoszą odpowiednio — 1,6; 2,0; 2,1 g/cm³) [5, 13].

Wykorzystaliśmy ją też do pomiarów gęstości gruntów. Ma ona szczególnie duże znaczenie w budownictwie wodnym dla badania gruntów sypkich, dla których trudno jest pobierać próbki o nienaruszonej strukturze. Omawiana metoda stosowana jest w tym przypadku w zespole z metodą neutron-gamma, o której mowa dalej. Zostały opracowane różne wersje przyrządów służących do pomiarów w specjalnych otworach wiertniczych, bądź też do

pomiarów na powierzchni. Metoda okazała się użyteczna dla bieżącej kontroli przy budowie zapór wodnych, nasypów drogowych, lotnisk, przy fundamentowaniu budowli itp. Dała też ona interesujące wyniki w kopalnictwie węglowym. Pozwala ona śledzić w niektórych przypadkach stan naruszenia równowagi górotworu przez eksploatację górnictwem [1, 18, 24, 25].

Metoda gamma-gamma znajduje w prospekcji geofizycznej liczne zastosowania. Daje ona między innymi możliwość:

a) wydzielenia stref porowatych w poszczególnych seriach geologicznych i oznaczania ilościowego porowatości interesujących nas skał,

b) dość dokładnego oznaczania zasobów ropy naftowej w łupkach bitumicznych w oparciu o wykorzystanie wysokiego stopnia korelacji między ich gęstością i wydajnością na produkcję ropy naftowej,

c) wydzielenia pokładów węgla kamiennego lub węgla brunatnego, jako znacznie lżejszych od przylegających do nich skał płonych. Ilościowy pomiar tą metodą pozwala oznaczać popielność węgla bezpośrednio w otworze wiertniczym,

d) ustalania położenia warstw rudnych zawierających ciężkie pierwiastki,

e) ustalania wysokości płaszcza cementowego za rurami w otworze wiertniczym i mierzenia ewentualnej niejednorodności tego płaszcza.

Jeśli chodzi o poszukiwania rud ciężkich metali, to stosowana jest modyfikacja omawianej metody, zwana selektywnym karotażem gamma-gamma. W metodzie tej spuszcza się do otworu wraz z sondą źródło miękkiego promieniowania gamma (np. Se^{75}). Na natężenie mierzonego rozproszonego promieniowania gamma wpływa w tym przypadku nie sam efekt Comptona, lecz w dużej mierze absorpcja fotoelektryczna w atomach ciężkich. Ponieważ efekt absorpcji silnie rośnie ze wzrostem liczby atomowej pierwiastka szukanego, przeto im cięższy jest pierwiastek szukany, tym mniejsza jego koncentracja daje efekt mierzalny na krzywej karotażowej. Obecność rud pierwiastków ciężkich w profilu geologicznym zaznacza się na krzywych pomiarowych w tej metodzie tym głębszymi minimami im większa jest koncentracja interesującego nas pierwiastka. W korzystnych warunkach geologicznych możliwa jest na tej drodze analiza ilościowa na szukany pierwiastek bezpośrednio w otworze wiertniczym. Analiza ta osiąga większą dokładność przez zastosowanie spektrometrii scyntylacyjnej.

Karotaż neutronowy $n-n$ i $n-\gamma$

Metody neutronowe znacznie poszerzają zakres stosowalności metod radiometrycznych w geofizyce przemysłowej. Podstawowym zjawiskiem dla tych metod jest oddziaływanie neutronów z materią skał otaczających otwór wiertniczy. W wyniku tego oddziaływania neutrony prędkie ze źródła ulegają stopniowemu spowolnieniu aż do energii ruchu cieplnego atomów, z którymi się zderzają. Spowalnianie to może zachodzić w zderzeniach sprężystych neutronów

z jądrami pierwiastków zawartych w skale lub w zderzeniach niesprężystych. W tym ostatnim przypadku neutron prędkie przekazuje jądrze znaczną część swej energii w jednym akcie oddziaływania jako energię wzbudzenia.

Dla oddziaływań neutronów o energii poniżej paru MeV z jądrami atomów skał osadowych główną rolę w termalizacji neutronów grają zderzenia sprężyste. Stermizowane neutrony kończą swój żywot w skale przez absorpcję w jądrami atomów materii, w której dyfundują. Absorpcji tej towarzyszy natychmiastowa emisja promieniowania γ , tzw. promieniowania wychwytu radiacyjnego neutronów termicznych. Emitowany jest jeden lub parę fotonów γ w kaskadzie o sumarycznej energii od 2 do 8 MeV. Należy pamiętać, że niektóre pierwiastki, jak bor, kadm, chlor, mangan, żelazo itd. bardzo silnie absorbują neutrony termiczne.

Jako źródła neutronów używamy przeważnie mieszanin berylu z pierwiastkami emitującymi cząstki α , a więc np. Ra + Be, Po + Be, Pu + Be itp. Ze względu na silne tło promieniowania γ źródła Ra + Be nie nadają się do prac geofizycznych w terenie. Najczęściej stosowane są źródła Po + Be, charakteryzujące się bardzo niskim tłem promieniowania γ . Minusem ich jest szybki zanik wydajności neutronów. Ostatnio zaczynają wchodzić w użycie źródła Pu²³⁹ + Be oraz Am²⁴¹ + Be o bardzo niskim tle promieniowania γ — emitują one praktycznie stałe w czasie strumienie neutronów.

Wszystkie wymienione źródła mają tę niedogodność, że ze względu na znaczne działanie biologiczne neutronów nie jesteśmy w stanie wprowadzać do otworów wiertniczych wystarczająco silnych źródeł dla rozwiązywania niektórych aktualnych zagadnień geofizyki poszukiwawczej, np. dla analizy aktywacyjnej. W związku z tym rozwija się w ostatnich latach technika akceleratorów jonowych dla prospekcji geofizycznej, opartych na rezonansowej reakcji jądrowej D + T, dającej monoenergetyczne neutrony o energii około 14 MeV.

Źródła izotopowe, o których mowa wyżej, dają neutrony o ciągłym widmie energii, sięgającym aż do około 10 MeV. Średnia energia tych neutronów zawarta jest w granicach 4-5 MeV.

Neutrony prędkie są najefektywniej spowalniane przez jądra wodoru. Dlatego też sonda neutronowa zawierająca detektor neutronów termicznych (w metodzie karotażu $n-n$) lub detektor fotonów γ (w metodzie karotażu $n-\gamma$), oddzielony odpowiednio ekranem ołowiowym od źródła neutronów prędkich, umieszczonego na jej końcu, pozwala nam wydzielać skały nasycone wodą, ropą naftową lub gazem ziemnym. Korzystamy tu z faktu, że skały bogate w wodór powodują szybszą termalizację neutronów prędkich, niż skały zawierające nieznaczne ilości tego pierwiastka lub całkowicie od niego wolne.

Sonda pomiarowa musi tu być, podobnie jak w metodzie gamma-gamma, dobrze dociskana do ściany otworu w trakcie wykonywania pomiaru. Korzystnie jest ekranować przy pomocy odpowiedniej osłony ołowiowej lub wolframowej źródło neutronów i detektor od wnętrza otworu. Zależnie od długości sondy

(odległość między źródłem neutronów i środkiem detektora) i porowatości skał nasyconych wodą lub ropą naftową sonda może wykazywać efekt ujemny (minima na krzywej pomiarowej dla sond długich) lub efekt dodatni (maksima na krzywej pomiarowej dla sond krótkich).

Opisana metoda $n-\gamma$ została przez nas zastosowana w kopalni soli w Kłodawie do rozróżniania karnalitu (uwodniona sól potasowa) od sylwinu (nieuwodniona sól potasowa) [2, 5, 13, 27]. Metodę $n-n$ zastosowaliśmy też do pomiarów wilgotności gruntów. Pozwala ona w zespole z metodą $\gamma-\gamma$ na ustalenie charakterystyki fizycznej gruntów z punktu widzenia badań inżynierskich [1, 6, 10, 21, 28].

Metody karotazu neutronowego w korelacji z metodami karotazu elektrycznego i karotazu gamma znajdują dziś zastosowanie przy rozwiązywaniu wielu zagadnień geofizycznych:

a) przy odtwarzaniu litologii skał w badanych otworach i przy korelacji przekrojów geologicznych w otworach zlokalizowanych w obrębie tego samego złoża,

b) przy oznaczaniu porowatości skał napelnionych ropą naftową lub gazem ziemnym i ocenie ich zasobów,

c) przy ustalaniu położenia kontaktu woda-ropa naftowa lub woda-gaz ziemny i przy kontroli zmian położenia tego kontaktu podczas eksploatacji złoża, gdy podścielające wody są silnie zmineralizowane (gdy zawierają ponad 200 g NaCl na litr),

d) przy poszukiwaniach wody dla celów pitnych i przemysłowych,

e) przy oznaczaniu popielności węgla bezpośrednio w otworze (korzystamy tu z metody $n-\gamma$, dzięki dość dobrej korelacji między ilością domieszek popielnych i natężeniem promieniowania γ z wychwyty w nich neutronów termicznych),

f) przy wykrywaniu i oznaczaniu ilościowym pierwiastków silnie pochłaniających neutrony termiczne.

Ze względu na dużą prostotę aparatury używanej w pomiarach metodą $n-\gamma$ jest ona częściej stosowana niż metoda $n-n$.

Spektrometria promieniowania gamma z wychwyty radiacyjnego neutronów termicznych

Metoda $n-\gamma$ nabiera ostatnio dużego znaczenia w związku z udanymi próbami pomiarów opartych na spektrometrii promieniowania γ z wychwyty radiacyjnego do analizy chemicznej na interesujące nas pierwiastki zawarte w skałach otaczających otwór wiertniczy. Ta nowa modyfikacja metody $n-\gamma$ pozwala na znaczne uściślenie interesującego nas profilu geologicznego odtwarzanego na podstawie badań geofizycznych.

W Instytucie Techniki Jądrowej AGH prowadzone są wstępne badania laboratoryjne dla opracowania metody prospekcji dla naszych rud żelaza, opartej na omawianej technice pomiarowej.

Odwiertowe generatory neutronów

Dla rozwiązywania niektórych zagadnień geofizycznych potrzebne są strumienie neutronów 10^7 - 10^9 n/sek. Niektóre wymagają stosowania strumieni impulsowych krótkotrwałych. Zmusza to technikę do szukania opracowań konstrukcyjnych akceleracyjnych generatorów neutronów. Chodzi tu o takie urządzenia, które bez trudu dałyby się wraz z sondą opuszczać do otworu wiertniczego.

Główną częścią składową tych urządzeń jest lampa akceleracyjna, w której zachodzi reakcja jądrowa $D + T$. Lampa ta, zaopatrzona w odpowiednie elektrody, jest wypełniona rozrzedzonym deuterem, który ulega zjonizowaniu w czasie jej pracy. Jony deuteru są przyspieszane przy pomocy wysokiego napięcia rzędu 100-150 kV, wytwarzanego przez specjalny generator, i trafiają w tarczę z cyrkonu lub tytanu nasyconą trytem. Oddzielny obwód elektronowy umożliwi przyspieszanie jonów w sposób ciągły bądź impulsowy. W pomiarach metodą aktywacji neutronowej niezbędne są strumienie ciągłe neutronów, w pomiarach opartych na promieniowaniu γ z nieelastycznego rozpraszania prędkich neutronów korzystnie jest mieć strumienie impulsowe neutronów o czasie trwania rzędu kilku μ sek i powtarzane paręset razy na sekundę.

W próbach laboratoryjnych i półtechnicznych są już urządzenia odwiertowe, dostarczające strumieni rzędu 10^7 - 10^{10} n/sek. Główną trudność stanowi tu przygotowanie tarcz o stałej w czasie wysokiej wydajności neutronów. Jednym ze sposobów poprawienia tej stabilności strumienia neutronów jest napełnienie lamp mieszaną gazową deuteru i trytu. Rozwiązanie konstrukcyjne lampy musi umożliwiać kontrolę stałości ciśnienia gazu, rzędu 10^{-4} mmHg.

W Instytucie Techniki Jądrowej AGH prowadzone są obecnie prace dotyczące konstrukcji generatora odwiertowego neutronów. Prowadzone są one we współpracy z Przemysłowym Instytutem Elektroniki we Wrocławiu.

Ten krótki przegląd aktualnie opracowywanych zagadnień geofizyki jądrowej stanowi, moim zdaniem, wystarczającą ilustrację użyteczności metod fizyki jądrowej dla prospekcji geofizycznej. Najbliższe lata przyniosą niewątpliwie dalsze ciekawe rozwiązania w tym kierunku.

Literatura

- [1] M. Borowczyk, J. Czubek, B. Dziunikowski, L. Jurkiewicz, J. Krzuk, J. Niewodniczański, B. Rossiński, A. Zuber, *Określanie wilgotności i ciężaru objętościowego gruntów syfkich in situ metodami radiometrycznymi*, Archiwum Inżynierii Lądowej, **7**, 193 (1961).
- [2] J. Czubek, B. Dziunikowski, L. Jurkiewicz, J. Krzuk, J. Niewodniczański, T. Owsiak, K. Przewłocki, A. Zuber, *Radioactive Well-Logging in Horizontal Boreholes for Prospecting for Potassium Salts*, Nukleonika, **3**, 112 (1958); Proceedings of the Second International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, **3**, 83 (1958).
- [3] J. Czubek, A. Zuber, *Uwagi na temat interpretacji krzywych profilowania gamma*, Acta Geophysica Polonica, **7**, 41 (1959).

- [4] J. Czubek, *Dokładność wyznaczania z karotażu gamma liniowych zasobów rud radioaktywnych*, Acta Geophysica Polonica, **8**, 206 (1960).
- [5] J. Czubek, B. Dziunikowski, L. Jurkiewicz, J. Krzuk, J. Niewodniczański, K. Przewłocki, Z. Werner, A. Zuber, *Kompleksowe profilowanie radiometryczne kierunkowych odwiertów kopalnianych za solami potasowymi*, Acta Geophysica Polonica, **8**, 73 (1960).
- [6] J. Czubek, J. Krzuk, A. Zuber, *Aparatura do określania wilgotności gruntów metodą neutronową*, Archiwum Hydrotechniki, **7**, 89 (1960).
- [7] J. Czubek, *Some Problems of the Theory and Quantitative Interpretation of the γ -Ray Logs*, Acta Geophysica Polonica, **9**, 121 (1961).
- [8] J. Czubek, *Accuracy of the Thickness Interpretation from the γ -Ray Logs*, Acta Geophysica Polonica, **10**, 137 (1962).
- [9] J. Czubek, *Quantitative Interpretation of the Static Anomalies of the γ -Ray Logs*, Nukleonika, **7**, 347 (1962).
- [10] J. Czubek, *Neutron-Neutron Well-Logging Theory. I. Epithermal Neutron Distribution in the Cylindrical Geometry*, Biuletyn IBJ, No 341/VI, 1962; Nukleonika, **7**, 745 (1962).
- [11] J. Czubek, *The Influence of the Drilling Fluid on the γ -Ray Intensity in the Borehole*, Acta Geophysica Polonica, **10**, 25 (1962).
- [12] J. Czubek, *The Natural γ -Ray Well-Logging for Density Logging Purposes*, Acta Geophysica Polonica, **10**, 217 (1962).
- [13] J. Czubek, B. Dziunikowski, L. Jurkiewicz, J. Krzuk, J. Niewodniczański, K. Przewłocki, Z. Werner, A. Zuber, *Application of Radiation Well-Logging in Prospection for Potassium Salts*, Proceedings of the Conference on Use of Radioisotopes in the Physical Sciences and Industry (Kopenhagen 6-17 Sept. 1960), **1**, 123 (1962).
- [14] J. Czubek, *Quantitative Interpretation of the γ -Ray Logs*, Prace Konf. Geofizyki Jądrowej, Kraków, 24-30. IX. 1962.
- [15] J. Czubek, *Application of the Natural γ -Ray Logs for Density Logging*, Prace Konf. Geofizyki Jądrowej, Kraków, 24-30. IX. 1962.
- [16] J. Czubek, *Quantitative Determination of Bed Parameters from γ -Ray Logs*, Nukleonika (w druku).
- [17] L. Dobrzyniecki, J. Hubicki, A. Mikucki, J. Ostaszewski, L. Jurkiewicz, Z. Wierzbicka, S. Kurzawa, S. Lubicz-Sulimirski, J. Maydell, M. Mięśowicz, J. Głogoczowski, *Profilowanie elektroniczne odwiertów naftowych. Pomiar natężenia naturalnego promieniowania γ . Dokumentacja techniczna odnosząca się do konstrukcji prototypu aparatury i metody pomiaru*, Instytut Naftowy (1951) (niepublikowane).
- [18] B. Dziunikowski, J. Niewodniczański, *Sonda do pomiaru ciężaru objętościowego gruntów sypkich*, Patent PRL Nr 45565, 1962.
- [19] J. Grabczak, J. Niewodniczański, *Promieniotwórczość naturalna rud miedzi ze złoza okręgu dolnośląskiego*, Nukleonika, **7**, 115 (1962).
- [20] L. Jurkiewicz, M. Mięśowicz, A. Mikucki, *A Geiger-Müller Counter Apparatus for γ -Ray Well-Logging*, Acta Geophysica Polonica, **1**, 187 (1953).
- [21] J. Krzuk, *Wpływ średnicy odwiertu na wskazania sondy neutronowej do pomiarów wilgotności gruntów*, Prace Konf. Geofizyki Jądrowej, Kraków, 24-30. IX. 1962.
- [22] M. Mięśowicz, *Badanie promieniotwórczości skał w odwiertach naftowych*, Prace Głównego Instytutu Naftowego, Nr 1 (1950).
- [23] M. Mięśowicz, L. Jurkiewicz, A. Mikucki, *Aparatura do profilowania gamma w odwiertach naftowych z rejestracją ciągłą*, Prace Głównego Instytutu Naftowego, Nr 4 (1951).
- [24] J. Niewodniczański, B. Dziunikowski, *Zastosowanie źródeł promieniowania γ do określania niektórych własności fizycznych gruntów sypkich*, Archiwum Hydrotechniki, **7**, 101 (1960).
- [25] J. Niewodniczański, B. Dziunikowski, *Oznaczanie ciężaru objętościowego gruntów metodą gamma-gamma*, Prace Konf. Geofizyki Jądrowej, Kraków, 24-30. IX. 1962.

- [26] K. S. Przewłocki, *Poiski kalijnych solej radioaktywnymi metodami*, art. w książce *Razwiedka i razabotka poleznych iskopajemych* Gostoptechizdat, 1958.
- [27] K. S. Przewłocki, *Poiski kalijnych solej w Polsce radiometryczeskimi metodami*, art. w książce *Jadiernaja geofizika pri poiskach poliezných iskopajemych*, Gostoptechizdat, 1960.
- [28] K. Przewłocki, *Studia modelowe metod neutronowych dla oznaczania wilgotności piasków*, Prace Konf. Geofizyki Jądrowej, Kraków, 24-30. IX. 1962.
- [29] K. Przewłocki, Z. Buja, L. Jurkiewicz, J. Poborski, *An Attempt of a Radioactive Characteristic of the Zechstein Salt Series in Kujawy*, *Acta Geophysica Polonica*, 4, 5 (1956).
- [30] K. Przewłocki, J. Krzuk, L. Jurkiewicz, T. Owsiak, *Aparatura do profilowania naturalnego promieniowania β i γ w poziomych odwiertach dla poszukiwań soli potasowych*, *Acta Geophysica Polonica*, 5, 283 (1957).

Witold Majewski

Politechnika Warszawska
Katedra Fizyki Elektronowej

O pracach Katedry Fizyki Elektronowej Politechniki Warszawskiej

Wstęp

Lata młodości, kiedy wszystko wydaje się piękne i proste, wspomina się zawsze z przyjemnością. Bywają jednak specjalnie wyróżniające się okresy, do których wracamy myślą chętniej i częściej. Takim okresem jest dla mnie przeszło osiemnastoletnia praca w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego, dokąd przybyłem jako student, i gdzie potem zajmowałem kolejno stanowiska od zastępcy asystenta do prowadzącego studencką I Pracownię Fizyczną.

Urlopowany bezterminowo z wojska w 1921 r. wznowiłem studia uniwersyteckie po prawie sześciolietniej przerwie wojennej.

Kierownikiem Zakładu Fizyki Doświadczalnej UW był wówczas młody, niedawno przybyły z Liège, Profesor Stefan Pieńkowski, cieszący się już dużym uznaniem sfer naukowych w kraju i za granicą. Pełen niewyczerpanej energii, doskonały organizator, entuzjasta pracy w służbie nauki, przystąpił do tworzenia niemal od podstaw poważnej placówki naukowej na skalę światową.

Znalazłem się wtedy w gronie młodych, w większości nieco młodszych ode mnie studentów, których skupił wokół siebie Profesor Pieńkowski. Swoją zapał, oddanie się pracy i ambicje osiągnięcia jak najszybciej jak najlepszych rezultatów potrafił przekazać wszystkim swym współpracownikom, świecąc sam przykładem całkowitego oddania się pracy naukowej i pedagogicznej.

Niezwykłej atmosferze panującej w Zakładzie ulegali też studenci rozmaitych wydziałów luźno związani z Zakładem, bo słuchający tu tylko wykładów fizyki i odrabiający ćwiczenia w I Pracowni Fizycznej. Gdy w innych zakładach uniwersyteckich zarzucano często studentom nieodpowiednie zachowanie się, nieprzestrzeganie przepisów porządkowych, brak poszanowania przyrządów, w Zakładzie na Hożej było inaczej. Nawet słuchacze Akademii Stomatologicznej wyróżniający się hałaśliwością, tutaj cichli, by nie przeszkadzać w pracy naukowej. Ogólnie wiadomo było na Uniwersytecie, że na Hożę nie wolno się spóźniać, że wszystkie zarządzenia i terminy muszą być ściśle przestrzegane. I tak też było.

W początkowym okresie istnienia Zakładu, gdy gmach nie był jeszcze wykończony i wyposażony, nie było też odpowiedniej liczby laborantów. Pamiętam, że wiele prac, które zasadniczo winni byli oni wykonywać, wykonywali asystenci i doktoranci; nie było nigdy szemrań ani sprzeciwów, nikomu nie przyszło do głowy zastanawiać się czy to do jego obowiązków należy, czy nie; trzeba było zrobić — robiło się z ochotą.

Specjalną uwagę zwracał Profesor na systematyczność pracy i punktualność. Codziennie rano obchodził wszystkie pracownie naukowe, pytał o bieg pracy, radził, dyskutował. Gdy nie zastawał kogoś, kto o tej porze powinien był być, zostawiał karteczkę z godziną wizyty i swymi inicjałami. Jeśli zdarzyło się, że na którymś stole laboratoryjnym lub na jakimś przyrządzie dostrzegł warstewkę kurzu, zaraz pojawiały się na niej pociągnięte palcem litery SP. To wystarczało.

Wynikiem atmosfery panującej w Zakładzie było złe samopoczucie każdego, kto nie przyszedł do pracy, czy wychodził wcześniej niż zwykle. A praca w Zakładzie często wrzała do późnych godzin wieczornych.

Bardzo wymagający, miał Profesor do swych uczniów bezpośredni, przyjacielski, prawie że ojcowski stosunek. Odnosiło się wrażenie, że cały zespół uczniów chciał traktować jako jedną rodzinę, mającą wspólne zainteresowania i dążenia.

Niechętnie widział, gdy ktoś wykazywał jakieś inne zainteresowania. Mnie np. pociągała od młodych lat technika; okazywałem to szukając w czasie swej pracy w Zakładzie kontaktów z instytutami technicznymi. Profesor odnosił się krytycznie do mego zamiaru współpracy z techniką; mówił, że politechniki traktują fizykę — królową nauk — wyłącznie jako przedmiot usługowy, nie rozumiejąc jej zasadniczego dla techniki znaczenia.

Podziwu godna była niespożyta energia Profesora, niezrażanie się i nie załamywanie pod naporem przeciwności i trudności zdawałoby się nie do przewyciężenia. Z taką samą jak w 1919 r. młodzieńczą energią i zapałem przystąpił w 1945 r. po raz wtóry do organizowania znów od podstaw zniszczonego zupełnie przez hitlerowców Zakładu, który w krótkim czasie w większej skali odbudował już jako Instytut Fizyki Doświadczalnej UW.

Nabyte w czasie pracy pod kierunkiem Profesora S. Pieńkowskiego doświadczenia starałem się bardziej lub mniej skutecznie wprowadzić w życie w czasie mej samodzielnej pracy. Jakże słuszne okazały się słowa Profesora: „Nauka to kapryśna pani, której służyć nie łatwo“.

O pracy w Katedrze Fizyki Elektronowej

Rozwój urządzeń elektronowych w czasie drugiej wojny światowej spowodował konieczność wprowadzenia do programów politechnik nowego przedmiotu wykładowego — elektroniki. Trzeba było ustalić zakres tych wykładów, zorganizować odpowiednie pracownie.

W sierpniu 1946 r. została utworzona dekretem Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego Katedra Elektroniki, przemianowana później na Katedrę Fizyki Elektronowej, z jednym etatem samodzielnego i jednym pomocniczego pracownika nauki. Dopiero we wrześniu 1948 r. Katedra uzyskała w odbudowywanym Gmachu Fizyki niewielkie pomieszczenie, początkowo bez ogrzewania, bez wody i bez instalacji elektrycznej. W roku 1949 w warunkach prymitywnych rozpoczęto w Zakładzie prace badawcze nad właściwościami i produkcją prostowników miedziawych. Taki kierunek badań wysunął się w związku z nieudanymi próbami uruchomienia przemysłowej produkcji tych prostowników. Wyniki badań były referowane na Zjazdach Fizyków Polskich i ogłoszone w kilku artykułach.

Obciążenie pracą dydaktyczną i konieczność zorganizowania studenckiej Pracowni Fizyki Ciała Stałego przerwały na pewien czas te prace.

W końcu 1959 r. podjęto badania elektrycznych właściwości pewnych związków organicznych. Są nimi związki aromatyczne i wielkocząsteczkowe, które mogą ewentualnie znaleźć zastosowanie w technice jako izolatory, termopory i fotoopory o dużym oporze właściwym. Szeregu informacji o mikrostrukturze substancji dielektrycznych mogą dostarczyć pomiary ich przewodnictwa prądem stałym i zmiennym w funkcji temperatury oraz zależność kąta stratności i stałej dielektrycznej od częstości i temperatury. Wyniki tych badań mogą dać też odpowiedź na pytanie, jakie zanieczyszczenia wpływają silnie na niestabilność izolatorów oraz jaka struktura materiału nadaje się najlepiej do otrzymania dielektryków o dużej stabilności. Badanie mechanizmu przewodnictwa elektrycznego tych związków może mieć też znaczenie dla zagadnień biofizyki, dotyczących transportu energii w żywej komórce [1].

Związki aromatyczne rozpatrywane są w literaturze w dwojaki sposób: jako dielektryki ze względu na wartość oporności właściwej, przewyższającą $10^{10} \Omega\text{cm}$, oraz jako półprzewodniki organiczne, bo ich przewodnictwo elektryczne wzrasta z temperaturą [2, 3, 4, 5, 6, 7].

Podjęte prace polegały na otrzymaniu krzywych temperaturowych strat dielektrycznych (pomiary prądem zmiennym) i krzywych temperaturowych oporu omowego (pomiary prądem stałym) dla związków aromatycznych. Dla uzupełnienia danych dotyczących strat dielektrycznych badano też zależność kąta stratności i stałej dielektrycznej od częstości przyłożonego pola elektrycznego.

Początkowe pomiary dotyczyły związków niepolarnych jak antracen oraz polarnych pochodnych aromatycznych sześciornitroazobenzenu i nitroantrachinonu.

Opracowano metodę oczyszczania tych związków z resztek elektrolitów i zanieczyszczeń obcych. W tym celu badaną substancję, dokładnie oczyszczoną, poddawano przemywaniu wodą destylowaną przez około 100 godzin, po czym suszono ją pod próżnią i, jeżeli to było możliwe, sublimowano kilkakrotnie w próżni. Tak otrzymany proszek prasowano pod ciśnieniem kilku tysięcy atmosfer na okrągłe

wypraski. Z wyprasek tych składano kondensatorki o elektrodach z folii cynowej lub aluminiowej.

Wstępne pomiary dotyczyły kąta stratności i pojemności tych kondensatorków w zależności od temperatury. Wykonywano je mostkiem różnicowym przy częstotliwości 800 Hz oraz Q -metrem w zakresie częstotliwości od 10^4 do 10^8 Hz. Wszystkie próbki wykazywały pod wpływem temperatury duży wzrost kąta stratności. Natomiast wzrost pojemności z temperaturą, nie przewyższający średnio 5% (wartość ta nieznacznie przekraczała błąd pomiaru), zaobserwowano tylko dla częstotliwości 800 Hz.

Dokładniejsze dane uzyskano po zastosowaniu miernika strat, który dawał większą dokładność wyników. W zakresie częstotliwości od 10^5 do 10^7 Hz mierzono nim straty mocy w zależności od temperatury i częstotliwości w kondensatorze pomiarowym, którego dielektryk stanowiła badana substancja.

Odkładając na osi rzędnych $\text{Intg } \delta$ (δ — kąt stratności), a na osi odciętych odwrotność temperatury bezwzględnej $\frac{1}{T}$ otrzymano proste, które wskazują, że ze wzrostem temperatury straty mocy w dielektryku rosną wykładniczo. W takim razie tangens kąta stratności można opisać równaniem

$$\text{tg } \delta = A \exp \left(- \frac{\Delta E}{kT} \right),$$

gdzie A jest pewną stałą, a ΔE energią aktywacji. Tablica I zawiera wyniki otrzymane dla antracenu.

Tablica I

Substancja	Częstość [Hz]	ΔE [eV]
antraceni polikrystaliczny	$8 \cdot 10^3$	tg δ szybko wzrasta
	$1 \cdot 10^5$	1,6
	$1 \cdot 10^6$	1,05
	$1 \cdot 10^7$	0,85
	prąd stały	0,82 [8]

Jak z przytoczonych danych widać, wartość ΔE uzyskana dla antracenu z krzywej $\text{Intg } \delta = f \left(\frac{1}{T} \right)$ dla częstotliwości 10^7 Hz jest równa wartości ΔE_1 dla antracenu, obliczanej w literaturze z zależności przewodnictwa omowego σ_{DC} (DC oznacza prąd stały) z równania $\sigma_{DC} = B \exp \left(- \frac{\Delta E_1}{kT} \right)$. Takie same zgodności energii aktywacji z krzywymi temperaturowych przewodnictwa omowego i tangensa kąta stratności opisane są w literaturze dla ftalocjaniny i kompleksów molekularnych [8].

Krzywe temperaturowe stratności badanych substancji w zakresie częstotliwości radiowych i dla temperatur od 20 do 150°C nie mają maksimumów. W badanym

zakresie częstości stratność antracenu maleje, a stała dielektryczna nie ulega zmianie w granicach błędu doświadczalnego (5%).

Zgodność wartości otrzymanych z pomiarów $\operatorname{tg} \delta$ i oporu omowego σ_{DC} w funkcji odwrotności temperatury, niemierzalnie małe zmiany stałej dielektrycznej z temperaturą i częstością oraz fakt, że krzywa $\operatorname{tg} \delta = f\left(\frac{1}{T}\right)$ nie przechodzi przez maksimum, wszystko to razem pozwala przypuszczać, że powyżej częstości 10^7 Hz zmiany temperaturowe stratności związane są już tylko z procesem przewodnictwa omowego.

Jeżeli tg kąta stratności opisuje straty spowodowane przewodnictwem omowym σ_{DC} i procesami relaksacyjnymi σ_{AC} (AC oznacza prąd zmienny), to $\operatorname{tg} \delta = C(\sigma_{DC} + \sum \sigma_{AC})$. Dla częstości $\nu > \nu_0$, gdzie ν_0 jest częstością relaksacji

$$\operatorname{tg} \delta_{\nu > \nu_0} \rightarrow C \cdot \sigma_{DC} \rightarrow A \exp\left(-\frac{AE_1}{kT}\right).$$

Wydaje się, że przy częstościach $\geq 10^7$ Hz i dla temperatur wyższych od 20°C , zmiany kąta stratności w kryształach związków aromatycznych opisują równocześnie zmiany oporu omowego, mierzonego prądem stałym.

Podobne charakterystyki temperaturowe kąta stratności, które wiążą się ze stratami na przewodnictwo omowe, wykazują też inne kryształy, np. halogenki alkaliczne w wysokich temperaturach (powyżej 300°C) przy dużych częstościach [9, 10, 11] oraz ferryt o składzie NiFe_2O_4 [12]. Dla dielektryków polarnych, wykazujących straty relaksacyjne, krzywe temperaturowe $\operatorname{tg} \delta = f\left(\frac{1}{T}\right)$ mają maksima odpowiadające częstości relaksacji, a ich stała dielektryczna w funkcji częstości maleje [13, 14].

Mierzenie przewodnictwa omowego poprzez kąt stratności miałyby szereg zalet eksperymentalnych. Na taki pomiar nie mają bowiem wpływu efekty polaryzacyjne i kontaktowe, które na ogół bardzo zaciemniają obraz otrzymany z pomiarów dokonanych prądem stałym.

Ostateczne stwierdzenie zgodności temperaturowego przebiegu stratności przy dużych częstościach i przewodnictwa omowego dla kryształów związków aromatycznych wymaga dalszych badań dla większej liczby różnych substancji organicznych oraz dokładnej, ilościowej analizy wyników.

Ze względu na teoretyczne i techniczne znaczenie związków wielkocząsteczkowych (budowa białek i struktura izolatorów) podjęto również badania substancji makrocząsteczkowych zbudowanych z pierścieni aromatycznych. Przeprowadzono wiele syntez takich ciał o strukturze szklivi. Spośród nich wybrano polistyren (w skład jego makrocząsteczek wchodzi pierścienie benzenowe) oraz żywice zsyntezowane w Katedrze na podstawie danych literaturowych; w skład ich makrocząsteczek wchodzi antracen, aminonaftalen i nitroaminaftalen. Są to szklivi o barwie żółtej lub brunatnej, fluoryzujące pod wpływem nadfioletu. Ich szczegółowa struktura nie jest znana.

Okazało się, że żaden z badanych związków wielkocząsteczkowych nie wykazywał zmian kąta stratności o charakterze wykładniczym w zakresie temperatur od 15°C do 60°C.

Natomiast ciekawe właściwości wykazywały roztwory stałe związków wielkocząsteczkowych otrzymane przez zmieszanie roztworów dwu wybranych żywic i odparowanie rozpuszczalnika. Otrzymano w ten sposób jednolite substancje o barwie przesuniętej ku czerwieni, niefluoryzujące. Takie mieszaniny żywic wykazywały wykładniczy wzrost strat ze wzrostem temperatury, analogicznie do kryształów związków aromatycznych. A więc z dwóch związków wielkocząsteczkowych, z których żaden nie wykazywał wykładniczych zmian stratności z temperaturą otrzymano substancje o cechach analogicznych do kryształów aromatycznych, nazywanych w literaturze półprzewodnikami organicznymi. Charakterystyczne jest, że tej cechy nie wykazywały mieszaniny żywic z polistyrenem ani próbki otrzymane przez mechaniczne wymieszanie dokładnie sproszkowanych żywic.

Na podstawie dotychczasowych wyników można podzielić badane przez nas substancje organiczne na dwie grupy:

I. Substancje, których straty mocy rosną wykładniczo z temperaturą.

II. Substancje, w których nie stwierdzono wykładniczych zmian strat w zależności od temperatury.

Do grupy I należą kryształy aromatyczne, antraceni i sześciornitroazobenzen, zaliczane w literaturze do półprzewodników organicznych oraz roztwory stałe wybranych związków wielkocząsteczkowych (żywicy antraceniowej lub aminonaftalenowej z żywicą nitroaminonaftalenową). Do grupy II należą badane związki wielkocząsteczkowe, mieszaniny polistyrenu z żywicami oraz mieszaniny mechaniczne żywic.

Wydaje się, że fakt wystąpienia owych charakterystycznych strat w dielektrykach organicznych jest związany zarówno ze strukturą samej cząsteczki, jak i rodzajem oraz wielkością sił międzycząsteczkowych. Szczególnie ważną rolę odgrywają one w przypadku ciał bezpostaciowych.

Przedstawione wyniki stanowią pierwszy etap badań i będą podstawą dalszych poszukiwań możliwości przygotowywania materiałów organicznych o z góry zadanych właściwościach półprzewodnikowych i dielektrycznych.

Na zakończenie można by jeszcze wspomnieć, że przeprowadzono jakościowe próby badania właściwości kontaktu ostrzowego metal-dielektryk. Obserwowano metodą oscyloskopową krzywe prądowo-napięciowe kontaktu ostrzowego na cienkiej warstwie dielektryka. Otrzymane krzywe były symetryczne dla obu kierunków prądu, a każda gałąź przypominała charakterystykę zmian oporu dielektryka pod wpływem natężenia pola elektrycznego. Doświadczenia przeprowadzono przy napięciu 1,2 V na warstewkach grubości około 1 μ . W przeciwieństwie do takich wyników dla dielektryków, analogicznie otrzymane krzywe prądowo-napięciowe dla półprzewodników są asymetryczne. Ze względu na trudności eksperymentalne nie udało się jeszcze otrzymać krzywej dla kryształów aromatycznych.

Literatura

- [1] A. Szent György, *Nature*, **148**, 157 (1951).
- [2] K. Gumiński, *Rocz. Chem.*, **31**, 255 (1957).
- [3] K. Pigoń, *Rocz. Chem.*, **29**, 939 (1955).
- [4] D. D. Eley, H. Inoguchi, M. R. Willis, *Trans Faraday Soc.*, **28**, 54 (1959).
- [5] A. Bree, A. Carswell, L. Lyons, *J. Chem. Soc.*, June, 1728 (1955).
- [6] N. Riehl, *Ž. Fiz. Chim.*, **6**, 959 (1955).
- [7] H. Inoguchi, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **24**, 222 (1951).
- [8] D. D. Eley, G. O. Parfitt, *Trans Faraday Soc.*, **51**, 1529 (1955).
- [9] K. Bodonjanow, G. Golikina, *Fizika dielektrikow*, I.A.N., 1958.
- [10] R. G. Brikendridge, *Imperfection in Nearly Perfect Crystals*, J. Wiley, 1950.
- [11] B. N. Maconaszwili, G. I. Skanawi, *Fizika dielektrikow*, I.A.N., 1960.
- [12] Smit Wijn, *Ferrites*, Philips Tech. Library, 1959.
- [13] R. M. Fuoss, I. G. Kirkwood, *J. Amer. Chem. Soc.*, **63**, 385 (1941).
- [14] K. Bodonjanow, G. Golikina, *Fizika dielektrikow*, I.A.N., 1958.

Ludwik Natanson

Inżynier Biadań Jądrowych
Świerk

Reaktor jako narzędzie badawcze fizyki jądrowej

Patrząc na działalność Stefana Pieńkowskiego z perspektywy dziesięciolecia, jakie upłynęło od jego śmierci, lepiej możemy sobie uświadomić wagę jego zasługi jako twórcy i kierownika pierwszej w Polsce wielkiej szkoły fizyków. Jego uczniowie (a ostatnio już i uczniowie jego uczniów) odgrywają niemałą rolę w rozwoju naszej fizyki.

Postępy osiągnięte obecnie w wielu gałęziach fizyki doświadczalnej są w dużej mierze plonem z gleby przez niego zasianej i uprawianej. Odnosi się to również do prac, które są tematem poniższego artykułu.

Sądzę więc, że będzie rzeczą słuszną i godną, aby artykuł ten był dedykowany pamięci Stefana Pieńkowskiego.

* * *

W grudniu ubiegłego roku upłynęło dwadzieścia lat od chwili, kiedy pierwszy reaktor jądrowy zbudowany w Chicago przez Enrico Fermi i jego współpracowników osiągnął stan krytyczny. Było to jedno z najbardziej doniosłych wydarzeń w dziejach, w cieniu którego bezpośrednich i pośrednich następstw teraz żyjemy.

Znaczenie reaktorów wynika z ich ważności w aspekcie problemów politycznych, militarnych, ekonomicznych i technicznych, a dla fizyki jako narzędzia badań struktury ciał stałych i cieczy, oraz jako przedmiotu nowej gałęzi fizyki, jaką jest fizyka reaktorowa. Może się wydać nieco paradoksalne, że rola reaktorów w rozwoju fizyki jądrowej w ścisłym sensie jest stosunkowo mniejsza.

Z punktu widzenia fizyki doświadczalnej reaktor jądrowy jest przede wszystkim źródłem silnych strumieni neutronowych. Gęstość strumienia neutronowego zależy od typu reaktora, a w danym reaktorze — od miejsca. Te same czynniki, to jest budowa reaktora i lokalizacja urządzenia pomiarowego decydują o widmie energetycznym neutronów. Z reguły widmo energetyczne neutronów wychodzących z reaktora ma charakter zbliżony do widma określonego przez rozkład Maxwella, przy założeniu, że temperatura gazu neutro-



Profesor Pieńkowski na Konferencji fizyków w Spale w 1952 r.
(od lewej: J. Pniewski, T. Kopcewicz, S. Pieńkowski, L. Natanson, H. Niewodniczański)

nowego jest (dla najbardziej rozpowszechnionych typów reaktorów) rzędu paruset stopni K. W przedziale energii wyższych, przekraczających energię najbardziej prawdopodobną, rozkład widmowy neutronów często odchyła się od rozkładu ściśle maxwellowskiego w kierunku nadmiaru neutronów tych wyższych energii.

Reaktor jądrowy może być wykorzystany do wytwarzania nuklidów promieniotwórczych albo na drodze jądrowego wychwytu neutronów, albo przez chemiczną ekstrakcję produktów rozszczepienia. Analiza strukturalna ciał stałych i cieczy oparta jest głównie na badaniach dyfrakcji, a więc zjawiska, w którym istotna jest spójność promieniowania neutronowego w jego aspekcie falowym.

Naszym zamierzeniem jest przedstawienie w bardzo ogólnym zarysie niektórych zagadnień oddziaływania neutronów z jądrami atomowymi.

Badania doświadczalne w zakresie fizyki jądrowej prowadzone są przeważnie następującym sposobem: wiązka określonych cząstek kierowana jest na daną tarczę i przedmiotem obserwacji jest albo ubytek cząstek z wiązki (pomiar pochłaniania), albo cząstki wysyłane z tarczy — ich obfitość, rozkład kierunkowy, energia, polaryzacja oraz korelacje między tymi wielkościami. Zjawisko, w którym cząstki wychodzące z tarczy są takie same jak cząstki na nią padające, nazywamy rozproszeniem. Odróżniamy dwie odmiany tego zjawiska: rozproszenie sprężyste i rozproszenie niesprężyste. W rozproszeniu sprężystym jądra tarczy biorące udział w oddziaływaniu doznają jedynie zmiany wartości pędu, natomiast ich końcowy stan wewnętrzny jest identyczny z początkowym.

Musi więc obowiązywać zasada zachowania energii kinetycznej. W rozproszeniu niesprężystym jądra tarczy zmieniają również swój stan wewnętrzny kosztem części energii kinetycznej cząstek rozpraszanych. Rozproszenie niesprężyste możliwe jest tylko, jeżeli energia cząstek padających jest wystarczająca, aby przeprowadzić cząstki tarczy do stanu wzbudzonego.

Zjawiska, w których tarcza wysyła cząstki inne niż cząstki na nią padające noszą ogólną nazwę reakcji jądrowych.

Przedstawimy tu krótko niektóre kierunki badań prowadzonych w Pracowni Reakcji Jądrowych III Zakładu I^A Instytutu Badań Jądrowych w Świerku nad oddziaływaniami neutronów reaktorowych z jądrami atomowymi.

Badania te dotyczą pochłaniania rezonansowego, rozszczepienia jądrowego i czasów życia izomerów jądrowych.

Przez pochłonięcie neutronu jądro atomowe doznaje przemiany w jądro izotopu z liczbą masową zwiększoną o jednostkę. W bilansie energii takiego procesu należy uwzględnić nie tylko energię kinetyczną wnoszoną przez neutron, ale również energię wiązania neutronu w nowo utworzonym jądrze. Energia wiązania nukleonu w jądrze w większości przypadków wynosi 6 do 8 MeV. Jądro powstające w drodze wychwytu neutronu jest z reguły w stanie wzbudzone. Deekscytacja następuje przez emisję jednego lub kolejno paru fotonów γ .

Energia kinetyczna neutronów używanych w tych badaniach jest rzędu kilku lub kilkadziesiąt eV, a więc bardzo niska w stosunku do energii wiązania. Niemniej ma ona bardzo istotny wpływ na prawdopodobieństwo wychwytu. Potwierdzona wynikami doświadczalnymi teoria przewiduje, że prawdopodobieństwo wychwytu neutronu osiąga maksimum, kiedy energia jego (wraz z energią wiązania) dokładnie wystarcza na utworzenie nowego jądra w jednym z możliwych jego stanów wzbudzonych. Dlatego pochłanianie takie nazywa się pochłanianiem rezonansowym. Daje to nam możliwość precyzyjnego badania układów jądrowych poziomów energetycznych na podstawie obserwacji widma pochłaniania neutronów. Chodzi więc o pomiar zależności ubytku neutronów przy przechodzeniu wiązki przez tarczę od ich energii.

Jak już wspominaliśmy, reaktor jest źródłem neutronów o energiach rozłożonych w sposób ciągły w szerokim przedziale. Trzeba więc zastosować metodę wydzielenia neutronów o określonych energiach. Do tego celu służą tak zwane mechaniczne selektory prędkości. W istocie rzeczy selektor wbrew swojej nazwie sam przez się nie wybiera neutronów danej energii, ale stanowi ważny element układu działającego na zasadzie metody „czasu przelotu“.

Typowy selektor zawiera żelazny cylinder wprawiony w szybki ruch obrotowy dookoła swojej osi geometrycznej. Oś ta ustawiona jest prostopadle do kierunku wiązki neutronowej. Również prostopadle do osi cylindra wycięte są w nim wąskie szczeliny. Cylinder żelazny skutecznie przeszkadza przechodzeniu neutronów, dla których wolna droga otwiera się jedynie w krótkich okresach czasu, kiedy szczeliny przyjmują kierunek wiązki neutronowej. Z selektora wychodzi więc wiązka przerywana (stąd popularna nazwa angielska tego

urządzenia — „chopper“) złożona z krótkich odcinków czy pakietów neutronów opuszczających selektor niemal jednocześnie. Do detektora umieszczonego w pewnej odległości od wylotu selektora neutrony te przybywają wcześniej lub później, zależnie od swojej prędkości. Z detektorem neutronów współpracuje elektronowy analizator czasu sprzężony z selektorem. Analizator notuje opóźnienia neutronów rejestrowanych przez detektor względem chwili opuszczenia przez nie selektora: Porównując wyniki takiego pomiaru w przypadku, kiedy wiązka neutronowa pada wprost z selektora na detektor z wynikami otrzymanymi, kiedy przechodzi ona przez warstwę pochłaniającą badanej substancji, można uzyskać informacje o zależności prawdopodobieństwa wychwytu neutronów od ich energii, co, jak wiemy, daje nam wgląd w strukturę jądrowych poziomów energetycznych. Na ogół te poziomy w określonych jądrach są w pewnych przedziałach energii wyraźnie rozdzielone (co objawia się w postaci ostrych maksimów pochłaniania), w niektórych zaś zlewają się ze sobą, kiedy odległość między poziomami spada poniżej ich naturalnych szerokości.

Rozszczepienie ciężkich jąder jest zjawiskiem interesującym nie tylko ze względu na swoje znaczenie dla wykorzystania energii jądrowej, ale także z punktu widzenia czystej fizyki. Czynnikiem wywołującym rozszczepienie może być neutron, foton wysokiej energii, a również szybka cząstka naładowana. Rzadkim zjawiskiem jest rozszczepienie zachodzące samorzutnie bez bodźca z zewnątrz.

Niektóre ciężkie jądra podlegają rozszczepieniu wskutek wchłonięcia wolnego neutronu. Są to przede wszystkim jądra ^{235}U i ^{239}Pu . W większości przypadków rozszczepienie tych jąder polega na podziale jądra na dwie części o zbliżonych masach przy równoczesnej (a częściowo nieco opóźnionej) emisji paru neutronów. Obok tego „normalnego“ przebiegu zjawiska zachodzi również rozszczepienie, przy którym emitowane są nie tylko neutrony i dwa fragmenty ciężkie, ale także cząstka α . Biorąc pod uwagę jedynie cząstki naładowane nazywa się rozszczepienie „normalne“ rozszczepieniem podwójnym (bipartycja), a rozszczepienie z emisją cząstki α — potrójnym (trypartycja). Stosunek liczby rozszczepień podwójnych do potrójnych wyraża się liczbą około 300 dla rozszczepień wywołanych neutronami niskiej energii.

Głównym celem badań prowadzonych nad potrójnym rozszczepieniem jądrowym w Zakładzie I^A w Świerku jest uzyskanie nowych wiadomości o widmie energetycznym cząstek α emitowanych w tym zjawisku. Pomiaru prowadzone są przy zastosowaniu detektorów półprzewodnikowych specjalnie opracowanych przy bardzo wydatnym udziale pracowników tego Zakładu.

Urządzenie podobne do wyżej opisanego selektora neutronowego służy do pomiaru czasów życia metatrwałych stanów wzbudzonych jąder powstających przez wychwyt neutronów. Prawdopodobieństwo przejścia między stanami danego jądra (a zatem i odpowiednie czasy życia) zależą od wartości pewnych parametrów charakteryzujących te stany. Stany wzbudzone trwają na ogół bardzo krótko, ale przy szczególnych układach wspomnianych parametrów mogą występować stany stosunkowo długożyciowe zwane izomerycz-

nymi albo metatrwałymi. Znane są nawet stany metatrwałe trwające wiele godzin.

W Zakładzie I^A w Świerku prowadzone są pomiary czasów życia jądrowych stanów metatrwałych w zakresie od około 0,5 do około 10 milisekund. Na badaną próbkę kierowane są krótkie „błyski“ neutronowe przepuszczane przez mechaniczny przerywacz obrotowy podobny do działającego w metodzie „czasu przelotu“ przy badaniu pochłaniania rezonansowego. Promieniowanie γ , wysyłane przez próbkę przy przechodzeniu jąder ze stanu metatrwałego do stanów energetycznie niższych, pada na detektor, z którym związany jest analizator czasu. Aparatura ta pozwala na pomiar tempa w jakim linie γ , odpowiadające określonym przejściom między stanami jądrowymi, gasną z biegiem czasu upływającego od zakończenia impulsu neutronowego. Stąd można ocenić czasy życia stanów metatrwałych.

Do badania rozproszenia sprężystego neutronów używa się zawsze źródeł wysyłających neutrony o energii ściśle określonej. Mierząc energię neutronów rozproszonych można wtedy dyskryminować neutrony rozproszone sprężystie od rozproszonych niesprężystie, gdyż energia pierwszych odpowiada energii neutronów padających (z łatwą do obliczenia stratą na energię kinetyczną przekazaną w zderzeniu jądra rozpraszającemu), podczas gdy energia drugich jest wyraźnie niższa.

Rzucając na próbkę wiązkę neutronów z reaktora i mierząc energie neutronów rozproszonych nie możemy w zasadzie przeprowadzić tego odróżnienia, gdyż pierwotna energia nie jest określona. Jednakże w przypadku pewnych szczególnych jąder (na przykład ^{12}C) rozproszenie niesprężyste jest w ogóle niemożliwe dla neutronów poniżej pewnej wysokiej energii ze względu na brak nisko położonych stanów wzbudzonych. W tych przypadkach wystarczy więc mierzyć energię neutronów rozproszonych nie troszcząc się o energię neutronów padających.

Do jąder, dla których rozproszenie niesprężyste można praktycznie zaniedbać aż do energii wielu MeV należy ^{40}Ca . Posługując się techniką emulsji fotograficznych przeprowadzono pomiary rozkładu kąтового neutronów rozproszonych na jądrach ^{40}Ca w różnych przedziałach energii w zakresie od 2 do 4 MeV. Neutrony rejestrowały się w kliszach za pośrednictwem protonów emulsji, którym neutrony padając przekazywały swój pęd. Same neutrony, jak wiadomo, są cząstkami niejonizującymi, więc nie pozostawiają śladów w emulsji.

Prosta ta metoda ma oczywiście bardzo ograniczony zakres stosowalności. Najbardziej godne uwagi w omawianych pracach jest może to, że zwykły reaktor został wykorzystany tu jako źródło neutronów prędkich aż do 4 MeV energii, co zapewne jest rekordem światowym.

Cezary Pawłowski

Katedra Radiologii
Politechniki Warszawskiej

Destrukcyjne działanie intensywnego promieniowania alfa na substancje świecące o budowie krystalicznej (fosfory lenardowskie)

Na wstępie tego artykułu pragnę kilka słów poświęcić pamięci Profesora dr Stefana Pieńkowskiego.

W ciągu mojej długoletniej adiunktury w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego byłem świadkiem Jego wyjątkowej pracy, niespożytej energii w dziele organizacji nauki i nauczania na wyższych uczelniach oraz rozwoju fizyki polskiej. Każdy z Jego uczniów i pracowników naukowych, którzy mieli możliwość bliżej współpracować z Profesorem Pieńkowskim, wysoce cenił Jego głęboki umysł, szeroką wiedzę i wielkie zaangażowanie do pracy naukowo-badawczej. Postać wybitnego uczonego i organizatora nauki pozostanie na zawsze w naszej pamięci.

* * *

Fosforami lenardowskimi przyjęto nazywać krystaliczne związki chemiczne, które pod działaniem promieniowania świetlnego, jak również innych promieniowań, w tej liczbie promieniowania α , dają świecenia własne, charakterystyczne dla każdej substancji i zależne od jej chemicznego składu. Są to przede wszystkim siarczki lub tlenki metali ziem alkalicznych, należących do II grupy pierwiastków w układzie okresowym Mendelejewa. Najbardziej są znane siarczki cynku (ZnS) i siarczki kadmu (CdS). Siarczki te muszą być jednak uczulone na działanie promieniowań przez obecność w nich bardzo małych ilości miedzi lub domieszek innych metali (np. srebra) należących do I grupy pierwiastków w układzie okresowym. Miedź spełnia rolę aktywatora uczulającego siarczki na działanie promieniowania. Atomy jej przez wygrzewanie siarczków są stopniowo wprowadzane do ich sieci krystalicznej. Wówczas jest możliwe zastąpienie atomów Zn bądź Cd znajdujących się w węzłach sieci krystalicznej przez atomy miedzi. Mniejsze wymiary jonu miedzi w porównaniu z wymiarami jonu Zn lub Cd spowodują odkształcenie sieci krystalicznej w najbliższym sąsiedztwie tego obcego atomu. Tworzą się w ten sposób „centra“ świecenia w substancjach świecących. Energia pobudzanego jonu miedzi jest udzielana atomom Zn względnie atomom Cd z najbliższego otoczenia.

Otrzymywanie substancji świecących nie jest rzeczą łatwą. Wymaga umiejętności i dłuższego wygrzewania tych substancji w celu otrzymania kryształów o możliwie jednakowych wymiarach z dobrze uformowanymi centrami świecenia. Istnieje wiele przepisów otrzymywania substancji świecących. Powołam się tu na przepis Guntza [1] otrzymywania ZnS(Cu) i CdS(Cu), ponieważ te siarczki były użyte przeze mnie do badań efektów radiacyjnych, wywołanych w nich działaniem cząstek α .

Obydwa siarczki: ZnS i CdS krystalizują się w układzie heksagonalnym z parametrami siatki przestrzennej $a_1 = 6,28 \text{ \AA}$, $a_2 = a_3 = 3,84 \text{ \AA}$ dla cynku i parametrami $a_1 = 6,12 \text{ \AA}$, $a_2 = a_3 = 4,14 \text{ \AA}$ dla kadmu. Do badań używałem mieszaniny tych siarczków o procentowym składzie 80% ZnS(Cu) + 20% CdS(Cu). Do tych siarczków dodaje się topnik, zawierający sole ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2$) w ilości 3% podstawowej substancji dla uzyskania lepszej krystalizacji.



Rys. 1. Zmiana widmowego składu świecenia siarczku cynku z domieszką siarczku kadmu pod wpływem promieniowania α . a) Fotografia świecącej powierzchni siarczku, poddanej silnemu działaniu strumienia cząstek α . b) Widma świecenia tej powierzchni, wzbudzonego promieniowaniem α i nadfioletem.

Do badania oddziaływania promieniowania α na strukturę krystaliczną siarczków Zn i Cd posługiwałem się specjalnymi ekranikami w postaci płytek wykonanych z kwarcu topionego i pokrytych z jednej strony cienką, równomierną warstewką tych substancji świecących. Do napromieniowania próbek używałem preparatu polonowego o aktywności 2,85 mc. Warstewka polonu była otrzymana na srebrnym podłożu w postaci krążka o średnicy 3 mm w ten sposób, że połowa jego powierzchni posiadała 15-krotnie większą aktywność od aktywności pozostałej części. Preparat polonowy przykryty cienką warstwą miki o grubości 8μ był ustawiony tuż przy powierzchni ekranu z badaną substancją. Napromieniowaniu podlegała tylko część powierzchni ekranu, znajdująca się pod otworkiem kolistym przesłony wykonanej z grubej folii aluminiowej. Po dwutygodniowym napromieniowaniu cząstkami α , ekran wystawiono na działanie promieniowania świetlnego i przekonano się, że część napromieniowanej powierzchni nie dawała zupełnie świecenia, a świecenie części słabiej napromieniowanej zmieniło swoją barwę. Normalna barwa pomarańczowa badanego siarczku w tym miejscu stała się cytrynowa z odcieniem zielonawym. Obraz świecenia części powierzchni ekranu poddanej działaniu cząstek α jest podany na fotografii (rys. 1a).

Dalsze badania dotyczyły dwóch zagadnień: 1) przekonania się, w jakim stopniu uległ zmianom widmowy skład świecenia siarczków poddanych działaniu promieniowania α i 2) zbadania charakteru świecenia siarczku odkształconego w zależności od rodzaju jego wzbudzania.

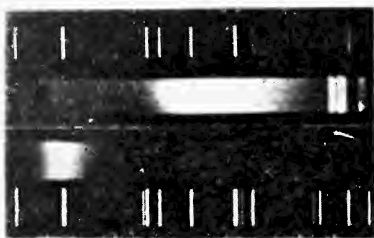
Analiza widmowa świecenia siarczku napromieniowanego była wykonana przy pomocy spektrografu kwarcowego o niedużej dyspersji. Ekran świecący ustawiano przed szczeliną kolimatora spektrografu w ten sposób, aby do spektrografu trafiały promienie od powierzchni ekranu, napromieniowanej cząstkami α . Jako źródła promieniowań pobudzających siarczek do świecenia zastosowano lampę rtęciową i używany preparat polonowy. Wiązka promieniowania lampy rtęciowej po przejściu przez optyczny filtr Wooda, szkło kobaltowe, przepuszczające tylko nadfioletową część tego promieniowania o długościach fali w granicach od 3151 do 3663 Å, ukośnie padała na powierzchnię ekranu świecącego. Przy wzbudzaniu świecenia siarczku promieniowaniem α preparat polonowy był ustawiany możliwie blisko powierzchni siarczku.

Ze względu na silne zmniejszenie intensywności świecenia siarczku o zmienionych własnościach optycznych wymagane były długie ekspozycje do otrzymania widm w spektrografii. Przy stosowaniu nadfioletu ekspozycja trwała około trzech godzin, przy wzbudzaniu świecenia cząstkami α zdjęcie trwało kilkanaście godzin. Na rys. 1b podane są fotografie dwóch widm świecenia siarczków $ZnS(Cu) + CdS(Cu)$. Górna fotografia przedstawia widmo świecenia siarczku wzbudzanego cząstkami α , dolna daje widmo jego przy pobudzeniu nadfioletem. Każde z tych widm składa się z dwóch części: górna część odpowiada świeceniu siarczku silniej odkształconego przez działanie promieniowania α , dolna część pochodzi od świecenia siarczku mniej odkształconego przez działanie tego promieniowania. Na fotografii zdjęte zostało również widmo liniowe helu w celu zidentyfikowania długości fali w poszczególnych częściach widma siarczku cynku. W ten sposób zostało stwierdzone, że dwa maksima w rozkładzie widmowym badanego siarczku mają długości fali: 5976 Å w części długofalowej i 4471 Å w części krótkofalowej. Badania wykazały, że świecenie w części krótkofalowej jest chwilowe i zanika w krótkim czasie po przerwaniu napromieniowania. Występowanie dwóch maksimów jest potwierdzeniem przypuszczenia o istnieniu w świecących siarczkach dwóch rodzajów „centrów świecenia“: trwałych i chwilowych.

Znaczne osłabienie świecenia siarczków pod wpływem długotrwałego, intensywnego napromieniowania cząstkami α jest skutkiem stopniowego niszczenia przez nie centrów świecenia. Z porównania górnej i dolnej części widma świecenia odkształconego siarczku, wzbudzanego promieniowaniem α stwierdzamy, że pasmo długofalowe w górnej części jest silnie zawężone, a jego natężenie jest bardzo osłabione: pasma krótkofalowe w górnej i dolnej części widma nie wykazują dostrzegalnych różnic ani pod względem szerokości pasma, ani pod względem jego natężenia. Wyniki te prowadzą do wniosku, że cząstki α wywierają silny destrukcyjny wpływ na „centra trwałe“, natomiast „centra chwilowe“ są bardziej odporne na ich działanie.

Porównanie górnej i dolnej części widna świecenia siarczku powstającego pod wpływem promieniowania nadfioletowego prowadzi również do wniosku, że szerokość i natężenie pasma długofalowego zmniejsza się wskutek długotrwałego i intensywnego napromieniowania go cząstkami α . Co się tyczy pasma krótkofalowego świecenia siarczku silnie napromieniowanego, to ono zaznaczyło się bardzo słabo. To świadczyłoby o tym, że „centra chwilowe“ pod działaniem cząstek α ulegają pewnej zmianie, która spowoduje ich niewrażliwość na promieniowanie nadfioletowe przy zachowaniu ich reagowania na promieniowanie α . Co jest zupełnie możliwe wobec istniejącej różnicy w pobudzaniu atomów do świecenia cząstkami α i fotonami promieni świetlnych.

Jako przykład takiej możliwości podam jeszcze jeden wynik badań siarczku cynku chemicznie czystego, istniejącego w sprzedaży, nie zawierającego akty-

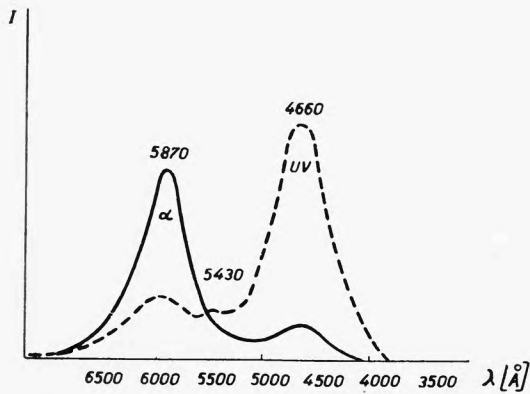


Rys. 2. Widma świecenia zwykłego siarczku cynku (ZnS) pobudzonego promieniowaniem nadfioletowym i promieniowaniem α

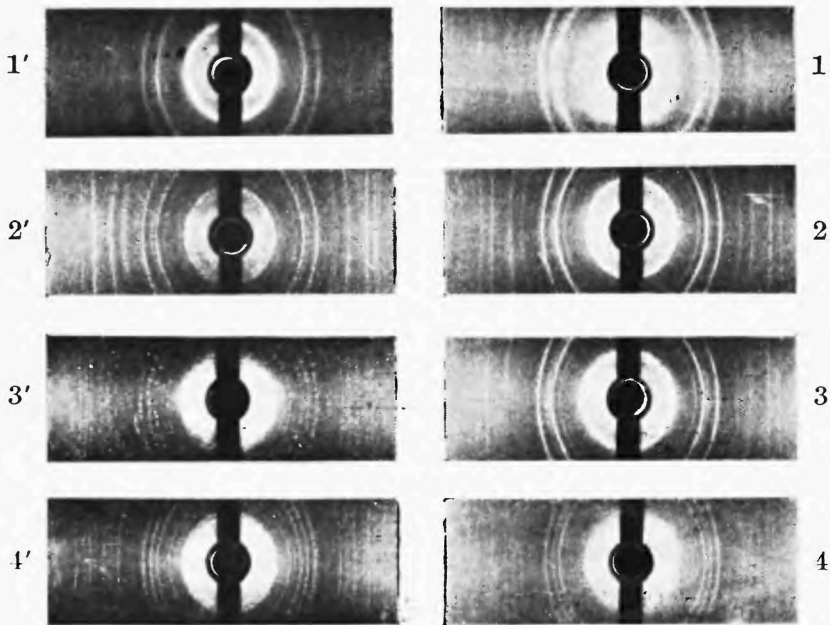
watora. Ten siarczek nie wykazywał dostrzegalnego świecenia. A jednak okazało się, że przy długotrwałych ekspozycjach świecenie jego wzbudzone promieniowaniem α , jak również promieniowaniem nadfioletowym, dawało widmowy rozkład w spektrografie kwarcowym. Na rys. 2 podane są dwie fotografie widm świecenia ZnS wzbudzanego nadfioletem i promieniowaniem α . Otrzymanie tych widm było możliwe przy bardzo dużej szerokości szczeliny kolimatora spektrografu. O szerokości szczeliny można sądzić z szerokości trzech prążków promieniowania lampy rtęciowej przepuszczonego przez optyczny filtr Wooda.

Widmo świecenia siarczku cynku wzbudzonego promieniowaniem nadfioletowym dało szerokie, dość silne pasmo w części krótkofalowej i bardzo słabe pasemko w części długofalowej, niewidoczne na reprodukcji widma zdjętego. Zostało ono jednak zarejestrowane na mikrofotogramie, na podstawie którego została wykreślona krzywa kreskowana na rys. 3. Świecenie siarczku, wywołane cząstkami α , dało w długofalowej części pasmo niezbyt szerokie i o słabym natężeniu. Widmowy rozkład tego natężenia, zbadany też za pomocą mikrofotometru, jest przedstawiony krzywą ciągłą na rys. 3. Z tego wyniku dochodzimy również do wniosku, że promieniowanie α wzbudza silniej promieniowanie długofalowe, pochodzące z centrów świecenia trwałego.

Rola centrów w świeceniu siarczków metali ziem alkalicznych aktywowanych drobną ilością innego metalu jest jasna. Istnienie ich nie nastęrcza wątpliwości. Wiele faktów doświadczalnych przemawiało za tym, że w substancjach świecących powinno istnieć odpowiednio utworzone ugrupowanie atomów w sieci



Rys. 3. Krzywe widmowego rozkładu świecenia nieaktywowanego siarczku cynku powstającego pod wpływem promieniowania nadfioletowego i promieniowania α , wykreślone na podstawie otrzymanych mikrofilmów



Rys. 4. Rentgenogramy różnych siarczków świecących, sproszkowanych i krystalicznych. 1 — Siareczek cynku ZnS(Cu) Guntza o barwie świecenia zielonożółtej, 2 — Siareczek cynku ZnS(Cu) firmy Poulenca (o świeceniu zielonym), 3 — Siareczek złożony ZnS(Cu)+CdS(Cu) według przepisu Guntza (świecenie barwy pomarańczowej), 4 — Siareczek cynku nieaktywowany ZnS.

krystalicznej łatwo pobudzone do promieniowania. O doskonałości budowy wewnętrznej ciał krystalicznych składających się z drobnych kryształków można najlepiej sądzić, korzystając ze zdjęć rentgenowskich, otrzymywanych metodą Debye'a i Scherrera.

Na rys. 4 są zestawione rentgenogramy czterech rodzajów siarczków: (1) siarczku cynku uczulonego miedzią ZnS(Cu), dającego świecenie żółto-

zielonawe, wykonanego według przepisu Guntza: (2) siarczku cynku tego samego rodzaju firmy Poulenc'a o świeceniu zielonym, (3) mieszaniny siarczków: $ZnS(Cu) + Cds(Cu)$ według Guntza, wielokrotnie używanego przeze mnie i opisanego w pracy, (4) zwykłego siarczku cynku nieaktywowanego (ZnS). Z prawej strony są podane rentgenogramy siarczków świecących utworzonych z kryształków, których płaszczyzny krystalizacji dają obraz odbić promieni rentgenowskich w postaci drobnych plamek białych na pierścieniach dyfrakcyjnych. Rentgenogramy siarczków (1) i (3) wskazują, że są one utworzone z drobnych kryształków o regularnej budowie, o czym świadczy ostrość pierścieni. Gorzej przedstawia się rentgenogram siarczku (2), na którym plamki odbiciowe posiadają różne wielkości i postacie. Rentgenogramy siarczku (4) nie wykazują żadnych plamek białych na pierścieniach, jest więc utworzony z bardzo drobnych kryształów. W opisanych wyżej badaniach widmowych tego siarczku było nadmienione, że świecenie jego jest bardzo słabe, prawie niedostrzegalne.

Bardzo ważnym faktem przemawiającym za istnieniem „centrów świecenia“ jest utrata zdolności do świecenia wszystkich siarczków wyżej wymienionych po skruszeniu ich większych kryształków. Sproszkowane siarczki jednak nie tracą krystalicznej budowy, jak świadczą o tym rentgenogramy (1', 2', 3', 4') znajdujące się po lewej stronie rys. 4. Pierścienie dyfrakcyjne, które wystąpiły na tych rentgenogramach tworzą linie ciągle ostro zaznaczające się na rentgenogramach wszystkich siarczków z wyjątkiem ostatniego (4').

Na podstawie tych wyników dochodzimy do przekonania, że mechaniczna obróbka świecących substancji krystalicznych, jakimi są siarczki cynku, powoduje efekt podobny do działania na tę substancję promieniowania α , które niszcząc stopniowo ugrupowania atomów, stanowiące miejsca powstawania świecenia, pozbawiają te ciała zdolności do wysyłania własnego promieniowania, ściśle związanego z jego wewnętrzną budową.

Literatura

[1] A. A. Guntz, *Ann. Chimie*, 5, 157, III (1926).

Arkadiusz Piekara

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
Poznań

O rozwoju fizyki dielektryków w Polsce

Szkic poniższy poświęcony pamięci Profesora Stefana Pieńkowskiego traktować będzie w głównej mierze o rozwoju tych badań z zakresu fizyki dielektryków, które zapoczątkowane zostały w zorganizowanym i kierowanym przez Niego Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego, znakomitym ośrodku fizyki polskiej, który zwaliśmy po prostu „Hożą“. Niemniej, do całości obrazu włączyć należy inne ośrodki, w których w okresie międzywojennym poczynając od wczesnych lat dwudziestych, prowadzone były prace z fizyki dielektryków o dużym znaczeniu. Były to: Zakład Fizyki Politechniki Warszawskiej, kierowany przez profesora Mieczysława Wolfkego, Zakład Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, kierowany przez profesora Konstantego Zakrzewskiego i Zakład Fizyki Akademii Górniczej w Krakowie, kierowany przez profesora Mieczysława Jeżewskiego. Podstawowe prace nad przewodnictwem elektrycznym cieczy dielektrycznych rozwijane były w Zakładzie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego, pod kierunkiem profesora Czesława Białobrzeskiego.

A. Okres międzywojenny

We wczesnych latach dwudziestych, za moich czasów studenckich, stan badań w dziedzinie dielektryków w Polsce był mniej więcej następujący.

Na Hożej kończył swoją pracę doktorską adiunkt Profesora Pieńkowskiego, a obecnie profesor Politechniki Warszawskiej, Cezary Pawłowski [1]. Badał on stałą dielektryczną dość niezwykłego ośrodka: mgły. Stosował wchodzącą dopiero do laboratoriów metodę dudnieniową z obwodami lampowymi. Po pierwszej wojnie światowej lampy katodowe były niemal taką nowością, jak klitrony i magnetrony po drugiej. Studenci dowiadywali się o ich możliwościach z książki Machcewicza [2], a potem studiowali je z monografii J. Groszkowskiego [3]. Otóż Pawłowski, udoskonaliwszy metodę dudnieniową, otrzymał interesujące rezultaty, które na II Zjeździe Fizyków Polskich w Krakowie, w roku 1924, wywołały niezwykle żywą dyskusję. Dlaczego stała dielektryczna powietrza nasyconego parą wodną maleje, gdy wywołamy kon-

densację pary w postaci mgły? Dyskusja nie zdołała wówczas zagadnienia tego wyjaśnić, po prostu dlatego, że rozwiązanie doświadczalne problemu zbyt wyprzedziło rozwinięcie teorii.

W tym czasie Mieczysław Jeżewski w swojej pracy doktorskiej [4] pokazał, że teoria Debye'a [5] opracowana dla gazów nie stosuje się nawet w przybliżeniu do stanu ciekłego. Wkrótce, jako docent Uniwersytetu Jagiellońskiego (a później profesor Akademii Górniczej), zajmie się ciekłymi kryształami i odkryje wpływ pola magnetycznego i elektrycznego na ich własności dielektryczne [6]. W latach trzydziestych znacznie rozszerzy te badania wraz ze swoim współpracownikiem, późniejszym profesorem Akademii Górniczo-Hutniczej, Marianem Mięśowiczem [7]. Jednocześnie z innymi współpracownikami zajmie się stałą dielektryczną elektrolitów [8] i w związku z tym opracuje teoretyczne podstawy metody rezonansowej [9].

Wracając znów do lat dwudziestych w Politechnice Warszawskiej zastajemy Mieczysława Wolfkego, pracującego nad zestalaniem dielektryków w polu elektrycznym. Były to pierwsze próby uzyskania spolaryzowanych dielektryków, które wytworzono później i nazwano elektretami. Niedługo potem Wolfke przeprowadza w Lejdzie badania stałej dielektrycznej ciekłego helu i razem z W. H. Keesomem odkrywa anomalię dielektryczną wskazującą punkt przemiany [10]. Badaniami dielektrycznymi zajmują się jeszcze w Warszawie, a częściowo w Lejdzie, współpracownicy Wolfkego: Wacław Werner [11], Józef Roliński, Józef Mazur. Roliński wykonał pierwsze w Polsce badania polaryzacji roztworów [12], co skłoniło później Wolfkego do opracowania interesującej próby teoretycznego ujęcia asocjacji molekuł dipolowych w roztworach [13].

Jak wspominałem, w Uniwersytecie Jagiellońskim rozwijał się ośrodek badań dielektrycznych pod kierunkiem Konstantego Zakrzewskiego. Głównym celem prac tego ośrodka było zbadanie własności dielektrycznych pierwiastków. Badane więc były: siarka, selen, fosfor, brom, jod itd. Tematyką powyższą zajmowali się uczniowie profesora Zakrzewskiego: Dobiesław Doborzyński [14] i Stanisław Dobiński [15], którzy zginęli w czasie drugiej wojny światowej, Stefan Rosental [16], późniejszy współpracownik Nielsa Bohra, Jan Wesołowski [17] i Tadeusz Piech [18], którzy po drugiej wojnie światowej objęli katedry w wyższych uczelniach, Tadeusz Naylor [19] i Aleksy Jagielski [20]. Momenty dipolowe badał w Katedrze Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Jana Kazimierza we Lwowie Marian Puchalik [21].

Wróćmy jednak do roku 1925, na Hożą. Wyniki pracy Pawłowskiego, które dokonywały się na moich oczach, echa prac fizyków polskich, a przede wszystkim prace Langevina i Debye'a podziały na moją wyobraźnię. Profesor Pieńkowski, jak dobry pedagog, buduje na zainteresowaniach uczniów. Otrzymuję temat pracy doktorskiej: „Stała dielektryczna emulsyj i zawiesin“. Zagadnienie rozwiązałem z końcem 1927 roku [22], a z początkiem następnego roku otrzymuję zaszczytną i upragnioną propozycję: asystenturę.

Niedługo cieszyłem się nią, gdyż w tym samym pamiętnym dla mnie roku 1928 pochłonęła mnie Rydzyna, szkoła eksperymentalna, organizowana przez Tadeusza Łopuszańskiego [92, 93]. I Łopuszański, i ja pragnęliśmy, aby pracownia fizyki w Rydzynie stała się ekspozyturą, filią zakładu warszawskiego. Tak się chyba stało, zwłaszcza że problem fizyki dielektryków przeniósł się całkowicie z Hożej do Rydzyny.

W pierwszym okresie badane były emulsje i roztwory koloidalne [23a]. Opracowałem wówczas teoretycznie zagadnienie stałej dielektrycznej układów rozdrobionych [23b]. W wiele lat później porówna teorię tę z doświadczeniem Karolina Leibler, która w Politechnice Warszawskiej badać będzie zawiesiny metalowych proszków w dielektrykach stałych [64a]. W roztworach wodnych żelatyny znaleziony został rodzaj histerezy termicznej stałej dielektrycznej i przewodnictwa elektrycznego [24a]. W kwasach tłuszczowych stwierdzono występowanie anomalii [24b], zwłaszcza w czasie procesu krzepnięcia (B. Piekara, [25]).

Od zawiesin i koloidów droga badania prowadziła do fluktuacji stężenia w roztworach krytycznych, które w pobliżu temperatury krytycznej rozpuszczania tworzyły lokalne, chwiejne niejednorodności, niby zawiesinę, silnie opalizującą. Znalezione w roztworach krytycznych anomalie stałej dielektrycznej i polaryzacji [26] stały się nicią przewodnią, prowadzącą do znalezienia anomalii w innych zjawiskach orientacji molekularnej [27, 28, 29], zaś w trzydzieści lat później — do znalezienia przez Powlesa i Pajaka anomalii w zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego [94]. Ten szereg badań rozpoczęty został zjawiskiem Cottona-Moutona, które polega na wywołaniu dwójłomności optycznej w cieczy umieszczonej w polu magnetycznym.

Właśnie w końcu roku 1933 znalazłem się, jako stypendysta Funduszu Kultury Narodowej, w laboratorium odkrywcy tego zjawiska, profesora Sorbony, Aimé Cottona, który stał się po profesorze Pieńkowskim moim drugim nauczycielem. W następnym roku, korzystając z wielkiego elektromagnesu Cottona w Bellevue pod Paryżem, znaleźliśmy z A. Goldetem anomalny przebieg zjawiska Cottona-Moutona, wywołany fluktuacjami stężenia w pobliżu temperatury krytycznej rozpuszczania [27]. Czyniliśmy również z M. Schérerem usiłowania, aby znaleźć wpływ pola magnetycznego na stałą dielektryczną czystych cieczy (M. Jeżewski [6] znalazł taki wpływ dla ciekłych kryształów). Ani te usiłowania, ani badania późniejsze nie doprowadziły do pozytywnych rezultatów [30]. Doprowadzą dopiero w ćwierć wieku później, gdy wraz z jednym z moich uczniów, Augustynem Chełkowskim, dokładność pomiarów zwiększymy o dwa rzędy wielkości [31].

Rozszerzenie problemu polaryzacji dielektryków na wszystkie zjawiska orientacji molekularnej rozpoczęło nowy okres w rozwoju prac rydzińskich. Z jednej strony rozpoczęto badanie zjawiska elektrooptycznego Kerra w mieszaninach cieczy dipolowych z niedipolowymi, z drugiej strony — wpływ pola elektrycznego na stałą dielektryczną czystych cieczy i ich mieszanin, czyli tzw. zjawisko nasycenia dielektrycznego. Nad pierwszym z tych tematów

pracował w Rydzynie L. Kozłowski (była to jego praca doktorska); znalazł on nową anomalię w okolicy punktu krytycznego rozpuszczania [28].

Drugi temat, badanie nasycenia dielektrycznego, prowadziliśmy wspólnie z B. Piekara, a później z A. Łempickim. Pomiary dały przede wszystkim dokładne potwierdzenie wcześniejszych wyników Herwega [32] i Kautzscha [33], zgodnych z przewidywaniem teorii Debye'a: stała dielektryczna eteru etylowego maleje pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego. Ale, co rzecz najosobliwsza, znaleźliśmy, że dla czystego nitrobenzenu efekt nasycenia dielektrycznego jest dodatni, tzn. że pole elektryczne zwiększa jego stałą dielektryczną [34]. Tymczasem dla roztworów nitrobenzenu w benzenie efekt nasycenia maleje szybko w miarę rozcieńczenia i staje się ujemny. Jeśli jest to roztwór w heksanie, mieszanina wykazuje, przy stężeniu krytycznym i temperaturze krytycznej, zjawisko opalescencji, połączone z anomalną zmianą znaku nasycenia dielektrycznego z ujemnego na dodatni [29].

Ten wówczas zupełnie niespodziewany efekt dodatniego nasycenia dielektrycznego znalazł wyjaśnienie w międzymolekularnym oddziaływaniu dipol-dipol. Założenie to stało się podstawą opracowania jednolitej teorii zjawisk orientacji molekularnej. Mianowicie obliczona została molarna polaryzacja dielektryczna oraz stałe molarne trzech zjawisk nieliniowych: zjawiska Kerra, Cottona-Moutona i nasycenia dielektrycznego. Przy pomocy tej samej grupy stałych opisujących oddziaływanie międzymolekularne teoria pozwoliła obliczyć przebieg wszystkich badanych zjawisk orientacji molekularnej w zależności od stężenia dipolowych molekuł w roztworze. Zgodność z doświadczeniem otrzymano jednocześnie dla zjawisk czysto elektrycznych, jak i elektro- i magnetoptycznych. Teorię przedstawił R. H. Fowler na posiedzeniu Królewskiego Towarzystwa w Londynie, w roku 1939. Ukazała się ona w druku tuż po wybuchu wojny [35]. Po zakończeniu wojny została rozszerzona i opublikowana w szczegółach [36].

Wybuch wojny w dniu 1 września 1939 roku przerwał działalność szczupłej garstki fizyków pracowni rydzynskiej. Wyniki tych badań doczekały się w literaturze światowej obszerniejszych omówień [37—41].

B. Okres powojenny

Wymienione przeze mnie ośrodki badania dielektryków w Polsce, poza pracownią rydzynską, już przed wojną ograniczyły lub zarzuciły tematykę dielektryczną, kierując swoje zainteresowania ku promieniowaniu kosmicznemu. Po wojnie fizyka dielektryków odżyła w Katedrze I Fizyki Politechniki Gdańskiej, gdzie obok mnie znalazło się dwóch dawnych moich uczniów.

Na pierwszy ogień poszły dwa zagadnienia: badanie zjawiska dodatniego nasycenia dielektrycznego w polu elektrycznym oraz nowe próby znalezienia wpływu pola magnetycznego na stałą dielektryczną cieczy, tzn. zjawiska nasycenia dielektrycznego w polu magnetycznym. W trudnych powojennych

warunkach, wobec braku aparatury i materiałów, wobec braku odczynników chemicznych wysokiej jakości, wybór obu tych zagadnień okazał się przedwczesny. Zjawiska nasycenia dielektrycznego w nitrobenzenie, w polu elektrycznym, mimo ogromnych wysiłków, nie dało się odtworzyć. Dopiero w kilka lat później, w Poznaniu, odtworzymy je z A. Chełkowskim [42]. Od tej pory badanie nasycenia dielektrycznego stanie się tematem prac doktorskich i wielu prac magisterskich. Drugie wybrane przez nas zagadnienie, mianowicie nasycenie dielektryczne w polu magnetycznym, opierało nam się jeszcze dłużej. Tymczasem przyczyniło się ono do zbudowania największego w Polsce elektromagnesu.

W owym czasie powołana i kierowana przez profesora Pieńkowskiego komisja (w której brał udział również piszący te słowa) zajęła się opracowaniem pierwszego planu badań naukowych katedr fizyki w Polsce. Katedrze I Fizyki Politechniki Gdańskiej przypadła problematyka dielektryków, ze szczególnym naciskiem na fizykę ciała stałego. Na warsztat Katedry wszedł problem ferroelektryków.

Rozpoczęła się współpraca z Zakładem Chemii Nieorganicznej i Ogólnej profesora W. Trzebiatowskiego we Wrocławiu, w którym opracowano syntezę polikrystalicznego tytanianu baru. Dzięki temu mogliśmy podjąć, wspólnie ze Zdzisławem Pająkiem, pierwsze badania ferroelektryków [43]. Ujawniły one przede wszystkim istnienie w BaTiO_3 histerezy termicznej stałej dielektrycznej, która stanowiła swego rodzaju „pamięć wyższej temperatury“. Drugim tematem badań były zjawiska opóźnione, występujące po przyłożeniu lub odjęciu zewnętrznego pola elektrycznego. Osobliwością tego zjawiska było przejściowe zwiększanie się stałej dielektrycznej BaTiO_3 zarówno po przyłożeniu, jak i po odjęciu pola elektrycznego. Rozpoczęliśmy też pierwsze próby interpretacji teoretycznej tych zjawisk [44].

Po wojnie technika mikrofalowa zyskiwała w fizyce szybko rosnące znaczenie i narzucała materiałom dielektrycznym nowe wymagania. Mikrofałe, po sukcesach wojennych, wkroczyły do laboratoriów fizyków i elektryków. Pragnąłem, aby dziedziną mikrofal zainteresowali się w Polsce młodzi fizycy i technicy. Napisałem książkę poświęconą mikrofalom i radiospektroskopii [45], która, jak później dowiedziałem się, zachęciła wielu młodych ludzi do pracy w tej dziedzinie.

Tymczasem ośrodek fizyki dielektryków przenosi się z końcem 1952 roku do Katedry Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Poznańskiego. Nie będę opisywał tu historii jedenastu lat jego rozwoju, lecz poprzestanę na krótkim opisie dorobku naukowego i obecnego stanu badań.

Ośrodek fizyki dielektryków w Poznaniu składa się z wymienionej Katedry oraz z Zakładu Dielektryków Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk. Oba Zakłady dzielą się razem na pięć pracowni, stosownie do pięciu głównych problemów prac naukowych:

1. Pracownia dielektryków stałych, z. kier. dr T. Krajewski,
2. Pracownia dielektryków ciekłych, kier. doc. dr A. Chełkowski,

3. Pracownia optyki dielektryków, kier. dr S. Kielich,

4. Pracownia radiospektroskopii jądrowej (jądrowy rezonans paramagnetyczny), kier. doc. dr Z. Pająk,

5. Pracownia radiospektroskopii elektronowej (elektronowy rezonans paramagnetyczny), kier. dr J. Stankowski.

Niezależnie od tego podziału wyłoniły się grupy badawcze, należące do określonej pracowni lub międzypracowniane, składające się z kilku pracowników naukowych i technicznych, a niekiedy z kierownika grupy i zmieniających się z roku na rok magistrantów. Oto grupy badawcze:

- a) grupa teoretyczna, kier. dr S. Kielich,
- b) grupa rentgenowska, kier. mgr Z. Bochyński,
- c) grupa wysokich ciśnień, kier. dr J. Klimowski,
- d) grupa spektroskopii podczerwonej, kier. doc. dr A. Chełkowski,
- e) grupa magnetyczna, kier. dr M. Surma,
- f) grupa masera amoniakalnego, kier. dr J. Stankowski,
- g) grupa laserów, kier. dr F. Kaczmarek.

Łącznie w obu zakładach pracuje w roku 1963 trzech samodzielnych pracowników naukowych, pięćdziesięciu pomocniczych pracowników naukowych, dwudziestu pracowników naukowo-technicznych oraz trzydziestu magistrantów. Paru doktorantów zamiejscowych wykonuje prace z zakresu fizyki dielektryków w Gdańsku i Szczecinie. Pracują również zamiejscowi magistranci, m. in. z Warszawy.

Chociaż fizyka dielektryków *sensu stricto* uprawiana jest tylko w pierwszych trzech pracowniach, z problematyką dielektryków powiązana jest również problematyka obu pracowni radiospektroskopii. Na przykład, jeśli chodzi o oddziaływania międzymolekularne w cieczach i ich mieszaninach lub o wiązanie wodorowe, prace wszystkich pracowni wiążą się ze sobą.

Przegląd polskiego dorobku naukowego z fizyki dielektryków w okresie powojennym będzie z konieczności bardzo pobieżny. Podzielę go na trzy działy: 1) dielektryki stałe, ferroelektryki, 2) dielektryki ciekłe i 3) optykę dielektryków, która zyskała ostatnio wielkie znaczenie naukowe i praktyczne, dzięki możliwościom, jakie stworzyły lasery. Przegląd uzupełnią odnośniki do bibliografii, które również muszą ograniczyć do kilkunastu w każdym dziale, chociaż w rzeczywistości istnieje ogółem kilkaset pozycji bibliograficznych fizyków polskich, pracujących w dziedzinie fizyki dielektryków.

1. Dielektryki stałe, ferroelektryki

Pierwszym rozwiązaniem zagadnieniem w ośrodku poznańskim było, oprócz wytwarzania polikrystalicznego tytanianu baru, opracowanie metody wytwarzania materiałów ceramicznych tytanianowych o wielkiej przenikalności elektrycznej i minimalnym współczynniku termicznym [46, 47]. Opracowano także metodę hodowania monokryształów BaTiO_3 , czystych i z domieszką strontu, później zaś — hodowlę monokryształów z roztworów wodnych, jak

sól Seignette'a, siarczan trójglicyny itd. [48]. Znaleziono nowy piezoelektryk, pentaboran amonu, który własnościami piezoelektrycznymi zbliżony jest do kwarcu [49]. Tematem prac badawczych były zjawiska opóźnione [50], zjawisko starzenia się ferroelektryków [51] oraz jednolita interpretacja obu tych zjawisk. Dalej badano: wpływ naprężeń występujących przy zginaniu płytek $BaTiO_3$ na jego własności dielektryczne [52], własności ferroelektryków pod wysokimi ciśnieniami¹ [53, 54], własności ferroelektryków napromieniowanych neutronami w reaktorze [55], napromieniowanych promieniami γ [56] i promieniami X [57]. Badanie pętli histerezy poszczególnych domen w monokryształach siarczanu trójglicyny [58] powinno przyczynić się do wyjaśnienia mechanizmu atomowego polaryzacji ferroelektrycznej. Próby w tym względzie czyniono już wcześniej [59], jednak zadowalającej teorii atomowej zjawisk ferroelektrycznych wciąż nie ma.

Problem ferroelektryków opracowywany jest w Polsce w kilku innych ośrodkach fizyki. W Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie profesor Mieczysław Jeżewski wraz z doc. T. Piechem, a później doc. S. Glücksmanem opracowali metodę wytwarzania polikrystalicznego tytanianu baru i cyrkonianu ołowiu i przeprowadzili systematyczne badania własności ferroelektrycznych pierwszego związku [60] i antyferroelektrycznych drugiego [61]. W Katedrze Fizyki Akademii Medycznej w Poznaniu dr A. Pilawski opracował interesującą metodę temperaturową badania własności dielektrycznych tytanianu baru [62]. W Katedrze Chemii Nieorganicznej i Ogólnej Uniwersytetu Wrocławskiego opracowano syntezę tytanianu baru [63a], badano jego własności ferroelektryczne oraz przewodnictwo elektryczne [63b]. W Politechnice Warszawskiej profesor K. Leibler opracowała wraz ze swoimi współpracownikami spieki ferroelektryczne złożone z polikrystalicznego tytanianu baru i drobnego proszku metalowego [64b]. Materiały te nie ulegają starzeniu, tzn. ich przenikalność elektryczna nie zmniejsza się w czasie. Przyczyną tego stanu rzeczy są prawdopodobnie podwójne warstwy elektryczne, których pole elektryczne polaryzuje ferroelektryk i utrzuca stan jego polaryzacji. Z Katedry Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego wyszło kilka prac teoretycznych poświęconych zagadnieniu nukleacji domen w kryształach ferroelektrycznym [65].

Jeśli chodzi o praktyczne wykorzystanie opisanych tu osiągnięć, to niestety, żadne z nich nie przeniknęło do produkcji przemysłowej. Po prostu brak jest jakiegokolwiek zorganizowanego mechanizmu wdrażania do praktyki. Dla naszej gospodarki narodowej wynikają stąd straty zamiast zysków.

2. Dielektryki ciekłe

Jako tematykę w dziedzinie dielektryków ciekłych wybraliśmy w Poznaniu dwa wspomniane już zagadnienia: nasycenie dielektryczne w polu elektrycznym i nasycenie dielektryczne w polu magnetycznym. Również w nowych, lepszych

¹ Dotychczas stosowano ciśnienia dochodzące do 40 tys. at. Pierwsza w Polsce aparatura do 100 tys. at. jest już zbudowana, lecz z powodu braku miejsca prace badawcze nie mogą być rozpracowane.

warunkach oba zagadnienia okazały się niezwykle trudne pod względem eksperymentalnym. Po trzech latach pracy w Poznaniu udało się A. Chełkowskiemu i autorowi [42, 66] powtórzyć przedwojenne doświadczenia z nasyceciem dielektrycznym w polu elektrycznym, potwierdzić dawne wyniki i użyć nowe. Usiłowania znalezienia nasycecia dielektrycznego w polu magnetycznym trwały jeszcze dłużej: znaleźliśmy to zjawisko dopiero w roku 1960. Obydwa zjawiska zostaną tu pokrótce omówione.

2.1. Nasycecie dielektryczne w polu elektrycznym

Nowe fakty posypały się jak z rogu obfitości. W ciągu paru następnych lat poznaliśmy cztery zasadnicze typy nasycecia dielektrycznego, różniące się między sobą znakiem efektu w czystej cieczy i przebiegiem zjawiska dla roztworów tej cieczy w niedipolowym rozpuszczalniku, w zależności od stężenia. Według tego przebiegu można wyciągać ilościowe wnioski dotyczące mechanizmu zjawiska. Oto te cztery typy:

1. Nasycecie ujemne dla czystej cieczy i dla roztworów wszystkich stężeń, zgodne z teorią Debye'a dla gazów. Brak oddziaływań między dipolami sąsiednich molekuł. Przykład: eter etylowy.

2. Nasycecie dodatnie dla czystej cieczy; maleje wraz z malejącym stężeniem i zmienia znak na ujemny. Silne oddziaływanie międzymolekularne dipol-dipol. Przykład: nitrobenzen itp. [67].

3. Nasycecie dodatnie dla czystej cieczy i dla roztworów; maleje z malejącym stężeniem, ale stale pozostaje dodatnie. Oddziaływanie wewnątrz-molekularne dipol-dipol, występujące w molekułach z rotacją wewnętrzną. Przykład: dwuchloroetan [68, 69, 70].

4. Nasycecie ujemne dla czystej cieczy i stężonych roztworów przechodzi w silny efekt dodatni dla roztworów rozcieńczonych. Penetracja protonu przez barierę potencjalną w wiązaniu wodorowym. Przykład: alkohole szeregu parafin [71].

Jak widać, badanie nasycecia dielektrycznego ma znaczenie w problematyce struktury cieczy, a także struktury molekularnej. Toteż znalazło ono oddźwięk w literaturze chemicznej [72]. W związku z problemami struktury wykonano bardzo trudne badanie nasycecia dielektrycznego cieczy pod ciśnieniem [73].

Równoległe z pracami doświadczalnymi prowadzone były intensywne prace teoretyczne, uwzględniające oddziaływanie międzydrobinowe o najogólniejszym charakterze [74], rotację wewnątrzdrobinową [75] oraz wiązanie wodorowe [76]. Pomogły one w ustalaniu mechanizmu zjawiska dodatniego nasycecia dielektrycznego. W mieszaninach izomeronów rotacyjnych znaleziono nowy rodzaj nieliniowej polaryzowalności, polegającej na przesunięciu równowagi statystycznej *trans* \rightleftharpoons *gauche* pod wpływem pola elektrycznego [77].

2.2. Nasylenie dielektryczne w polu magnetycznym

Wcześniej opracowana teoria wpływu pola magnetycznego na stałą dielektryczną cieczy [78, 79] pozwoliła przewidzieć, że dla nitrobenzenu, w rozsądnych warunkach laboratoryjnych, należało spodziewać się zmian stałej dielektrycznej rzędu 10^{-5} , tzn. o dwa rzędy wielkości mniejszych aniżeli w wypadku nasycenia dielektrycznego w polu elektrycznym (rzędu paru kV/mm). Ta małość efektu narzuciła na urządzenie pomiarowe, elektromagnes i warunki pomiaru bardzo wysokie wymagania. Dotychczasowa metoda dudnieniowa, oparta na kompensacji zmian częstości nie mogła już wystarczyć; opracowana została metoda fazowa, oparta na kompensacji zmian fazy. Po drobiazgowym przygotowaniu aparatury w kraju, pomiary wykonaliśmy — wraz z A. Chełkowskim i przy pomocy Z. Pająka — w laboratorium im. Cottona, w Bellevue [80]. Wielkość obserwowanego efektu, tj. zwiększenia stałej dielektrycznej pod wpływem pola magnetycznego, okazała się zgodna z teorią, jeśli się tylko przyjmie, że pole elektryczne lokalne jest typu Onsagera. Jest to argument eksperymentalny przemawiający na korzyść teorii Onsagera. W Poznaniu prowadzone są dalsze badania przy użyciu impulsowych pól magnetycznych.

Przewodnictwo elektryczne cieczy dielektrycznych jest oddzielnym problemem, którym zajmuje się Zakład Fizyki II Politechniki Gdańskiej, pod kierunkiem profesora I. Adamczewskiego, który tematykę tę rozwijał już przed wojną [81]. Prace dotyczące przewodnictwa nitrobenzenu prowadzono w Poznaniu (J. Małecki, vid. [88]). Badaniem związków międzymolekularnych za pomocą pomiaru momentu dipolowego zajmuje się w Politechnice Warszawskiej profesor Józef Hurwic wraz ze współpracownikami [82].

3. Optyka dielektryków

Ze zjawiskiem polaryzacji dielektrycznej, diamagnetycznej i optycznej w cieczach związane są nieliniowe zjawiska orientacji molekularnej, jakie zachodzą pod wpływem zewnętrznego silnego pola elektrycznego, magnetycznego lub optycznego (tzn. pola elektrycznego fali świetlnej). Tych nieliniowych zjawisk jest dziewięć [83], a wśród nich pięć optycznych. Teorię niektórych z tych zjawisk opracował A. D. Buckingham [84], zaś jednolitą teorię wszystkich zjawisk — S. Kielich i autor niniejszego artykułu [85]. Ze zjawisk optycznych znane są: zjawisko elektrooptyczne Kerra i zjawisko magneto-optyczne Cottona-Moutona. Oba te zjawiska badane były w ośrodku poznańskim w tych samych mieszaninach cieczy, jakie stosowano do badania polaryzacji i nasycenia dielektrycznego w polu elektrycznym. Do badania zjawiska Kerra zastosowano metodę impulsowego pola elektrycznego [86], zaś do badania zjawiska Cottona-Moutona — metodę impulsowego pola magnetycznego [87]. Przy użyciu specjalnych cewek bezrdzeniowych natężenie pola magnetycznego dochodziło

do 400 kOe. Wyniki obu tych prac optycznych, jak również innych prac ośrodka poznańskiego, opublikowane zostały obszerniej w dwu specjalnych tomach, wydanych przez Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk [88, 89].

Ostatnio zyskuje na znaczeniu problem rozpraszania światła w gazach i w cieczach. Zagadnieniu temu, zwłaszcza w nieliniowym przybliżeniu, poświęcił S. Kielich kilka prac teoretycznych [90]. Wytwarzanie wyższych harmonicznych w procesie rozpraszania światła przez molekuly hyperpolaryzowalne w gazach i cieczach oraz dwójłomność optyczna wymuszona przez falę świetlną były również przedmiotem prac teoretycznych [91]. Doświadczalne zbadanie tych zjawisk wymaga stosowania techniki laserowej. Dla tych i innych problemów badawczych powstała w ośrodku poznańskim grupa laserowa, mająca na celu opanowanie nowej techniki, konstrukcji lasera oraz uruchomienie nowych prac badawczych. Rozpocząć one powinny nową problematykę, mającą wielkie znaczenie naukowe i poważne możliwości zastosowań praktycznych.

Literatura

- [1] C. Pawłowski, Sprawozd. i Prace Polsk. Tow. Fiz., 2, (zesz. 6), 45 (1926).
- [2] J. Machcewicz, *Radiotelegrafia i radiotelefonja*, Warszawa (1923).
- [3] J. Groszkowski, *Lampy katodowe*, Warszawa (1925).
- [4] M. Jeżewski, J. Phys. Radium, 3, 293 (1922).
- [5] P. Debye, Phys. Z., 13, 97 (1912).
- [6] M. Jeżewski, J. Phys. Radium, 5, 59 (1924); Z. Phys., 40, 153 (1926).
- [7] M. Jeżewski, M. Mięśowicz, Acta phys. Polon., 3, 279 (1934); 4, 97 (1935); M. Mięśowicz, M. Jeżewski, Phys. Z., 36, 107 (1935).
- [8] M. Jeżewski, M. Wierzbicki, J. Kamecki, Bull. Acad. Polon. A, 417 (1935).
- [9] M. Jeżewski, Phys. Z., 34, 88 (1933).
- [10] W. H. Keesom, M. Wolfke, Proc. Acad. Amsterdam, 31, 90 (1927); M. Wolfke, W. H. Keesom, Proc. Acad. Amsterdam, 31, 81 (1927).
- [11] W. Werner, W. H. Keesom, Sprawozdania i Prace Polsk. Tow. Fiz., 2 (zesz. 6), 1 (1926).
- [12] J. Roliński, Phys. Z., 29, 658 (1928).
- [13] M. Wolfke, Phys. Z., 29, 713 (1928); 31, 498 (1930).
- [14] D. Doborzyński, Bull. Acad. Polon. A, 97 (1930); K. Zakrzewski, D. Doborzyński, Bull. Acad. Polon. A, 300 (1930).
- [15] S. Dobiński, Bull. Acad. Polon. A, 239 (1932); Z. Phys. 83, 129 (1933).
- [16] S. Rosental, Bull. Acad. Polon. A, 377 (1928); 247 (1930).
- [17] J. Wesolowski, Bull. Acad. Polon. A (1938).
- [18] T. Piech, Bull. Acad. Polon. A, 108 (1936).
- [19] T. Nayder, Bull. Acad. Polon. A, 247 (1925).
- [20] A. Jagielski, Bull. Acad. Polon. A, 239 (1932).
- [21] M. Puchalik, Phys. Z., 33, 341 (1932); Acta phys. Polon., 2, 305 (1933), 3, 179 (1934); 4, 145 (1935).
- [22] A. Piekara, Sprawozd. i Prace Polsk. Tow. Fiz., 3, 313, 337 (1928); Koll. Z., 49, 97 (1929).
- [23] a) A. Piekara, Sprawozd. i Prace Polsk. Tow. Fiz., 4, 267 (1929); Koll. Z., 58, 283 (1932); b) Koll. Z., 59, 12 (1932).
- [24] a) A. Piekara, B. Piekara, C. R. Acad. Sci. Paris., 198, 803 (1934); b) C. R. Acad. Sci. Paris, 198, 1018 (1934).

- [25] B. Piekara, *Phys. Z.*, **37**, 624 (1936).
- [26] A. Piekara, *Bull. Acad. Polon. A*, **305**, 319, 333 (1933).
- [27] A. Goldet, A. Piekara, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **199**, 271 (1934);
A. Piekara, *J. Phys. Radium*, **5**, 541 (1934).
- [28] L. Kozłowski, *Prace Matem.-Fizyczne*, **46**, 31 (1938).
- [29] A. Piekara, B. Piekara, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **203**, 1058 (1936).
- [30] A. Piekara, M. Schéerer, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **202**, 1159 (1936);
A. Piekara, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **202**, 206 (1936).
- [31] A. Piekara, A. Chełkowski, *Compte rendu du 9^e Colloque Ampère, Bull. du Groupement Ampère*, **9** (num. spéc.), 11 (1960).
- [32] J. Herveg, *Z. Phys.*, **3**, 36 (1920).
- [33] F. Kautzsch, *Phys. Z.*, **29**, 105 (1928).
- [34] A. Piekara, B. Piekara, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **203**, 852 (1936).
- [35] A. Piekara, *Proc. Roy. Soc., A* **172**, 360 (1939).
- [36] A. Piekara, *Acta Phys. Polon.*, **10**, 37, 107 (1950); **11**, 99 (1951).
- [37] W. Clayton's *The Theory of Emulsions and Their Technical Treatment*, 5-th edition by C. G. Sumner, London, 1954; vid. pp. 241—244.
- [38] E. Heyman, *Dielektrizitätskonstante kolloider Systeme*, *Koll. Z.*, **66**, 229 (1934).
- [39] W. Schütz, *Handb. d. Experimentalphysik*, **16**, cz. I, *Magnetooptik*, Leipzig (1936).
- [40] A. J. Anselm, *Ż. eksper. teor. Fiz.*, **13**, 432 (1943).
- [41] Fradkina, *Ż. eksper. teor. Fiz.*, **20**, 1011 (1950).
- [42] A. Piekara, A. Chełkowski, *J. chem. Phys.*, **25**, 794 (1956).
- [43] A. Piekara, Z. Pająk, *Acta phys. Polon.*, **11**, 256 (1952); **12**, 170 (1953).
- [44] A. Piekara, *Materiały z konferencji Fizyków w Spale*, Warszawa 1954.
- [45] A. Piekara, *Mikrofałe i spektroskopia mikrofałowa*, Warszawa 1953.
- [46] Z. Pająk, A. Piekara, *Bull. Acad. Polon. Sci. Cl. III*, **4**, 83 (1956).
- [47] Z. Pająk, *Acta phys. Polon.*, **19**, 473, 507 (1959).
- [48] J. Stankowska, J. Stankowski, *Zeszyty Naukowe UAM*, **5**, 81 (1962).
- [49] T. Krajewski, vid. [88], str. 175.
- [50] Z. Pająk, F. Kaczmarek, J. Jastrzębski, *Bull. Acad. Polon. Sci. Cl. III*, **4**, 457 (1956);
F. Kaczmarek, J. Kryczkowski, *Bull. Acad. Polon. Sci. Cl. III*, **5**, 737 (1957).
- [51] Z. Pająk, J. Stankowski, *Proc. Phys. Soc.*, **72**, 1144 (1958).
- [52] T. Krajewski, *Acta phys. Polon.*, **19**, 731, 743 (1960).
- [53] J. Klimowski, J. Pietrzak, *Acta phys. Polon.*, **19**, 369 (1960); *Proc. Phys. Soc.*, **75**, 456 (1960).
- [54] J. Klimowski, *Physica Status Solidi*, **2**, 456 (1962).
- [55] B. Hilczer, *Bull. Acad. Polon. Sci., Cl. III*, **10**, 353 (1962).
- [56] B. Hilczer, *Bull. Acad. Polon. Sci., Cl. III*, **9**, 229 (1961).
- [57] T. Rewaj, *Physica Status Solidi*, **2**, 1151 (1962); *Acta phys. Polon.*, **24**, 45 (1963).
- [58] J. Stankowska, vid. [89], str. 207.
- [59] A. Piekara, *Festkörperphysik und Physik der Leuchtstoffe*, Akad.-Verlag, Berlin 1958, str. 191.
- [60] M. Jeżewski, T. Piech, *Acta phys. Polon.*, **14**, 395 (1955).
- [61] S. Glücksman, *Acta phys. Polon.*, **23**, 397 (1963).
- [62] A. Pilawski, *Bull. Acad. Polon. Sci., Cl. III*, **6**, 61 (1958).
- [63] a) W. Trzebiatowski, J. Wojciechowska, *J. Damm, Roczniki Chemii*, **26**, 12 (1952);
b) W. Trzebiatowski, K. Pigoń, *Roczniki Chemii*, **26**, 494 (1952).
- [64] a) K. Leibler, *J. Chim. phys.*, 677 (1959); b) K. Leibler, W. Brański, *Acta phys. Polon.*, **20**, 447 (1961).
- [65] A. Jaśkiewicz, H. Konwent, *Acta phys. Polon.*, **20**, 281 (1961); **21**, 509 (1962);
A. Jaśkiewicz, *Acta phys. Polon.*, **22**, 165 (1962).
- [66] A. Chełkowski, *J. chem. Phys.*, **28**, 1249 (1958).
- [67] A. Piekara, *Nuovo Cimento, Suppl.*, **9**, Ser. 10, 192 (1958).

- [68] A. Piekara, A. Chełkowski, S. Kielich, *Z. phys. Chem.* **206**, 375 (1957); A. Piekara, S. Kielich, A. Chełkowski, *Archives des Sciences*, fasc. spec., **12**, 59 (1959).
- [69] A. Piekara, *Acta phys. Polon.*, **18**, 361 (1959).
- [70] A. Chełkowski, *vid.* [88], str. 3.
- [71] J. Małecki, *J. chem. Phys.* **36**, 2144 (1961); *Acta phys. Polon.*, **21**, 13 (1961).
- [72] A. D. Buckingham, *Optical, Electrical and Magnetic Properties of Molecules*, Report on General and Physical Chemistry for 1960, 57 (1961).
- [73] T. Hilczer, *vid.* [88], str. 39.
- [74] A. Piekara, S. Kielich, *J. Phys. Radium*, **18**, 490 (1957); *J. chem. Phys.*, **29**, 1292 (1958); S. Kielich, *Acta phys. Polon.*, **17**, 239 (1958); *ob. także* [88], str. 69.
- [75] E. Kluk, *Acta phys. Polon.*, **20**, 845 (1961).
- [76] A. Piekara, *J. chem. Phys.*, **36**, 2145 (1961).
- [77] A. Piekara, S. Kielich, A. Chełkowski, *Archives des Sciences* **12** (fasc. spéc.), *Compte rendu du 8^e Colloque Ampère*, 59 (1959); A. Piekara, *Hochfrequenzspektroskopie*, Tagung der Phys. Ges. in der D.D.R., 212 (1961).
- [78] A. D. Buckingham, *Proc. Phys. Soc.*, B **70**, 753 (1957).
- [79] A. Piekara, S. Kielich, *Acta phys. Polon.*, **17**, 209 (1958).
- [80] A. Piekara, A. Chełkowski, *Archives des Sciences* (fasc. spec.) **9**, 11 (1960).
- [81] I. Adamczewski, *Acta phys. Polon.*, **3**, 235 (1934); **6**, 432 (1937); **8**, 31 (1939).
- [82] J. Hurwic, J. Michalezyk, K. Pogorzelska, *Roczniki Chemii*, **31**, 265 (1957); J. Michalezyk, J. Hurwic, *Nukleonika*, **6**, 503 (1961).
- [83] A. Piekara, S. Kielich, *Archives des Sciences*, **11**, 304 (1958).
- [84] A. D. Buckingham, *Proc. Phys. Soc.*, A **68**, 910 (1955); B **69**, 334 (1956); A. D. Buckingham, J. A. Pople, *Proc. Phys. Soc.*, A **68**, 905 (1955); B **69**, 1133 (1956); A. D. Buckingham, R. E. Raab, *J. Chem. Soc.* **449**, 2341 (1957).
- [85] S. Kielich, A. Piekara, *Acta phys. Polon.*, **18**, 439 (1959).
- [86] A. Piekara, R. Konopka, *Brit. J. appl. Phys.*, **12**, 50 (1961).
- [87] A. Piekara, J. Małecki, M. Surma, J. Gibalewicz, *Proc. Phys. Soc.*, B **70**, 432 (1957); M. Surma, *vid.* [88], str. 113, 131.
- [88] *Fizyka Dielektryków*, t. I., *Prace Komisji Mat.-Przyr.*, Poznańskiego Tow. Przyjaciół Nauk, t. 11. Poznań, 1962.
- [89] *Bulletin de la Societé des Amis des Sciences et des lettres de Poznań*, Serie B, **16** (1960/61).
- [90] S. Kielich, *Acta phys. Polon.*, **19**, 149, 573 (1960); **20**, 83 (1961); **22**, 299 (1962); **23**, 321, 819 (1963); *Bull. Acad. Polon. Sci.*, Cl. III, **11**, 193, 201 (1963); *Molecular Phys.* **6**, 49 (1963); *Light Scattering by an intense light beam*, *Acta phys. Polon.* (w druku).
- [91] A. Piekara, S. Kielich, *Optical Orientation of Molecules*, Third Conference on Quantum Electronics, Paris (1963); *Laser beam effect on Rayleigh light scattering* (w druku).
- [92] T. Łopuszański, *Pierwsze ośmiolate Gimnazjum im. Sulikowskich w Rydzynie* (z książki *Rydzyzna — dziesięć lat działalności Fundacji Sulikowskich*, Rydzyzna 1937); T. Łopuszański, *Szkola doświadczalna, trzechlecie 1936—1939 Gimnazjum i Liceum im. Sulikowskich w Rydzynie* (nie opublikowane).
- [93] A. Piekara, *Gimnazjum im. Sulikowskich w Rydzynie*, *Szkola eksperymentalna* (z książki *Eksperymenty pedagogiczne w Polsce w latach 1900—1939*, Ossolineum 1963).
- [94] J. G. Powles, Z. Pająk, *Proc. Phys. Soc.* (w druku).

Tadeusz Skaliński

Katedra Optyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW
Zakład Optyki Atomowej i Molekularnej Instytutu Fizyki PAN
Warszawa

O pracach Katedry Optyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego i Zakładu Optyki Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk

Gdy na wiosnę 1945 roku w ocalałym wprawdzie, ale dokładnie obrabowanym z przyrządów i ogołoconym z instalacji gmachu Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego przy ulicy Hożej zaczęli gromadzić się dokoła Profesora Pieńkowskiego jego uczniowie: asystenci i starsi studenci z lat przedwojennych i z kompletów okupacyjnych, niewiele można było wówczas myśleć o projektowaniu badań naukowych na najbliższą przyszłość. Perspektywy działania kreślone przez Profesora wysuwały na plan pierwszy organizację pierwszych lat studiów, następnie przygotowanie możliwości prowadzenia pierwszych prac magisterskich (które jednak, jak zawsze w tradycjach Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW nawet w tych, tak trudnych warunkach, miały być pracami badawczymi). Dopiero na dalszym planie rysowała się możliwość własnych prac badawczych pomocniczych pracowników nauki. Zresztą dobrze zdawaliśmy sobie już wówczas sprawę, że przy ogromnym wysiłku, jakiego będzie wymagać organizacja dydaktyki (w szczególności pracowni studenckich i pokazów do wykładów fizyki doświadczalnej) nie prędko znajdzie się czas i środki na przygotowanie własnej pracy badawczej.

Wydawało się jednak już wówczas zupełnie naturalne, że badania z zakresu Optyki Atomowej i Molekularnej, które w okresie międzywojennym stanowiły jeden z głównych nurtów pracy Instytutu zostaną podjęte i po wojnie.

Niestety jednak najcenniejsze przyrządy, jakie do tych badań posiadano zostały bezpowrotnie stracone. Wielka siatka dyfrakcyjna Wooda o promieniu krzywizny 6 m i zdolności rozszczepiającej w pierwszym rzędzie widma ponad 150 000, która przed wojną była dumą Instytutu została w czasie działań wojennych 1939 r. zniszczona. Interferometry Fabry-Perota i Lummera-Gehrckego pozostają do dziś zamurowane w ścianach nieznanego nikomu, z tych co przetrwali wojnę, domu podwarszawskiej miejscowości, gdzie ukryto je w celu uchronienia przed grabieżą okupanta. Ze spektrografów ocalał przypadkiem jeden niewielki spektrograf szklany Leissa, pożyczony na krótko

przed wybuchem wojny do Uniwersytetu Poznańskiego. Ten właśnie spektrograf, wraz z drugim niewielkim spektrografem kwarcowym, przywiezionym w 1946 r. stworzyły bazę aparaturową dla rozpoczęcia prac badawczych.

Pierwsze z nich, przynajmniej z początku wymagające stosunkowo skromnego wyposażenia nawiązywały do prowadzonych przed wojną badań nad widmami fluorescencji i absorpcji różnych związków organicznych, w szczególności zaś polimerów acenaftyleny. Badanie tych związków zsyntetyzowanych w latach trzydziestych przez profesora Dzewońskiego w Zakładzie Chemii Organicznej UJ zostało zapoczątkowane w całym szeregu prac. Napotkano jednak wówczas na wiele trudności interpretacyjnych (niezależność wzbudzania różnych grup pasm), które dopiero udało się przezwyciężyć po niemal dziesięcioletnich badaniach powojennych (1946—55). Wprowadzono przy tym zarówno nowe techniki eksperymentalne (chromatograficzne rozdzielanie różnych substancji składających się na badany związek, spektrofotometria fotoelektryczna), jak też i nowe sposoby podejścia teoretycznego (model metaliczny cząsteczek organicznych, metodę orbitali molekularnych). Położenie spektralne i struktura oscylacyjna widm uwodornionych pochodnych fluorocyklenu wykazywały wiele podobieństw do widm acenaftenu i naftalenu. Rozdzielenie chromatograficzne tych substancji pozwoliło przede wszystkim na upewnienie się, że to nie zanieczyszczenia są odpowiedzialne za wystąpienie analogii w strukturze pewnych obszarów widma. Analiza całego zebranego materiału pozwoliła Z. Małkowskiemu na wysunięcie i uzasadnienie hipotezy o współistnieniu w roztworze form tautomerycznych różniących się zasadniczo właściwościami optycznymi. To ujęcie pozwoliło na wyjaśnienie w sposób zasadniczy niezrozumiałych uprzednio faktów.

W podobnym kierunku rozwinęły się badania K. Rosińskiego nad termicznym wygaszaniem fluorescencji roztworów pochodnych acenaftenu. I tu wykazano, że hipoteza występowania trwałych odmian tautomerycznych odpowiadających różnym wzajemnym ustawieniom grup antracenowych (czemu odpowiadają różne energie) pozwala na zgodne z doświadczeniem wytłumaczenie zależności wygaszania fluorescencji od temperatury.

Inne ciekawe wyniki uzyskał S. Czarnecki badając fosforescencję i długocieczną fluorescencję roztworów stałych różnych cząsteczek organicznych, w szczególności naftalenu i jego pochodnych. Wyznaczając temperatury aktywacji przejścia między elektronowym stanem wzbudzonym metatrwałym i stanem wzbudzonym fluorescencyjnym zaobserwował on interesującą anomalię dla naftalenu, który wykazuje to przejście nawet w bardzo niskich temperaturach. Jako możliwą interpretację tego zjawiska Czarnecki proponuje przekazywanie energii między dwiema cząsteczkami naftalenu wzbudzonymi do stanu metatrwałego, która prowadzi do dezaktywacji jednej z nich i do przeniesienia drugiej do stanu fluorescencyjnego. Takie przejścia, zgodne z regułą Wignera, zostały później znalezione i w innych pracach.

Wraz ze wzbogacaniem się pracowni w aparaturę do badań optycznych (otrzymano stopniowo mikrofotometr rejestrujący, spektrografy szklane wielkiej

jasności i dużej zdolności rozdzielczej i duży autokolimacyjny spektrograf Hilgera) można było zacząć rozwijać badania optyczne i w innych kierunkach.

Dalszym nawiązaniem do problematyki przedwojennej było podjęcie badań zjawiska Ramana, rozszerzone później na badania widm oscylacyjnych w podczerwieni. W tym kierunku zarysowały się następujące główne linie badań. Prześledzenie wpływu temperatury na szerokość linii ramanowskich może dostarczyć nam wiadomości o procesach relaksacyjnych orientacji cząsteczek w cieczy (B. Moszyńska dla CCl_4 , SiCl_4 , TiCl_4). Zmiany temperaturowe natężenia i położenia linii widmowych w podczerwieni mogą służyć za drogowskaz przy analizowaniu różnych mechanizmów oscylacji (R. Mierzecki dla znacznej liczby pochodnych benzenu).

Inną grupę badań widm oscylacyjnych przedstawiają studia nad wpływem oddziaływań międzycząsteczkowych na te widma. Pomiaru prowadzono w różnych mieszaninach (cząsteczek polarnych i niepolarnych) w fazie ciekłej i krystalicznej. Powstające zmiany w widmie ramanowskim (powstawanie nowych linii, przesuwanie się istniejących) pozwalają np. na wnioskowanie o fakcie tworzenia się kompleksów i na ustalenie ich składu (Mierzecki dla mieszanin pirydyny i kwasów tłuszczowych), na wykrycie wiązań międzymolekularnych typu wiązania wodorowego (A. Tramer dla mieszanin SO_2 z pirydyną i S. Brahms dla CHCl_3 i CHBr_3 z dietylamina).

Zastosowanie badań polaryzacji linii ramanowskich i absorpcyjnych w podczerwieni przez zorientowane monokryształy (metoda rozwinięta przez J. P. Mathieu) pozwoliło na niezawodne ustalenie całego szeregu struktur krystalicznych (Tramer — azotyny i rodanki kompleksowe).

Warto wspomnieć, że ten kierunek badań znajduje się obecnie w fazie intensywnego rozwoju. Badania ramanowskie i w podczerwieni są uzupełniane badaniami widm absorpcji i fluorescencji, a w budowie znajduje się aparatura do tzw. spektroskopii błyskowej (badanie widm przy pompowaniu do stanów metatrwałych).

W dziedzinie spektrografii widm atomowych w 1955 roku podjęto w Katedrze Optyki badania nad problemem formy linii widmowej, gdy jest ona rozszerzona przez działanie gazu obcego. W pracach tych nawiązano do doświadczeń Jabłońskiego i Horodniczego z 1939 r., stawiając sobie za zadanie prześledzenie wpływu różnych parametrów na formę linii w możliwie prostych sytuacjach. Pierwsze badania przeprowadzone przy pomocy dużego spektrografu autokolimacyjnego Hilgera przyniosły już pewne interesujące wyniki (jak np. niezależność wielkości absorpcji całkowitej od liczby na sekundę zderzeń z atomami gazu obcego przy innych parametrach ustalonych T. Skaliński, D. Trynkowska, J. Rogaczewski i T. Grycuk). Wyniki te wskazały na celowość dokładniejszego prześledzenia samego kształtu linii. Do tego celu służy zakupiona w 1961 r. i obecnie już ustawiona i używana wielka siatka dyfrakcyjna o promieniu krzywizny $R = 6020$ mm i ogólnej liczbie rys 185 000 (na milimetrze 1200 rys). Użycie tej siatki pozwoli na przebadanie rozkładu

nateżeń w linii, w szczególności w obszarze bliskim części centralnej. Da to możliwość porównania wyników z teorią Jabłońskiego przypisującą rozkład nateżeń w tym obszarze oddziaływaniu z wieloma jednocześnie atomami zakłócającymi, podczas gdy oddziaływanie z jednym — najbliższym atomem zakłócającym objaśnia dobrze rozkład nateżeń w skrzydle linii rozszerzonej. Interesujących wyników można spodziewać się również z porównania rozszerzenia linii rezonansowych układu singletowego z rozszerzeniem linii interkombinacyjnych. Różnice czasów życia o kilka rzędów wielkości pozwalają oczekiwać różnego zachowania się obu typów linii wówczas, gdyby za rozszerzenie była odpowiedzialna częstość następowania zderzeń po sobie, a nie statystyczny rozkład atomów w przestrzeni dokoła atomu badanego. W większości przypadków badane linie singletowe przypadają w obszarze tak dalekiego nadfioletu, że konieczne jest stosowanie spektrografów próżniowych. Konstrukcję własną takiego spektrografu do celów wywiadowczych właśnie ukończono (Rogaczewski).

Metody pompowania optycznego i optycznej detekcji rezonansu magnetycznego zapoczątkowane przez Kastlera i Brossela w 1949 r. nie mogły pozostać bez echa w ośrodku zajmującym się badaniami spektroskopowymi. W 1957 r. autor niniejszego artykułu przebywał w Paryżu w Laboratorium Fizycznym École Normale Supérieure kierowanym przez A. Kastlera. W czasie tego pobytu zostało przez autora kompletnie przebadane widmo rozszczepienia magnetycznego stanu podstawowego atomu cezu oraz uzyskano po raz pierwszy detekcję optyczną przejść rezonansu magnetycznego (w obszarze mikrofalowego pasma X) między podpoziomami nadsubtelnymi tego pierwiastka.

Stosowanie metody detekcji optycznej rezonansu magnetycznego w parach zorientowanych atomów doprowadziło do wykrycia wielu nowych, bardzo interesujących zjawisk, jak np. występowanie przejść wielokwantowych, manifestowanie zjawisk spójnej superpozycji stanów atomu, przekazywanie orientacji atomów drogą zderzeń wymiennych. Główne zainteresowania w badaniach rozwijanych w Zakładzie Optyki IFPAN po 1958 roku dotyczą różnych przejawów zjawiska spójnej superpozycji stanów. W końcowej fazie budowy znajduje się aparatura doświadczenia stanowiącego pewną modyfikację doświadczenia Hanlego nad depolaryzacją promieniowania rezonansowego przez pole magnetyczne (T. Skaliński, A. Kopystyńska i K. Ernst). Jeśli mianowicie wzbudzamy promieniowanie rezonansowe światłem liniowo spolaryzowanym, a rezonans obserwujemy prostopadle do kierunków polaryzacji i rozchodzenia się wiązki wzbudzającej, to wiadomo, że pole magnetyczne przyłożone wzdłuż kierunku obserwacji wywołuje depolaryzację promieniowania rezonansowego; całkowitą przy dostatecznie dużych nateżeniach pola. Jeśli jednak, zamiast wzbudzać rezonans optyczny wiązką o stałym nateżeniu będziemy używali wiązki o modulowanej amplitudzie, przy tym częstość modulacji będzie dokładnie równa częstości Larmora, wówczas wiązka rezonansowa winna wykazać modulację. Częstość tej modulacji będzie dwukrotnie większa niż częstość modulacji wiązki wzbudzającej. W języku półklasycznym tłumaczyć możemy

to zjawisko przez synchroniczne wzbudzenie dipoli wykonujących precesję dookoła kierunku pola. W języku fizyki kwantowej możemy mówić o spójnym wzbudzeniu dwóch różnych podpoziomów zeemanowskich, bowiem światło wzbudzające wskutek modulacji zawiera oprócz częstości nośnej jeszcze dwa pasma boczne o częstościach odpowiadających ściśle wspomnianym częstościom zeemanowskim (modulacja odbywa się z częstością Larmora).

Innego typu doświadczenie, również dotyczące zagadnienia spójności stanów, to poszukiwanie modulacji promieniowania rezonansowego w obecności oscylującego pola elektromagnetycznego o częstości rezonansowej między podpoziomami zeemanowskimi stanu podstawowego. Poprzednio już stwierdzono, że taką modulację (którą można opisać jako wynik dudnień spójnie wzbudzonych różnych składowych zeemanowskich) można uzyskać przez zastosowanie oscylującego pola o częstości odpowiadającej rezonansowi między podpoziomami zeemanowskimi stanu wzbudzonego. Prowadzi to do wytworzenia spójnej superpozycji stanów wyjściowych dla rezonansu optycznego. Teoretyczne rozważania przewidują jednak istnienie pewnej „pamięci“ spójnej superpozycji w stanie podstawowym, jeszcze przed wzbudzeniem do optycznego rezonansu. Celem doświadczeń prowadzonych przez Rosińskiego jest wykrycie zjawisk modulacji rezonansu przy wprowadzeniu spójności jeszcze w stanie podstawowym. Pierwsze pozytywne wyniki badań dla sodu już zostały otrzymane.

Dalsze przejawy spójnej superpozycji stanów można uzyskać wówczas, gdy przez stosowny dobór pola magnetycznego, w którym znajdują się badane atomy, doprowadzamy do przecięcia np. podpoziomów zeemanowskich należących do różnych stanów nadsubtelnego rozszczepienia. W tej sytuacji obserwuje się zmianę przestrzennego rozkładu natężenia promieniowania wysyłanego przez badane atomy. Dokładny pomiar natężenia pola, dla którego ten efekt jest obserwowany, pozwala na wyznaczenie wielu interesujących stałych dla danego atomu (stałej Landego, stałej rozszczepienia nadsubtelnego itp.). Prace na ten temat dla rubidu są już w stanie zaawansowanym. Obliczono przebieg krzywych Breita-Rabiego (zależności energii atomu od natężenia pola magnetycznego) dla obszaru pola pośredniego, oszacowano wielkość i szerokość oczekiwanego sygnału (J. Kapelewski). Aparatura do badań jest również w końcowej fazie montażu (M. Krańska i I. Bany).

Badania nad pompowaniem optycznym prowadzą w prostej linii do jednego z najbardziej fascynujących zastosowań tej idei — mianowicie do kwantowych wzmacniaczy promieniowania (laserów). Podjęcie całości problematyki konstrukcji tych urządzeń wykracza daleko poza techniczne możliwości Katedry i Zakładu Optyki. Jednakże, gdy problematyka ta została podjęta przez Zakład Budowy Aparatury Naukowej IFPAN od pierwszego momentu Katedra i Zakład Optyki ściśle z Zakładem Budowy Aparatury współpracowała, głównie w zakresie problemów optycznych i techniki pompowania.

Jak wszyscy dobrze pamiętamy, Optyka Atomowa i Molekularna była głównym polem działalności Profesora Stefana Pieńkowskiego, a szeroki

rozgłos, jakim się cieszył przed wojną Instytut Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego opierał się w przeważającej części na osiągnięciach badań optycznych. Warszawska grupa uczniów i współpracowników Profesora Pieńkowskiego, która pozostała wierna tej dziedzinie fizyki z radością powitała ogromny wzrost zainteresowania badaniami optycznymi, jaki przejawiał się w ciągu ostatnich lat na całym świecie. Jest to niemały triumf przewidującej myśli Profesora Pieńkowskiego, który wbrew szerzącym się opiniom nigdy nie uważał optyki za naukę wyczerpaną, bez przyszłości i znaczenia.

Leonard Sosnowski

Uniwersytet Warszawski
Instytut Fizyki PAN
Warszawa

Badania optyczne półprzewodników

Szkoła fizyki na „Hożej“ stworzona i kierowana przez przeszło ćwierć wieku przez Stefana Pieńkowskiego była przede wszystkim ośrodkiem badań optycznych. Chociaż problematyka badań obejmowała i inne dziedziny fizyki, badanie widm optycznych, atomów i cząsteczek stanowiło niewątpliwie główny kierunek osobistych zainteresowań Profesora i prac Jego uczniów.

Dla Profesora Pieńkowskiego badanie widm nie stanowiło nigdy celu, lecz było środkiem dla poznania zjawisk, rozgrywających się w świecie atomów. Dyskusje i seminaria, oddziaływanie osobiste Profesora, cała atmosfera Zakładu, uczyły nas, Jego uczniów, szukać poza prążkami i pasmami widm rejestrowanych na kliszach fotograficznych przejawów praw rządzących w mikroświecie.

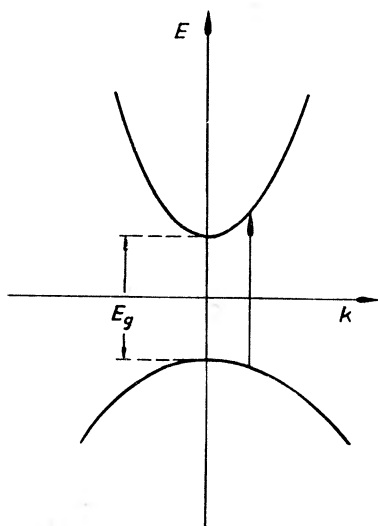
Gdy po zniszczeniach wojennych Stefan Pieńkowski przystępował do odbudowy „Hożej“, pragnął stworzyć wielki warsztat pracy doświadczalnej, w którym reprezentowane były główne, aktualne kierunki badań fizycznych. Jednym z tych nowych kierunków była fizyka ciała stałego.

W latach czterdziestych na czoło zainteresowań w fizyce ciała stałego wysunęły się półprzewodniki, a w szczególności badanie ich własności elektrycznych. Wiązały się one z nowymi, interesującymi zastosowaniami w technice, one też były przede wszystkim przedmiotem interpretacji teoretycznych. Model pasmowy, który odegrał tak ważną rolę w rozwoju fizyki ciała stałego stanowi przede wszystkim próbę zrozumienia własności elektrycznych metali i półprzewodników.

Wiadomo powszechnie, w jak wielkim stopniu metody optyczne, spektroskopowe przyczyniły się do poznania najpierw budowy atomu, a później jądra atomowego. Badania widm pochłaniania, rozpraszania i emisji czyli badanie oddziaływania promieniowania z atomami pozwoliło wnikać głęboko w ich strukturę, stając się jednym z głównych źródeł informacji o mikroświecie. Odmierna sytuacja istniała w dziedzinie badań nad ciałem stałym. Widma absorpcyjne ciał stałych w nadfiolecie, części widzialnej i w podczerwieni zawierają szerokie, stosunkowo słabo zdefiniowane pasma o złożonym charakterze. Nie poddawały się one łatwo interpretacji teoretycznej i zdawało się, że z natury swej nie mogą dostarczyć precyzyjnych informacji.

Postęp w zakresie metod doświadczalnych i stały rozwój teorii łącznie spowodowały, że metody optyczne stały się obecnie najpotężniejszym i najbardziej precyzyjnym narzędziem poznania stanów elektronowych w ciele stałym. Badanie widm absorpcji, odbicia i emisji, w szczególności w obecności pól magnetycznych dostarcza bogactwa informacji nieosiągalnych na innej drodze.

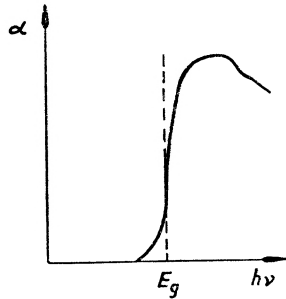
Tradycje badań optycznych Szkoły Stefana Pieńkowskiego predestynowały Warszawski Ośrodek do rozwijania metod optycznych w badaniach nad ciałem stałym. Poważna część prac prowadzonych w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Warszawskiego i w Zakładzie Fizyki Półprzewodników Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk opiera się na stosowaniu metod optycznych.



Rys. 1

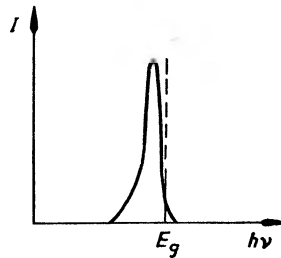
Stan kwantowy elektronu w kryształach możemy scharakteryzować, przez wskazanie pasma, do którego dany stan należy oraz przez podanie wektora falowego k wyznaczającego ten stan w obrębie pasma. Ponieważ pasma stanowią ciąg dyskretny, możemy je ponumerować za pomocą wkaźnika n ; energia elektronu wyrazi się funkcją $E_n(k)$. Funkcja $E_n(k)$ przy danym n charakteryzuje strukturę pasma; poznanie tych funkcji stanowi podstawowe zadanie fizyki ciała stałego. W przypadku półprzewodników zasadniczą rolę odgrywają dwa pasma: pasmo elektronów walencyjnych oraz najniższe pasmo, zawierające stany wzbudzone, zwane pasmem przewodnictwa. Ze względu na degenerację i częściowe pokrywanie się pasm zarówno pasmo walencyjne, jak i pasmo przewodnictwa może stanowić zespół kilku nakładających się pasm. Najprostszą z możliwych konfiguracji pasm przedstawia rys. 1. Oddziaływanie elektronów z promieniowaniem, to jest przejścia optyczne między pasmami zachodzą przy zachowaniu reguły wyboru, która nie dopuszcza zmiany k . Mamy zatem

dla przejść optycznych regułę $\Delta k = 0$, co odpowiada na rysunku przejściom pionowym. Dla półprzewodnika o strukturze pasmowej wskazanej na rys. 1 widmo absorpcji miałoby charakter odpowiadający rys. 2, a widmo emisji (tzw. świecenie rekombinacyjne) rys. 3. Znajomość tych widm pozwoliłaby



Rys. 2

wyznaczyć przerwę energetyczną E_g pomiędzy pasmami oraz wyciągnąć wnioski, dotyczące rozkładu gęstości stanów w obrębie pasm. Zamiast widma absorpcji wygodniej jest nieraz badać widmo odbicia. Pomiedzy współczynnikami odbicia R i absorpcji α zachodzi znany związek $R = \frac{(n-1)^2 + \kappa^2}{(n+1)^2 + \kappa^2}$, gdzie n jest współczynnikiem załamania. Ponieważ pochłonięcie kwantu promieniowania powoduje zarazem generację pary nośników prądu: elektronu w pasmie prze-



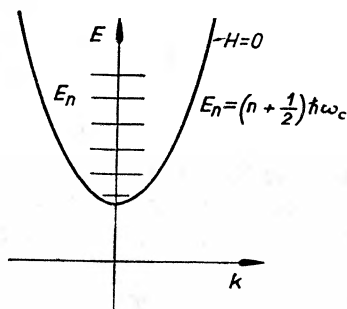
Rys. 3

wodnictwa i dziury w pasmie walencyjnym, z absorpcją promieniowania związane jest fotoprzewodnictwo. Badanie widmowego rozkładu fotoprzewodnictwa stanowi dalsze źródło informacji o strukturze pasmowej.

W rzeczywistości jednak przebieg zjawisk jest niepomernie bardziej złożony, niżby na to wskazywał tak uproszczony schemat. Wiele czynników decyduje o złożoności zjawisk.

Sieć krystaliczna jest ośrodkiem dynamicznym zdolnym do wykonania drgań. Ruch podlega oczywiście prawom mechaniki kwantowej; możemy go traktować jako superpozycję drgań harmonicznych, z którymi wiążemy quasi-cząstki — fonony. Musimy brać pod uwagę sprzężenie elektronów zarówno

z polem elektromagnetycznym — fotonami, jak również z polem sieci — fononami. Oddziaływanie jednocześnie elektronu z fotonem i fononem prowadzi do przejść skośnych, to jest zachodzących zarówno ze zmianą energii E , jak i pędu k . Drugim czynnikiem komplikującym jest elektrostatyczne oddziaływanie dziury i elektronu prowadzące do stanów związanych — ekscytonów. Jeżeli do tego dodamy degenerację i wzajemne nakładanie się pasm, występowanie minimów i maksimów w pasmach w punktach przestrzeni fazowej o $k \neq 0$, obecność poziomów lokalnych w przerwie energetycznej między pasmami, to otrzymamy niezmiernie złożony obraz zjawisk, którego rozszyfrowaniu poświęconych jest setki a nawet tysiące prac doświadczalnych i teoretycznych. Każdy prawie nowy materiał, każdy typ symetrii krystalograficznej



Rys. 4

nasuwa nowe, specyficzne problemy i wnioski uzyskane z wielkim nakładem pracy dla jednego ciała nie mogą być przeniesione na inne.

W tych krótkich uwagach, mających na celu wskazanie, jak obszerną dziedziną badań jest optyka ciała stałego, nie można pominąć roli pola magnetycznego. Pole magnetyczne zmienia zasadniczo charakter stanów elektronowych w kryształach. W dostatecznie silnym polu magnetycznym ruch elektronu z prostoliniowego zamienia się na kołowy, a więc periodyczny (w płaszczyźnie prostopadłej do pola). W związku z tym pasmo rozpada się na zbiór dyskretnych poziomów, zwanych poziomami Landaua o energii $E = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega_c$, gdzie

$\omega_c = \frac{eH}{m^*c}$ (rys. 4). Oddziaływanie z polem fononowym powoduje rozmycie

tych poziomów. W odpowiednich warunkach można jednak obserwować zjawiska rezonansowe i oscylacyjne w widmach optycznych. Występują również typowo magnetoptyczne zjawiska, jak zjawisko Faradaya (skręcenie płaszczyzny polaryzacji) i zjawisko Voigta (zmiana eliptyczności). Ponieważ zjawiska te można związać z występowaniem dyskretnych poziomów Landaua, a te z kolei ze strukturą pasm, badania w dziedzinie magnetoptyki dostarczają najbardziej dokładnych danych i pozwalają na krytyczne porównanie teorii z doświadczeniem.

Ta bardzo ogólna charakterystyka badań w dziedzinie optyki półprzewodników ułatwi omówienie prac Ośrodka Warszawskiego.

W pierwszym rzędzie można wymienić badania nad wewnętrznym zjawiskiem fotoelektrycznym, rozpoczęte jeszcze w latach czterdziestych. Należą tu prace L. Sosnowskiego, A. Wolskiej, H. Chęcińskiej i J. Ostrowskiego nad związkami półprzewodnikowymi PbS, PbSe, PbTe oraz Tl_2S . Pozwoliły one ustalić poprawną wartość przerwy energetycznej w tych materiałach oraz doprowadziły do odkrycia nowego mechanizmu rekombinacji elektronów i dziur. Metoda fotoelektryczna posiada dużą przydatność w poznaniu mało zbadanych materiałów; w chwili obecnej prowadzone są prace nad fotoprzewodnictwem monokrystalicznego boru.

W latach ostatnich główny nacisk został położony na badanie widm absorpcji i odbicia od półprzewodnikowych monokryształów. Prace W. Wardzińskiego, W. Giriata, J. Raułuskiewicza przyczyniły się do poznania struktury pasmowej CdSe, CdTe i kryształów mieszanych CdTe—HgTe. Widma odbicia badane były przez I. Filińskiego i J. Raułuskiewicza. Widma emisyjne są przedmiotem prac I. Filińskiego, A. Torunia i T. Figielskiego. T. Figielski wysunął interesującą koncepcję, dotyczącą natury świecenia obserwowanego na złączach *n-p* w krzemie. Według tej interpretacji świecenie to jest przejawem promieniowania hamowania elektronów na zjonizowanych centrach w półprzewodniku, analogicznie do znanego zjawiska *bremmsstrahlung* w dziedzinie rentgenowskiej. Najnowszym kierunkiem są prace w dziedzinie magnetoptyki. M. Suffczyński był pierwszym, który sformułował kwantową teorię zjawiska Faradaya dla przejść międzypasmowych. Zbadanie doświadczalne tego zjawiska było dokonane przez J. Kołodziejczaka, B. Laxa i Y. Nischinę. Dalsze prace w dziedzinie magnetoptyki prowadzone są w Warszawie przez J. Kołodziejczaka, W. Zawadzkiego, J. Raułuskiewicza i L. Śniadowera.

W ostatnich latach życia Stefana Pieńkowskiego wśród wielu fizyków, nie wyłączając Jego uczniów utrzymywało się przekonanie, że wielkie odkrycia w dziedzinie optyki należą już do przeszłości i że dziedzina ta skazana jest na wyczerpanie. Lata ostatnie przyniosły zdumiewający renesans optyki. Odkrycie stymulowanej emisji wysunęło znów optykę na czołowe miejsce w badaniach fizycznych i wróży również nowy okres w optyce ciała stałego. W dziesiątą rocznicę śmierci Stefana Pieńkowskiego umiłowana przez Niego dziedzina badań zachowała pełną żywotność i stoi u progu bujnego rozwoju.

Włodzimierz Żuk

Katedra Fizyki Doświadczalnej UMCS
Lublin

O niektórych zagadnieniach spektrometrii mas i spektroskopii jądra atomowego

Wstęp

Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej jest najmłodszym uniwersytetem w Polsce; za rok, w październiku 1964 r. obchodzić będzie 20-lecie swego istnienia. Jednocześnie Uniwersytet M CS jest tą uczelnią w Polsce, która pierwsza, na skrawku odzyskanej ziemi, gdy na Wiśle utrzymywał się jeszcze front, rozpoczęła swą pracę. Początkowo został utworzony tylko jeden wydział, Matematyczno-Przyrodniczy, na nim zaś jedna katedra fizyki, a mianowicie, Katedra Fizyki Doświadczalnej. Organizacja uniwersyteckiego zakładu fizyki w tych radosnych lecz jednocześnie i trudnych dla Kraju chwilach była możliwa jedynie dzięki temu, że znaleźli się w mieście, które dotąd nigdy nie posiadało przyrodniczych wydziałów uniwersyteckich, fizycy z innych ośrodków, w szczególności z ośrodka warszawskiego. Dla tych ludzi Instytut Fizyki Doświadczalnej na Hożej, taki jakim go pamiętali sprzed wojny był wzorem naukowego zakładu, zaś jego twórca Profesor Stefan Pieńkowski ideałem fizyka i organizatora.

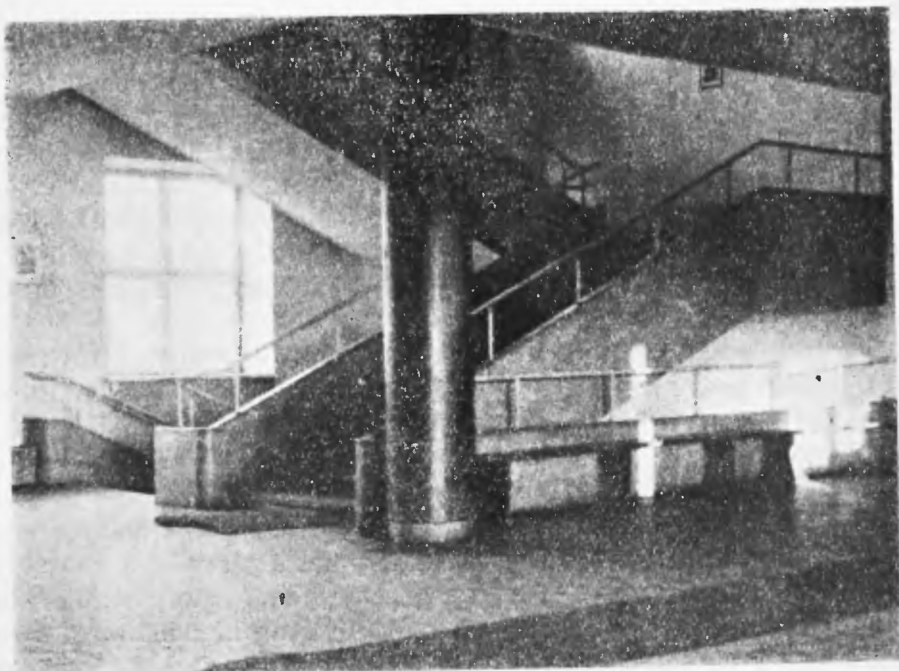
Pierwsze dydaktyczne pracownie fizyczne, które powstały, chociaż organizowane bardzo skromnymi środkami, były przecież wzorowane na pracowniach z Hożej, zaś pierwsza opublikowana jeszcze w 1946 r. praca na temat fosforescencji kryształów, była pracą magisterską wykonaną pod kierunkiem Profesora Stefana Pieńkowskiego [1].

Gdy w czasie okupacji odwiedzałem Profesora, przypominał aby nie zapominać o fizyce i dalej kształcić się, gdyż będzie to Krajowi potrzebne. Po wojnie nadal służył zawsze radą i pomocą, gdyż był nie tylko wielkim fizykiem, lecz także oddanym sprawie poznania prawdy nauczycielem i wychowawcą.

W roku 1947, na propozycję profesora Stanisława Ziemeckiego, kierownika Katedry, podjęta została problematyka naukowa z zakresu spektrometrii mas, zaś w 1949 r. ogłoszona pierwsza praca o zjawiskach jonizacyjnych w spektrometrze masowym [2]. Praca ta zapoczątkowała nowy kierunek badań, kontynuowany do chwili obecnej w Katedrze. Aparatura zbudowana wówczas, pierwsza tego typu w Polsce, do chwili obecnej działa, dobrze spełniając swe zadanie.



Rys. 1. Gmach Fizyki Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej



Rys. 2. Wnętrze Gmachu Fizyki

Drugi kierunek badań, spektroskopia jądra atomowego, został podjęty w Katedrze zaledwie przed kilku laty. W chwili obecnej jednak także i z tego kierunku badań Katedra posiada sporo publikacji, a jednocześnie, co w fizyce jądrowej odgrywa niemałą rolę, dość dobrze skompletowaną aparaturę i przygotowaną tematykę naukową.

Co to jest spektrometria mas

Doświadczenia J. J. Thomsona z lat 1911—1913, w których uczony ten poddawał promienie kanalikowe jednoczesnemu działaniu pól elektrycznych i magnetycznych, pozwalały wyznaczyć stosunek mas do ładunków jonów wchodzących w skład odchylonej wiązki [3]. Prace te zostały następnie podjęte przez F. W. Astona, który w 1919 r. zbudował aparaturę pozwalającą ogniskować jony o tych samych stosunkach m/e wzdłuż krótkich odcinków i rejestrować je na kliszach fotograficznych. Uzyskiwane na kliszach obrazy przypominały fotografie liniowych widm optycznych i dlatego aparaturę Astona nazwano spektrografem mas [4]. Stosując fotograficzną metodę rejestracji Aston stwierdził istnienie izotopów szeregu pierwiastków i wyznaczył ich masy. W latach następnych skonstruowano szereg nowych typów spektrografów o znacznie większej sile rozdzielczej, pozwalających wyznaczać masy z dokładnością do milionowych części jednostki masy atomowej. Z bardziej znanych prac w tej dziedzinie są prace Dempstera, Bainbridge'a i Jordana oraz Mattaucha i Herzoga [5, 6].

Wchodzące w skład promieni kanalikowych jony mają różne energie i dlatego do oddzielenia składników o różnym stosunku m/e należy stosować dwa pola: jednorodne magnetyczne będące analizatorem pędów oraz radialne elektryczne, działające jako analizator energii. W przypadku jednak gdy rozporządzamy monoenergetyczną wiązką jonów analiza mas jest możliwa także przy zastosowaniu tylko pojedynczego pola, np. jednorodnego magnetycznego. Taką metodę analizy mas zastosował jeszcze w 1919 r. Dempster. W metodzie tej jony są przyspieszane do stosunkowo niskich energii, lecz ściśle taką samą różnicą potencjałów. Ponieważ przy energiach rzędu 1—2 keV jony kliszy fotograficznej nie zaczerniają, wykrywa się je metodami elektrometrycznymi. Metoda ta, nazwana spektrometryczną, została rozwinięta przez Niera, który w latach czterdziestych i pięćdziesiątych w ten sposób wyznaczył z dużą dokładnością skład izotopowy szeregu pierwiastków [7, 8].

Znajomość dokładnych mas atomów i jąder ma oczywiście duże znaczenie w fizyce jądrowej. Z uwagi jednak na skończoną liczbę rodzajów jąder stabilnych, w chwili obecnej zakres nowej tematyki z dziedziny spektrografii mas jest dość ograniczony.

Inaczej przedstawia się sytuacja w dziedzinie spektrometrii mas. Już samo zagadnienie składu izotopowego pierwiastków może dostarczać stale aktualnej problematyki naukowej, jeżeli tylko zechcemy badać procesy rozdzielenia izotopów zachodzące zarówno w przyrodzie w warunkach naturalnych, jak

też sprawdzać wyniki doświadczeń nad rozdzielaniem izotopów wykonywanych w laboratoriach.

Niezależnie od tych zagadnień, w latach ostatnich stała się niezwykle aktualna sprawa zastosowania metod spektrometrycznych do badania zjawisk jonizacyjnych w gazach, do fizyki plazmy oraz kinetyki reakcji chemicznych. Oddzielną także dziedziną stosowania spektrometrii mas jest chemia analityczna. W tej sytuacji już dziś można mówić o odrodzeniu problematyki naukowej, w której znajduje zastosowanie metoda spektrometrii mas [9, 10].

Aktualna tematyka naukowa

1. Badanie elementarnych zjawisk jonizacyjnych w gazach

Technika spektrometrii mas umożliwia badanie zjawisk jonizacyjnych zachodzących w gazach pod wpływem najrozmaitszych czynników, np. bombardowania elektronowego, jonowego, zderzeń z atomami obojętnymi lub zjawiska fotojonizacji. Wyznaczane są więc potencjały pojawienia się jonów pojedynczo i podwójnie zjonizowanych, badane są procesy jonizacji i wzbudzenia wywołane różnymi czynnikami [11, 12, 13]. Obszerny dział stanowi zagadnienie jonizacji atomów wywołanej bombardowaniem jonami dodatnimi i zachodzącej przy tym wymianie ładunku [14, 15]. Bardzo wiele prac zostało poświęconych zagadnieniu tworzenia się jonów ujemnych. Badane są więc procesy tworzenia się jonów ujemnych w drodze jonizacji powierzchniowej lub drogą fotojonizacji [16, 17, 18]. Odwrotnym do procesu fotojonizacji jest proces przyłączenia elektronu do obojętnego atomu z jednoczesną emisją kwantu świetlnego. Szereg prac poświęconych zostało wybranym przypadkom fotojonizacji, jak np. procesom jonizacyjnym zachodzącym w argonie, fotojonizacji w wodorze lub fotojonizacji związków bardziej złożonych [19, 20, 21]. Dyskutowana jest także możliwość stosowania techniki fotojonizacji w analitycznej spektroskopii mas [22]. Innym, nie mniej ciekawym zagadnieniem jest badanie jonów metastabilnych powstających np. w azocie. Badanie widm uzyskiwanych przy pomocy spektrometru mas pozwala na stwierdzenie istnienia takich połączeń atomów i jonów, jakich w związkach trwałych nigdy nie obserwujemy. Analizując widma można więc stwierdzić istnienie jonów cząsteczkowych gazów szlachetnych Ar_2^+ , Ne_2^+ lub He_2^+ i jeszcze bogatszej kombinacji atomów pierwiastków czynnych chemicznie lub gazów szlachetnych [23, 24].

Obszerną dziedziną, w której szerokie zastosowanie znajduje spektrometria mas, są zjawiska jonizacji powierzchniowej. Z tej dziedziny opracowywana problematyka obejmuje badania wtórnej emisji jonowej wywołanej bombardowaniem tarcz jonami, jak też termoemisji [25, 26].

Niektóre prace poświęcone są teorii emisji termojonowej, polowej lub wyjaśnieniu mechanizmu jonizacji powierzchniowej [27], inne badaniu zjawisk termoemisji w poszczególnych przypadkach, jak np. termoemisji z niklu lub

wolframu [28], względnie badaniu wpływu pola elektrycznego na temperaturę pojawienia się dodatnich jonów w procesie jonizacji powierzchniowej [29].

Metodą jonizacji powierzchniowej wyznaczane są potencjały jonizacyjne poszczególnych pierwiastków, w szczególności ciężkich [30].

Zjawisko termoemisji wykorzystywane jest w końcu dla uzyskiwania strumieni jonowych. Szereg źródeł jonów pracuje na tej zasadzie, przy czym proponowane są najrozmaitsze rozwiązania konstrukcyjne mające na celu ulepszenie metod analizy przy użyciu tego typu źródeł, a w szczególności zwiększenia dokładności wyznaczenia stosunku izotopowego pierwiastków. Dokładność ta zaś w pierwszym rzędzie zależy od wyróżnienia mas, które wykazują źródła pracujące na zasadzie termoemisji [31, 32, 33].

2. Zastosowanie spektrometrii masowej do badań wyładowania w gazie i w fizyce plazmy

Metodami spektrometrycznymi można także wyznaczać widmo masowe jonów pojawiających się podczas określonego typu wyładowania gazowego. Modyfikacja aparatury pozwala na wyznaczenie nie tylko widma mas, ale także i energii jonów powstających w wyładowaniu [34]. Z tego względu nową dziedziną, w której znalazła zastosowanie spektrometria jest fizyka zjonizowanych gazów, jak też i fizyka plazmy. Uzyskane widma masowe pozwalają na określenie stosunku ilościowego jonów oznaczonych mas, pojawiających się w wyładowaniu elektrycznym danego typu. Dodatkowe informacje można uzyskać wyznaczając rozkłady energetyczne tych jonów. Badania tego typu były prowadzone dla wyładowania jarzeniowego w azocie z domieszką wodoru i tlenu oraz wyładowania w gazach szlachetnych [35, 36]; są także prace dotyczące badania jonizacji zachodzącej w płomieniu przy niskim ciśnieniu.

3. Skład izotopowy pierwiastków

Skład izotopowy pierwiastków występujących w przyrodzie w warunkach naturalnych może ulegać wahaniom w wyniku różnego ich pochodzenia, jak też zachodzących samorzutnie procesów rozdzielenia. Przykładem pierwszego typu pierwiastków może być ołów, hel, argon. Dwa pierwsze powstają w wyniku rozpadu pierwiastków ciężkich, uranu 238 lub 235 oraz toru; ostatni jest produktem rozpadu potasu 40. Skład tych pierwiastków będzie więc różny zależnie od tego czy powstały one w wyniku procesu rozpadu promieniotwórczego, czy też wydobyte zostały z pokładów, których istnienia nie możemy wiązać z takim rozpadem. Jeżeli wspomniane pierwiastki są produktami rozpadu promieniotwórczego, wyznaczenie koncentracji produktów rozpadu oraz pierwiastka macierzystego pozwala na określenie wieku minerału. Z uwagi na praktyczne znaczenie tego zagadnienia prowadzone są systematyczne pomiary składu izotopowego takich pierwiastków jak ołów, hel, argon, potas, stront, zawartych w różnych minerałach pochodzenia ziemskiego oraz

otrzymanych z meteorytów [37, 38]. Powtarzane i sprawdzane są także pomiary składu izotopowego pierwiastków pochodzenia niepromieniotwórczego [39]. Celem takich pomiarów jest chęć dokładniejszego wyznaczenia składu izotopowego i potrzeba stwierdzenia czy nie zachodzą jego wahania [40].

Skład izotopowy pierwiastków lekkich ulega wahaniom najczęściej w wyniku procesów rozdzielania zachodzących samorzutnie w przyrodzie. W pierwszym rzędzie niestala jest koncentracja wodoru ciężkiego w wodrze zwykłym, a także ulega wahaniom skład izotopowy tlenu. Wiadomo, że tlen ma inny skład izotopowy, np. w węglanie wapnia wykryszalizowanym z roztworu wodnego niż w wodzie, co pozwala wyznaczać temperatury wody, w chwili gdy zachodziło wytrącanie się węglanu. Skład izotopowy tlenu jest także różny w atmosferze i w wodach mórz lub oceanów. Znajomość dokładnego składu izotopowego tlenu może odgrywać rolę przy dokładnym wyznaczaniu metodami chemicznymi ciężarów cząsteczkowych.

Przynajmniej równie często istnieje potrzeba wyznaczania składu izotopowego pierwiastków, których izotopy w wyniku najrozmaitszych procesów fizycznych lub chemicznych mogły zostać rozdzielone w laboratorium. Wyznaczana jest więc zawartość deuteru w wodrze lekkim [41], mierzony skład izotopowy innych pierwiastków lekkich, jak litu [42] lub boru [43], czy też tlenu [44]. W szeregu też prac możemy znaleźć wyniki analizy masowej produktów rozszczepienia uranu lub dane z pomiaru składu izotopowego uranu i ołowiu [45].

4. Zastosowanie spektrometrii mas w chemii

Zastosowanie metody spektrometrycznej w chemii jest tak różnorodne, że konieczne wydaje się omówienie tego zagadnienia bardziej szczegółowo w kilku podpunktach.

4.1. Wyznaczanie składu mieszanin na podstawie analizy widm masowych

Najstarszym zastosowaniem metody spektrometrycznej w chemii jest zastosowanie jej do analizy ilościowej składników mieszanin gazowych lub par, a w szczególności mieszanin węglowodorów. Każdy składnik mieszaniny posiada charakterystyczne widmo mas, którego wysokości wierzchołków w określonych warunkach są proporcjonalne do ciśnienia cząstkowego tego składnika w mieszaninie. Przeprowadzając więc rozkład widma masowego uzyskanego dla mieszaniny na widma proste składników, można określić zawartość tych składników w mieszaninie. Metoda taka znajduje częste zastosowanie przy analizie destylatów naftowych lub gazoliny [46, 47, 48], analizie związków aromatycznych, związków azotowych, związków chloru, siarki i innych [49, 50, 51, 52, 53]. Do celów analitycznych, jako detektor stosowany jest spektrometr mas także w chromatografii gazowej [54, 55].

4.2. Zastosowanie spektrometrii mas w badaniach struktury molekuł

Przy zwiększaniu energii elektronów jonizujących dany związek wprowadzony do spektrometru w postaci gazu lub pary, pojawiają się kolejno coraz nowe jony, którym są przyporządkowane odpowiednie wierzchołki widma mas. Pozwala to na wyciągnięcie wniosków dotyczących struktury nawet skomplikowanych molekuł organicznych [56, 57, 58, 59]. Najlepsze wyniki można uzyskać stosując klasyczne źródło jonów z wiązką elektronową jonizującą gaz. Źródło takie pozwala na ciągłą zmianę energii elektronów i w rezultacie na ustalenie potencjałów pojawienia się poszczególnych jonów oraz potencjałów rozpadu drobin. Metodą taką prowadzone są badania struktury związków aromatycznych, wyznaczane są potencjały dysocjacji złożonych związków chemicznych zawierających siarkę, azot, tlen, bor i inne pierwiastki [60, 61, 62]. Podobnie badane są procesy fragmentacji długich łańcuchów skomplikowanych związków organicznych, jak np. estry metylowe lub węglowodory [63, 64].

4.3. Badanie reakcji chemicznych

Jednocześnie prowadzone są badania kinetyki prostych reakcji chemicznych, jak np. oddziaływania wodoru z dwutlenkiem azotu i ozonem [65], reakcji powstawania N_2 przy oddziaływaniu N z NO [66], reakcji zachodzących pomiędzy BF_3 i BCl_3 jak też bardziej skomplikowanych. Metoda spektrometryczna pozwala także na studia termodynamiczne reakcji chemicznych, wyznaczanie ciepła dysocjacji lub sublimacji [67, 68].

Specjalne zagadnienie stanowi badanie swobodnych rodników występujących w danych typach reakcji chemicznych [69, 70]. Prace poświęcone tym zagadnieniom omawiają zarówno technikę eksperymentu stosowaną przy badaniach tego typu, jak też zajmują się określonymi przypadkami związków i rodników [71].

5. Metody badawcze

Niezależnie od rozwijanej problematyki naukowej stale ulepszane są metody badawcze celem osiągnięcia coraz lepszej dokładności pomiaru stosunków wysokości wierzchołków widm masowych, zwiększenia czułości aparatury drogą wprowadzenia nowych metod detekcji jonów oraz uzyskania możliwości pracy źródła jonów przy stosunkowo wysokim ciśnieniu w źródle, co znacznie ułatwia śledzenie reakcji chemicznych.

Dla wykrywania jonów, których stężenie w źródle jest szczególnie małe, do badania zjawiska fotojonizacji, przeladowania jonów podczas przejścia ich przez gaz lub do wyznaczenia widma masowego i energetycznego jonów pochodzących z wylądowania w gazie, konieczne staje się stosowanie specjalnie przystosowanej do tego celu aparatury. Opisy takiej aparatury można znaleźć w szeregu nowszych publikacji. Energię jonów uzyskanych z wylądowania w gazie można określić stosując klasyczne analizatory energii, radialne pole

elektryczne. Jeżeli po przejściu przez taki analizator jony zostaną dodatkowo przyspieszone do energii kilkudziesięciu elektronowoltów, mogą powodować z metalowej tarczy emisję elektronów wtórnych [34]. Elektrony te, przyspieszone kolejno polem elektrycznym, są wykrywane przy użyciu scyntylatora i fotopowielacza. Możliwa jest także i dość dawno stosowana bezpośrednia detekcja jonów przy pomocy fotopowielaczy i wykorzystaniu emisji wtórnej z ich dynod. Ta ostatnia metoda umożliwia rejestrację bardzo słabych prądów, w zasadzie pojedynczych jonów.

Dla detekcji obojętnych atomów i cząsteczek powstających w wyładowaniu gazowym służyć mogą helowe lub wodorowe komory przeladowań, pozwalające na uzyskiwanie w miejsce atomów obojętnych — jonów, które można następnie wykrywać jakimikolwiek, dobrze znanymi metodami.

Dla badania przebiegu reakcji chemicznych stosowane są spektrometry pozwalające na pracę przy stosunkowo dużym ciśnieniu gazów w źródle jonów spektrometru [72]. W innych znów przypadkach bardziej wskazana jest praca przy niskim ciśnieniu gazu w źródle, z jednoczesnym utrzymaniem możliwie dużej jego wydajności [73]. Do badania gazów wydzielających się z małych objętości, jak np. w przypadku lamp elektronowych, bardziej przydatne są spektrometry posiadające także i własną objętość małą, jak np. omegatron, przyrząd pracujący na zasadzie rezonansu jonów określonego stosunku m/e w polu magnetycznym i zmiennym polu elektrycznym. W innych przypadkach, np. do badania składu gazów w górnych warstwach atmosfery, do badania oddziaływania jon-cząsteczka, stosowane są selektory mas działające na zasadzie elektrycznego filtru prędkości jonów [74, 75, 76, 77].

6. Problematyka naukowa Katedry z zakresu spektrometrii mas

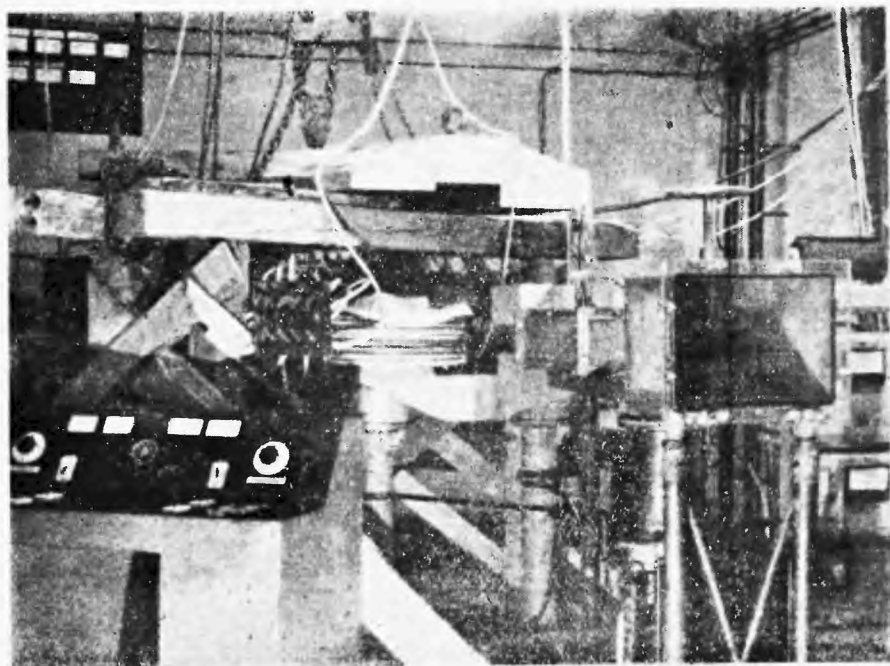
Zagadnieniem spektrometrii mas zajmuje się kilku pracowników Katedry i kilka osób spoza Katedry, razem około 10 pracowników naukowych. Opracowywane są niektóre zagadnienia wymienione w pierwszej części artykułu, które można podzielić na cztery grupy:

- a) wyznaczanie składu izotopowego pierwiastków i stosunku wierzchołków widm masowych,
- b) badanie zjawisk jonizacyjnych w gazach,
- c) separacja izotopów,
- d) zagadnienia techniki pomiaru i aparatury.

Dla scharakteryzowania tych kierunków badań postaram się omówić wyniki uzyskane w ostatnich kilku latach, jak też tematykę opracowywaną bieżąco.

Bieżące prace prowadzone z zakresu analizy izotopowej dotyczą analizy metali alkalicznych, potasu i rubidu, przeprowadzonej przy zastosowaniu źródła pracującego na zasadzie zjawiska termoemisji jonowej. Celem pracy było stwierdzenie przyczyn rozbieżności publikowanych danych dotyczących składu izotopowego potasu. O ile dane dotyczące składu izotopowego potasu

wykazują znaczne rozbieżności, to dla rubidu różnice te są minimalne. Autorzy wymienionej pracy dochodzą do wniosku, że przyczyną tego stanu dla potasu nie są procesy rozdzielania izotopów zachodzące w przyrodzie, lecz efekt wyróżnienia mas, jaki wykazują źródła z termoemisją jonową. Druga praca z tej dziedziny dotyczy metod wyznaczania składu izotopowego siarki. W pracy tej przedyskutowano możliwość wyznaczenia składu izotopowego siarki na podstawie analizy widm masowych dla H_2S i porównano wyniki uzyskane dla H_2S i SO_2 [78]. Jednocześnie z pomiarami składu izotopowego siarki badana



Rys. 3. Montaż elektromagnetycznego separatora izotopów

jest szczegółowo jonizacja siarkowodoru jak też i innych związków siarki, wywołana bombardowaniem elektronowym [79]. Inne badania zjawisk jonizacyjnych w gazach wiążą się z pomiarami widma energetycznego jonów powstających w wyladowaniu jarzeniowym w specjalnych warunkach, jak np. w wyladowaniu jarzeniowym elektrod cylindrycznych [80].

Specjalny dział spektrometrii mas stanowi zagadnienie elektromagnetycznej separacji izotopów. Z tego kierunku badań Katedra opublikowała kilka prac wykonanych poza Zakładem w latach ubiegłych oraz kilka artykułów przeglądowych. Po zbudowaniu elektromagnetycznego separatora izotopów opublikowano także sprawozdanie podające krótki opis jego konstrukcji oraz podstawowe parametry [81]. W przygotowaniu są dalsze prace dotyczące elektromagnetycznej separacji izotopów pierwiastków trudnoletnych oraz nowej konstrukcji źródeł jonów dla celów elektromagnetycznej separacji izotopów.

Równoległe z opracowywaną tematyką naukową rozbudowywana jest aparatura mająca służyć rozwiązaniu tej problematyki. W obecnej chwili Katedra posiada dwa spektrometry mas, jeden pracujący z źródłem gazowym lub źródłem przystosowanym do badania ciał trudnolotnych i drugi, używany do badania zjawisk termoemisyjnych. Trzeci uruchomiany spektrometr dużej intensywności ma służyć badaniom specjalnym z zakresu fizyki wyładowań w gazach.

Zbudowany separator przeznaczony jest także do badań zjawisk jonizacji wywołanych strumieniami jonów dodatnich dużego natężenia, a jednocześnie ma służyć do przygotowywania próbek dla celów spektroskopii jądra atomowego. Równoległe z rozbudowywaną aparaturą publikowane są prace dotyczące tej dziedziny. Zawierają one dane konstrukcyjne budowanych spektrometrów lub separatora, a w szczególności źródeł jonów i nieklasycznych typów spektrometrów, jak np. spektrometru z polem o częstotliwości radiowej [82], źródeł jonów z rozpylaniem katodowym, łukowych źródeł dużej wydajności, dwukolektorowych układów dla dokładnego wyznaczenia stosunku izotopowego lub zagadnienia zastosowania pomiarowego układu różnicowego do spektrometru impulsowego.

W miarę uzupełniania potrzebnej do badań w zakresie spektrometrii mas aparatury zmniejsza się jednak zainteresowanie zagadnieniami metody pomiaru i zagadnieniami aparaturowymi na korzyść pierwszych trzech, wymienionych wyżej problemów. W chwili obecnej została zwrócona specjalna uwaga na badanie zjawisk jonizacyjnych w gazach, jak też zagadnienie elektromagnetycznej separacji izotopów.

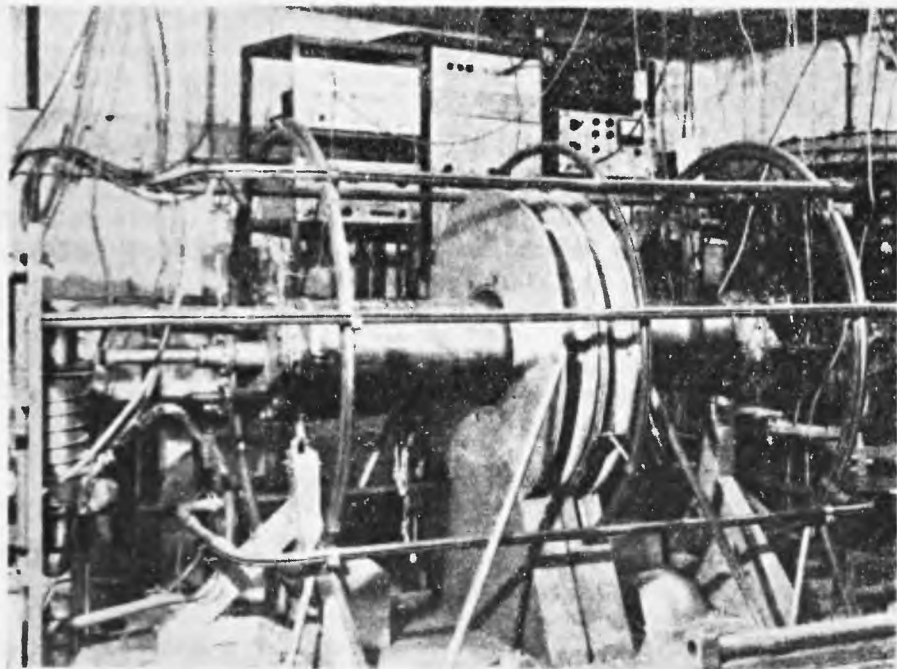
7. Badania z zakresu spektroskopii jądra atomowego

W Polsce badania z dziedziny spektroskopii jądra atomowego prowadzone są w szerszym zakresie w Warszawie i Krakowie. Problematyka naukowa jest części polskich fizyków dobrze znana i z tego względu w artykule tym nie będę jej szczegółowiej omawiać. Przejdę więc bezpośrednio do charakterystyki prac naukowych prowadzonych w Katedrze.

Zakres tematyki naukowej z dziedziny spektroskopii jądra atomowego jest określony posiadaną w tej chwili w Katedrze aparaturą, która składa się z układu koincydencyjnego γ - γ , pozwalającego na pomiar rozkładu kierunkowego koincydencji γ oraz analogicznej aparatury, złożonej z spektrometru β z cienką soczewką (rys. 4) i spektrometru γ , przeznaczonej do pomiaru rozkładu kierunkowego koincydencji e^- - γ [83]. Zaawansowana jest też budowa układu 2 spektrometrów β z grubą soczewką i spektrometru γ , także w układzie koincydencyjnym. Prace dotyczące szczegółów rozwiązań konstrukcyjnych omawianej aparatury były publikowane lub są w przygotowaniu i mogą dać bliższe wyobrażenie o możliwości zastosowania tej aparatury do badań z zakresu spektroskopii jądra atomowego [84]. Aparatura omawianego typu pozwala na

wyznaczenie schematów rozpadu jąder promieniotwórczych, wyznaczenie lub sprawdzenie połowicy promieniowania γ i spinów poziomów wzbudzenia, co też i jest realizowane. W przygotowaniu są prace wspomnianego typu dla wybranych jąder leżących w przedziale jąder zdeformowanych lub też na granicy tego przedziału, w szczególności prace nad izotopami ziem rzadkich używanymi w procesie rozszczepienia tantalu.

Całość omawianej tematyki można scharakteryzować jako typową dla prac z zakresu spektroskopii jądrowej, mających na celu uzupełnienie luk w sche-



Rys. 4. Spektrometr β z ciekłą soczewką

matach rozpadów poszczególnych jąder promieniotwórczych. Uzyskiwane informacje niewątpliwie pozwolą w przyszłości na stworzenie pełniejszego obrazu właściwości jąder atomowych.

Poza pracami ściśle naukowymi, z zakresu omówionych dwóch kierunków badań, Katedra wykonuje rokrocznie szereg prac usługowych dla przemysłu. Opracowane rozwiązania w kilku przypadkach zostały opatentowane, w innych zaś wykorzystane praktycznie w produkcji. Częściowo prace takie realizowane są w ramach prac magisterskich, przy dużym zaangażowaniu się niektórych pracowników naukowych Katedry interesujących się zastosowaniem fizyki w technice.

W chwili utworzenia w roku 1944 Katedry Fizyki Doświadczalnej zatrudniony był jeden samodzielny pracownik naukowy i trzech pomocniczych. Obecnie zaś w Katedrze pracuje dwóch pracowników samodzielnych i kilkunastu pomocniczych, co łącznie z pracownikami naukowo-technicznymi tworzy

30-osobowy zespół. Obok tej Katedry została przed trzema laty utworzona Katedra Fizyki Ogólnej, prowadząca zajęcia z fizyki dla pierwszego roku studiów oraz Katedra Fizyki Teoretycznej. We wszystkich tych trzech katedrach liczba jedynie pracowników naukowych dochodzi do trzydziestu.

Corocznie na pierwszy rok studiów przyjmowanych jest ok. 35 kandydatów, w tym roku zaś limit ten został zwiększony. W ostatnich latach liczba wydawanych magisteriów jest rzędu dwudziestu kilku, w tym z fizyki doświadczalnej 18—20 absolwentów otrzymuje corocznie dyplomy magisterskie. Prace magisterskie są tematycznie związane z naukową problematyką opracowywaną w Katedrze, co nie wyklucza jednak, jak już wspomniałem, tematyki realizowanej w ramach współpracy z przemysłem.

Praca dydaktyczna Katedry nie ogranicza się do kształcenia magistrów fizyki, ale realizowane jest najszerzej pojęte kształcenie młodej kadry naukowej. W Katedrze kształcą się nie tylko własna kadra, ale stale pracuje także stosunkowo duża liczba pracowników naukowych z innych katedr pozauniwersyteckich. Do chwili obecnej w Katedrze 7 osób uzyskało stopnie kandydackie lub doktorskie i 4 osoby habilitowały się lub uzyskały docentury.

Literatura

- [1] W. Żuk, *Annales U.M.C.S.*, **1**, 63 (1946).
- [2] W. Żuk, *Annales U.M.C.S.*, **4**, 67 (1949).
- [3] J. J. Thomson, *Phil. Mag.*, **21**, 225 (1911).
- [4] F. W. Aston, *Phil. Mag.*, **38**, 709 (1919).
- [5] W. Barthy, A. J. Dempster, *Phys. Rev.*, **33**, 1019 (1929).
- [6] K. T. Bainbridge, E. B. Jordan, *Phys. Rev.*, **50**, 282 (1936); J. Mattauch, R. Herzog, *Z. Phys.*, **89**, 786 (1934).
- [7] A. O. Nier, *Phys. Rev.*, **52**, 885 (1937).
- [8] A. O. Nier, *Phys. Rev.*, **79**, 450 (1950).
- [9] R. M. Elliott, *Advances in Mass Spectrometry*, Pergamon Press, 1963.
- [10] J. H. Beynon, *Mass Spectrometry and its Applications to Organic Chemistry*, Elsevier Publishing Company, 1960.
- [11] J. T. Herron, V. H. Dibeler, *J. chem. Phys.*, **32**, 1884 (1960).
- [12] M. B. Wallenstein, M. Krauss, *J. chem. Phys.*, **34**, 929 (1961).
- [13] Ch. E. Melton, *J. chem. Phys.*, **37**, 562 (1962).
- [14] A. F. Trotman-Dickenson, *Ann. Repts. of the Chem. Soc.*, **55**, 42 (1959).
- [15] E. B. Carter, R. H. Davis, *Rev. sci. Instrum.*, **34**, 93 (1963).
- [16] H. Hurzeler, M. G. Inghram, J. D. Morrison, *J. chem. Phys.*, **28**, 76 (1958).
- [17] W. Grattidge, A. A. Shepherd, *Proc. Phys. Soc.*, B **67**, 177 (1954).
- [18] S. J. Balestrini, *Rev. sci. Instrum.*, **31**, 733 (1960).
- [19] E. Schönheit, *Z. Naturf.*, **16a**, 1094 (1961).
- [20] E. Schönheit, *Z. Naturf.*, **15a**, 841 (1960).
- [21] F. A. Elder i inni, *J. chem. Phys.*, **36**, 3292 (1962).
- [22] F. J. Wilesow, M. E. Akomian, *Pribory i Tech. Eksp.*, **5**, 145 (1962).
- [23] S. N. Foner, R. L. Hudson, *J. chem. Phys.*, **37**, 1662 (1962).
- [24] J. S. Dahler i inni, *J. chem. Phys.*, **36**, 3332 (1962).

- [25] U. A. Arifow, R. R. Rachimow, *Izw. Akad. Nauk SSSR, Ser. fiz.*, **24**, 657 (1960).
- [26] E. J. Zandbiery, *Izw. Akad. Nauk SSSR, Ser. fiz.*, **24**, 629 (1960).
- [27] E. J. Zandbiery, N. I. Ionow, *Uspiechi fiz. Nauk*, **67**, 581 (1959).
E. L. Murphy, R. H. Good, *Phys. Rev.*, **102**, 1464 (1956).
- [28] J. K. Szenow, *Ż. eksper. teor. Fiz.*, **37**, 336 (1959).
- [29] E. J. Zandbiery, N. I. Ionow, *Ż. tech. Fiz.*, **28**, 2444 (1958), patrz także [26]
- [30] I. N. Bakulina, N. I. Ionow, *Ż. eksper. teor. Fiz.*, **36**, 1001 (1959).
N. I. Ionow, M. A. Mitcew, *Ż. eksper. teor. Fiz.*, **38**, 1350 (1960).
- [31] A. N. Dobronrawowa, *Izw. Akad. Nauk SSSR, Ser. fiz.*, **22**, 815 (1958).
- [32] C. Reuterswård, *Arkiv Fys.*, **11**, 1 (1956).
- [33] W. Żuk, L. Gładyszewski, J. Zinkiewicz, *Annales U.M.C.S.*, w druku.
- [34] H. P. Eubank, T. D. Wilkerson, *Rev. sci. Instrum.*, **34**, 12 (1963).
- [35] P. F. Knewstubb, A. W. Tickner, *J. chem. Phys.*, **36**, 674 (1962).
- [36] P. F. Knewstubb, A. W. Tickner, *J. chem. Phys.*, **37**, 2941 (1962).
H. F. Calcote, J. L. Reuter, *J. chem. Phys.*, **38**, 310 (1963).
- [37] H. Zahn, *Kernenergie*, **3**, 913 (1960).
- [38] H. Voshage, Hintenberger, *Z. Naturf.*, **16**, 1042 (1962).
- [39] P. G. Beutley, *J. sci. Instrum.*, **37**, 323 (1960).
- [40] J. R. Hulston, *New Zealand J. Sci.*, **1**, 91 (1958).
- [41] G. Hübner, *Kernenergie*, **3**, 888 (1960).
H. Birkenfeld, *Kernenergie*, **3**, 910 (1960).
- [42] R. G. Ridley, D. E. P. Silver, *J. sci. Instr.*, **38**, 47 (1961).
- [43] R. M. Abernathey, *Nuclear Sci. Abstr.*, **14**, 1071 (maj 1960).
- [44] M. P. Glazunow, V. A. Kisielew, *Kernenergie*, **3**, 869 (1960).
- [45] Patrz [37]
- [46] H. E. Howard, W. C. Ferguson, *Analyt. Chem.*, **33**, 1870 (1961).
- [47] P. J. Klaas, W. P. McSweney, *Analyt. Chem.*, **34**, 30 (1962).
- [48] V. A. Cirillo i inni, *Analyt. Chem.*, **34**, 1353 (1962).
H. E. Howard, W. C. Ferguson, *Analyt. Chem.*, **32**, 1814 (1960).
- [49] F. W. McLafferty, *Analyt. Chem.*, **34**, 16 (1962).
- [50] E. M. Emery, *Analyt. Chem.*, **32**, 1495 (1960).
- [51] G. F. Crable i inni, *Analyt. Chem.*, **32**, 13 (1960).
- [52] F. W. McLafferty, *Analyt. Chem.*, **34**, 2 (1962).
- [53] E. J. Levy, W. A. Stahl, *Analyt. Chem.*, **33**, 707 (1961).
- [54] L. P. Lindeman, J. L. Annis, *Analyt. Chem.*, **32**, 1742 (1960).
- [55] M. E. Fitzgerald i inni, *Analyt. Chem.*, **34**, 1277 (1962).
- [56] A. A. Poliakowa, A. A. Pietrow, *Ż. O. Ch.*, **32**, 1415 (1962).
- [57] T. Aezel, H. E. Lumpkin, *Analyt. Chem.*, **34**, 33 (1962).
- [58] T. Aezel, H. E. Lumpkin, *Analyt. Chem.*, **33**, 381 (1961).
- [59] T. Aezel, H. E. Lumpkin, *Analyt. Chem.*, **32**, 1819 (1960).
- [60] E. Gallegos, R. W. Kiser, *J. chem. Phys.*, **65**, 1177 (1961).
- [61] H. H. Bruun i inni, *Acta Chem. Scand.*, **12**, 1355 (1958).
- [62] J. T. Herran, V. H. Dibeler, *J. chem. Phys.*, **33**, 1595 (1960).
- [63] R. Ryhage i inni, *Arkiv Kemi*, **18**, 179 (1961).
- [64] N. Dink-Nguyèn, R. Ryhage i inni, *Arkiv Kemi*, **18**, 393 (1961).
- [65] L. F. Philips, H. I. Schiff, *J. chem. Phys.*, **37**, 1233 (1962).
- [66] L. F. Philips, H. I. Schiff, *J. chem. Phys.*, **36**, 3283 (1962).
- [67] R. Colin, J. Drowart, *J. chem. Phys.*, **37**, 1120 (1962).
- [68] J. Drowart i inni, *J. chem. Phys.*, **32**, 1316 (1960).
G. Verhagen, J. Drowart, *J. chem. Phys.*, **37**, 1367 (1962).
- [69] W. L. Tabroze i inni, *P.T.E.*, **6**, 78 (1960).
- [70] A. A. Poliakowa, A. A. Petrow, *Ż. O. Ch.*, **30**, 3499 (1960).
- [71] S. N. Foner, R. L. Hundson, *J. chem. Phys.*, **36**, 2681 (1962).

- [72] J. H. Beynon, *Mass Spectrometry and its Application to Organic Chemistry*, Elsevier Publ. Comp., 1960.
- [73] patrz [9]
- [74] A. Fujionaga, T. Hanasaga, Mitsubishi, *Denki Lab. Rep. (Japan)*, **3**, 217 (1962).
- [75] G. Băjeu, G. Comsa, A. Gelberg, *Stud. Cercetari Fiz. (Roumania)*, **12**, 427 (1961).
- [76] R. S. Lehre i inni, *J. sci. Instrum.*, **39**, 458 (1962).
- [77] patrz [33]
- [78] W. Żuk, E. Chomicz, *Annales U.M.C.S.*, w druku.
- [79] W. Żuk, E. Chomicz, *Annales U.M.C.S.*, w druku.
- [80] J. Lis, J. Mielnik, *Annales U.M.C.S.*, w druku.
- [81] W. Żuk, D. Mączka, J. Pomorski, *Folia Soc. Sci. Lublinensis*, **2**, 105 (1962).
- [82] B. Adameczyk, *Folia Soc. Sci. Lublinensis*, **2**, 108 (1962).
- [83] M. Subotowicz, E. Krupa, J. Kuranc, *Annales U.M.C.S.*, w druku.
- [84] T. Goworek, *Folia Soc. Sci. Lublinensis*, **2**, 124 (1962).

P O L S K I E T O W A R Z Y S T W O F I Z Y C Z N E

ZARZĄD

Przewodniczący

Prof. dr WOJCIECH RUBINOWICZ
czł. rzecz. PAN

Wiceprzewodniczący

Prof. dr ALEKSANDER JABŁOŃSKI
czł. rzecz. PAN

Sekretarz

Doc. dr WIESŁAW WARDZYŃSKI

Skarbnik

Dr KAZIMIERZ ROSIŃSKI

Członek Zarządu

Doc. dr HALINA CHECIŃSKA

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW TOWARZYSTWA

Gdańsk — Dr O. GZOWSKI
Gliwice — Prof. dr KAZIMIERZ GOSTKOWSKI
Kraków — Prof. dr BRONISŁAW ŚREDNIAWA
Lublin — Prof. dr ARMIN TESKE
Łódź — Prof. dr FELIKS WIŚNIEWSKI
Poznań — Prof. dr FELIKS KARAŚKIEWICZ
Szczecin — Doc. dr JÓZEF KONARSKI
Toruń — Doc. dr WANDA HANUSOWA
Warszawa — Doc. dr JULIAN AULEYTNER
Wrocław — Doc. dr BOGDAN SUJAK

TREŚĆ

W. Kapuściński — Stefan Pieńkowski 28. VII. 1883—20. XI. 1953.	615
B. Buras — Od dyfrakcji promieni X na Hożej do dyfrakcji neutronów w Świerku	627
M Danysz, J. Pniewski — Fizyka wysokich energii i cząstek elementarnych w Ośrodku Warszawskim na Hożej.	633
J. Ehrenfeucht — Uczeń o swoim Profesorze	639
A. Jabłoński — O pracach Katedry Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika	641
L. Jurkiewicz — Zagadnienia geofizyki jądrowej w pracach Katedry Fizyki II AGH, Instytutu Techniki Jądrowej AGH i Krakowskiego Oddziału Zakładu VI IBJ.	649
W. Majewski — O pracach Katedry Fizyki Elektronowej Politechniki War- szawskiej.	659
L. Natanson — Reaktor jako narzędzie badawcze fizyki jądrowej.	667
C. Pawłowski — Destrukcyjne działanie intensywnego promieniowania alfa na substancje świecące o budowie krystalicznej (fosfory lenardowskie).	673
A. Piekara — O rozwoju fizyki dielektryków w Polsce.	679
T. Skaliński — O pracach Katedry Optyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego i Zakładu Optyki Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk.	691
L. Sosnowski — Badania optyczne półprzewodników	697
W. Żuk — O niektórych zagadnieniach spektrometrii mas i spektroskopii jądra atomowego.	703

Warunki prenumeraty czasopisma

„POSTĘPY FIZYKI“ — dwumiesięcznik

Cena w prenumeracie zł 90.— rocznie, zł 45.— półrocznie

Zamówienia i wpłaty przyjmują:

1. Przedsiębiorstwo Upowszechnienia Prasy i Książki „Ruch“, Kraków, ul. Worcella 6, konto PKO nr 4-6-777.
2. Urzędy pocztowe i listonosze.
3. Księgarnie „Domu Książki“.

Prenumerata ze zleceniem wysyłki za granicę 40 % drożej. Zamówienie dla zagranicy przyjmuje Przedsiębiorstwo Kolportażu Wydawnictw Zagranicznych „Ruch“, Warszawa, ul. Wilcza 46, konto PKO nr 1-6-100.024.

Bieżące numery można nabyć lub zamówić w księgarniach „Domu Książki“ oraz w Ośrodku Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych Polskiej Akademii Nauk — Wzorcownia Wydawnictw Naukowych PAN — Ossolineum — PWN, Warszawa, Pałac Kultury i Nauki (wysoki parter).

Tylko prenumerata zapewnia regularne otrzymywanie czasopisma.