

# WSZECHŚWIAT

PISMO PRZYRODNICZE

ORGAN POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZYRODNIKÓW IM. KOPERNIKA



PAŹDZIERNIK—LISTOPAD 1955

ZESZYT 10—11

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE



Zalecono do bibliotek nauczycielskich i licealnych pismem Ministerstwa Oświaty  
nr IV/Oc-2734/47

\*

TREŚĆ ZESZYTU 10—11 (1854—55)

Dorabialska A., Maria Skłodowska-Curie . . . . .	249
Złotowski I., W dwudziestą rocznicę śmierci Marii Skłodowskiej-Curie . . . . .	254
Goetel W., Z Marią Skłodowską-Curie w Tatrach . . . . .	258
Smulikowski K., Promieniotwórczość Ziemi . . . . .	260
Polański A., O wieku Ziemi . . . . .	267
Wyrobek E., Znaczenie prac Marii Skłodowskiej-Curie dla medycyny . . . . .	271
Jurkiewicz L., Techniczne zastosowania promieniotwórczości . . . . .	277
Maślankiewicz K., Tadeusz Godlewski — odkrywca aktynu X . . . . .	285
Z dawnego <i>Wszechświata</i> . . . . .	287
Recenzje . . . . .	288

Spis plansz

- I. WŁADYSŁAW SKŁODOWSKI Z CÓRKAMI: MANIĄ, BRONIĄ I HELĄ.
- II. MARIA SKŁODOWSKA-CURIE Z CÓRKAMI: IRENĄ I EWA.
- III. MARIA SKŁODOWSKA-CURIE Z MEŻEM W LABORATORIUM.
- IV. PRACOWNIA MAŁŻONKÓW CURIE W PARYŻU. — UROCZYSTOŚCI  
W PAN W XX ROCZNICĘ ŚMIERCI MARII SKŁODOWSKIEJ-CURIE.

---

Na okładce: Maria Skłodowska-Curie, rys. F. Seifert.

Opracowanie graficzne — F. Seifert.

---

Exz. ob.

3/56





P I S M O P R Z Y R O D N I C Z E

ORGAN POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZYRODNIKÓW IM. KOPERNIKA  
PAŹDZIERNIK—LISTOPAD 1955 ZESZYT 10—11 (1854-55)

W dniu 4 lipca roku 1954 minęło lat dwadzieścia od dnia śmierci Marii Skłodowskiej-Curie. Minione lata nie okryły mgłą zapomnienia tej pięknej postaci. Promieniotwórczość — dzieło jej życia — rozrosła się

## MARIA SKŁODOWSKA CURIE

w potężną naukę, która ukształtowała oblicze współczesnej fizyki, chemii, wkroczyła do biologii, medycyny, geologii, astrofizyki, astrochemii, matematyki, filozofii, a poprzez energię atomową i do życia politycznego świata. Imię Marii Skłodowskiej-Curie stało się własnością całej ludzkości i dumą narodu polskiego, który ją wydał. W październiku 1954 r. Polska Akademia Nauk zorganizowała w Warszawie uroczystą sesję naukową, mającą na celu uczczenie zasług i spopularyzowanie w Polsce imienia Marii Skłodowskiej-Curie. W sesji wzięła udział córka uczoney—Irena Joliot-Curie oraz goście zagraniczni z grona byłych uczniów Paryskiego Instytutu Radowego. Sesja wskrzesiła przed oczyma obecnych postać kobiety, która w perspektywie historii nie znika, lecz wyrasta do rozmiarów olbrzyma.

Maria Skłodowska urodziła się 7. XI. 1867 w rodzinie nauczycielskiej w Warszawie, jako piąte dziecko Władysława Skłodowskiego i Bronisławy z Boguskich. Dzieciństwo i pierwszą młodość spędziła w domu rodzinnym, w środowisku o żywej kulturze umysłowej i poważnych

zainteresowaniach naukowych. W r. 1882 ukończyła gimnazjum i w ciągu następnych lat dziewięciu z zadziwiającą wytrwałością walczyła o możliwość wyjazdu na studia, gromadząc w tym celu środki finansowe. Pracowała

jako nauczycielka na wsi, uczyła prywatnie po domach warszawskich. W tym czasie Skłodowska uczęszczała też na tajne wykłady tzw. Uniwersytetu Latającego, zorganizowanego przez grono wykładowców i uczniów o socjalistycznych poglądach społecznych. Brała żywy udział w akcji oświatowej na terenie robotniczym i wiejskim i ta młodzieńcza działalność na całe życie związała ją z ludem polskim i najszerzej pojętym światem pracy.

W tym okresie życia Skłodowska zaczęła też stawiać pierwsze kroki na terenie pracy badawczo-naukowej w Pracowni Fizycznej Muzeum Przemysłu i Rolnictwa, kierowanej przez wybitnego fizyko-chemika, J. J. Boguskiego. Warunki pracy nie były oczywiście dobre, ale tu już młody umysł mógł wejść w atmosferę pracy naukowej.

W r. 1891 Skłodowska wyjechała wreszcie na studia do Paryża, gdzie w ciągu dwóch lat uzyskała licencjat nauk fizycznych, a w rok później — matematycznych.

Po ukończeniu studiów w r. 1904 pragnęła wrócić do Polski. Na przeszkodzie temu stanęła





Henryk Becquerel

trudność otrzymania asystentury w Krakowie. Dołączyły się do tego jeszcze względy natury osobistej. Więzy wspólnego umiłowania nauki połączyły młodą Polkę z wybitnym fizykiem i krystalografem francuskim — Piotrem Curie. W r. 1895 Maria Skłodowska poślubiła Piotra Curie.

Po ślubie państwo Curie pracowali obok siebie w laboratorium Szkoły Fizyki i Chemii Przemysłowej w Paryżu, gdzie Piotr Curie zajmował katedrę fizyki. Pierwsze swe badania wykonywali zupełnie niezależnie: on zajmował się zagadnieniem wzrostu kryształów, ona zaś rozpoczęła w roku 1897 swą historyczną pracę doktorską.

Tematem pracy doktorskiej Marii Skłodowskiej-Curie stały się tzw. promienie uranowe.



W r. 1896 uczony francuski Henryk Becquerel zaobserwował, że sole najcięższego ze znanych podówczas pierwiastków uranu, wydzielają stale niewidzialne promienie, wydzielające kliszę fotograficzną. Promienie te Becquerel nazwał uranowymi, jednak dalszych wniosków dotyczących ich natury nie wyciągnął. To promienie stały się przedmiotem badań Skłodowskiej-Curie. W wyniku systematycznych doświadczeń uczona stwierdziła, że zdolność promieniowania uranu jest własnością atomową tego pierwiastka, nie zależy bowiem od rodzaju związku uranowego, a jedynie od procentowej zawartości uranu.

Po raz pierwszy w dziejach chemii wykryta została wówczas jakaś własność atomowa. Rozumiejąc, że wykryte zjawisko stanowi przejaw nowych, nieznanych dotąd sił atomowych, Skłodowska-Curie zaproponowała, aby zdolność wysyłania promieni typu uranowego nazwać w ogóle promieniotwórczością (radioactivité), a pierwiastki chemiczne obdarzone tą własnością nazwać promieniotwórczymi (radioactifs). Już w pierwszej swej pracy, ogłoszonej w kwietniu 1898 r., pani Curie wykryła promieniotwórczość toru, a ponadto przewidziała istnienie nieznanego dotąd pierwiastka, nieporównanie silniej promieniotwórczego od uranu. Przypuszczenie swe uczona oparła na systematycznym badaniu minerałów, z których pewne, jak blenda uranowa, wykazywały zdolność promieniotwórczą wielokrotnie silniejszą niż czysty uran.

Temat dalszej pracy zarysowywał się tak ciekawie, że Piotr Curie porzucił swe badania nad kryształami i przyłączył się do prac żony, mających na celu wydobycie nowego pierwiastka. Odtąd małżonkowie złączyli swe wysiłki, osiągając niesłychanie szybko epokowe wyniki. W rezultacie w lipcu r. 1898 ogłosili wiadomość o wykryciu nowego pierwiastka chemicznego, nazwanego przez nich na cześć kraju ojczystego Marii Skłodowskiej polonem. Historycznie pierwszy spośród silnych pierwiastków promieniotwórczych, nazwą swą jest przeto związany z Polską. Już w kilka miesięcy później państwo Curie donieśli o wykryciu drugiego pierwiastka silnie promieniotwórczego, nazwanego przez nich radem. Od tej chwili datuje się potężny rozwój nowej gałęzi wiedzy; rok 1898 stał się więc datą narodzin nauki o promieniotwórczości.

W okresie od 1898 do 1906 r. każdy rok przynosił małżonkom Curie nowe obserwacje i popogłębianie dokonanych odkryć. Należało przede wszystkim wyodrębnić nowe pierwiastki w postaci związków chemicznie czystych i zbadać ich własności. Strony preparatywno-chemicznej tego zadania podjęła się pani Curie. Nie było to łatwe. W tonie rudy uranowej znajduje się najwyżej 240 miligramów radu, a zaledwie 0,05 miligramu polonu. Wydobycie tak małych ilości substancji z całych wagonów rudy wymagało pracy na skalę techniczną. Pomimo



wszelkich trudności młoda uczona bez chwili wahania podjęła pracę, obierając za pierwszy swój cel otrzymanie radu. Praca ta wymagała niesłychanej wytrwałości i nawet wielkiego wysiłku fizycznego. Należało własnoręcznie przerobić tony materiału, żeby w rezultacie otrzymać ułamek grama radu.

Materiał wyjściowy do przeróbki stanowiły odpadki powstałe przy fabrykacji związków uranowych z fabryki czechosłowackiej w Joachimowie. Z odpadków tych uczona otrzymywała w formie osadu radonośny siarczan baru, gdyż rad jest pierwiastkiem z grupy chemicznej wapniowców i w toku reakcji towarzyszy barowi. Dalej poprzez węglan Skłodowska-Curie przechodziła do chlorku baru, zawierającego już tak dużą domieszkę radu, że sól ta była około 60 razy aktywniejsza od czystego uranu. Podstawę metody dalszego oczyszczania produktu stanowiła krystalizacja frakcyjna (to znaczy kolejna i wielokrotna) chlorku baru radonośnego z roztworu w kwasie solnym. Kryształy okazywały się bowiem zawsze bogatsze w rad od przesącza. Drogą wielokrotnej krystalizacji można więc było dojść do produktu o wysokiej zawartości soli radowej.

W latach 1899—1902 otrzymała uczona ostatecznie 0,1 grama czystego chlorku radowego. Preparat ten pozwolił już na oznaczenie podstawowych własności chemicznych radu i poznanie natury promieniowania.

W analogiczny sposób uczona pragnęła wyodrębnić z rudy uranowej polon. To zadanie okazało się jednak w ówczesnych warunkach pracy niewykonalne. Pierwszą przeszkodę stanowi fakt, że zawartość polonu w rudach uranowych jest jeszcze dziesiątki tysięcy razy mniejsza niż radu. Można jednak wydobyć polon, strącając go w osadzie z siarczkiem bizmutu, który jest chemicznie zbliżony do polonu. Można by więc polon, podobnie jak rad, stopniowo nagromadzić, gdyby nie druga trudność, że polon zamiera z okresem półtrwania wynoszącym 140 dni. Toteż pierwszy preparat polonu w ilości 0,1 miligramu otrzymała Skłodowska-Curie we współpracy z A. Debiernem dopiero w r. 1910, gdy miała możliwość pokierowania przeróbką kilku ton rudy uranowej na sposób fabryczny.

Warunki pracy i życia pani Curie uległy w r. 1906 tragicznej zmianie. W dniu 19 kwietnia 1906 r. na ulicy Dauphine w Paryżu ciężki wóz powalił Piotra Curie, zadając mu natychmiastową śmierć.

Po śmierci męża Maria Curie podjęła ciężar całej pracy. Odmówiła przyjęcia renty wdowiej, a objęła katedrę na Uniwersytecie Paryskim. Prowadziła dalej swe prace nad radem. W latach 1906—1910 oznaczyła ciężar atomowy tego pierwiastka, otrzymała go w stanie metalu i chemicznie czystego chlorku radowego. Za swe prace nad radem Skłodowska-Curie otrzymała w r. 1911 po raz drugi nagrodę Nobla za



Maria Skłodowska-Curie

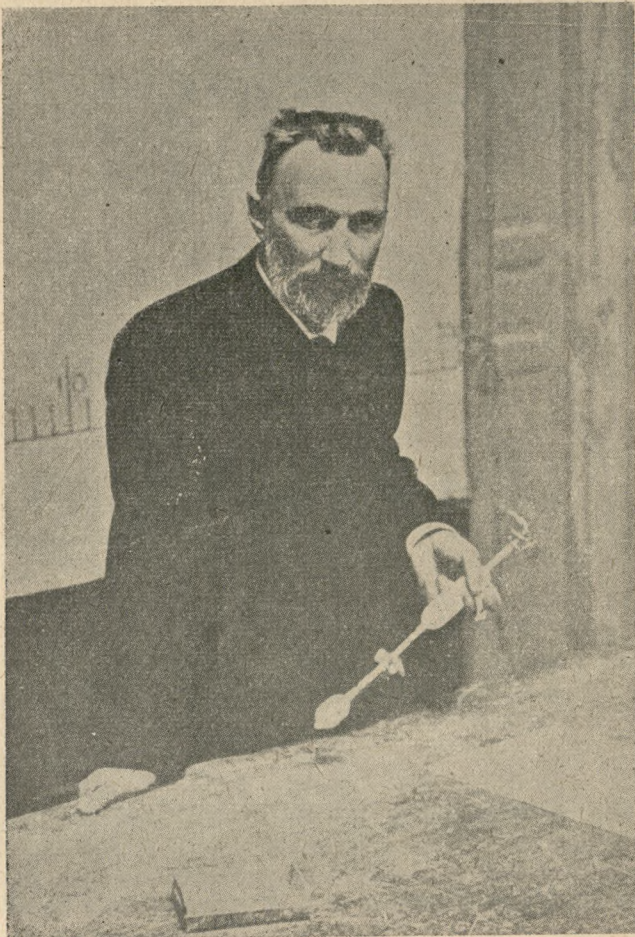
zasługi w dziedzinie chemii. Po raz pierwszy była odznaczona nagrodą Nobla z fizyki w r. 1903 wspólnie z Piotrem Curie i Henrykiem Becquerellem za wykrycie zjawiska promieniotwórczości.

Warunki pracy laboratoryjnej uczona miała fatalne, jak zresztą za życia męża. Aż do roku 1915 pracowała w małym lokalu uniwersyteckim, przyznanym Piotrowi Curie w r. 1904. Nie ustawała jednak w pracy i w dążeniu do stworzenia placówki, która by się stała ogniskiem rozwoju nauki o promieniotwórczości. W wyniku tego dążenia powstał Paryski Instytut Radowy — żywy pomnik działalności Marii Skłodowskiej-Curie.

Instytut Radowy powstał w wyniku umowy zawartej w końcu 1909 r. pomiędzy Uniwersy-







Piotr Curie

tetem Paryskim i Instytutem Pasteura. Działalność Instytutu obejmowała dwie dziedziny: fizyko-chemiczną i biologiczną. Bardzo ważną właściwością pierwiastków promieniotwórczych jest bowiem ich zdolność fizjologicznego oddziaływania na tkanki żywe. Właściwość ta, wykryta przypadkowo przez Becquerela na początku XX wieku, była następnie systematycznie badana przez Piotra Curie i doprowadziła do powstania nowej gałęzi wiedzy lekarskiej, zwanej Curieterapią. Medycyna znalazła w promieniotwórczości potężny oręż do walki z nowotworami, toteż Instytuty Radowe obok działu fizyko-chemicznego organizowały i biologiczny. W Paryskim Instytucie Radowym pani Curie



została dyrektorem działu fizyko-chemicznego. W r. 1915 przeniosła ona nieomal własnoręcznie inwentarz laboratoryjny do świeżo wybudowanego gmachu, prace badawcze rozpoczęła jednak dopiero w r. 1918.

W czasie wojny 1914—1918 r. uczona oddała swe siły na usługi armii francuskiej. Zorganizowała z kilkuset samochodów ruchome stacje szpitalne, zaopatrzone w aparaty Roentgena. Sama stale jeździła, jako komendantka lotnego szpitala i zbadała osobiście przeszło tysiąc rannych. Obsługa samochodów była również przez nią szkolona na kursach dla dziewcząt, pragnących wziąć udział w tej pracy. Liczba rannych, których zbadano na posterunkach zorganizowanych osobiście przez panią Curie przekroczyła milion i poza armią francuską objęła także szpitale belgijskie.

Po wojnie Instytut Radowy rozwijał się szybko. Działalność uczonej w latach 1918—1934 charakteryzują jej własne badania naukowe oraz praca organizacyjna i dydaktyczna w Instytucie, mająca na celu stworzenie szkoły badawczej i przygotowanie zastępu uczniów, wśród których zawsze byli też Polacy. W ciągu całego tego okresu, gdy była już sławna, otoczona czcią i powodzeniem, nie zrywała nigdy kontaktu z Polską. Jeszcze w r. 1912 Towarzystwo Naukowe Warszawskie powołało do życia Pracownię Radiologiczną, której kierownictwo honorowe objęła twórczyni nauki o promieniotwórczości. Kierownikiem aktywnym Pracowni był aż do r. 1939 uczeń Skłodowskiej-Curie, dr Ludwik Wertenstein. W r. 1923 na uroczystość 25-lecia odkrycia radu społeczeństwo polskie uczciło wielką swą rodaczkę darem, który ona sama wskazała, jako dla siebie najmilszy. Z ofiar najszerzych sfer, dzięki talentowi organizacyjnemu dr Bronisławy Dłuskiej zbudowano w Warszawie Instytut Radowy, którego cele i zakres pracy były wzorowane na Instytucie Paryskim. Honorowym dyrektorem Instytutu została Maria Curie, dyrektorem aktywnym — uczeń jej — dr F. Łukaszyk, a kierownikiem działu fizyko-chemicznego — również jej uczeń — prof. dr C. Pawłowski. Rozwojem tej placówki uczona interesowała się do ostatnich dni swego życia.

Własne zainteresowania badawcze Skłodowskiej-Curie w okresie działalności Paryskiego Instytutu Radowego skupiają się głównie dookoła trzech pierwiastków promieniotwórczych: polonu, aktynu i jonu. Badania nad polonem, rozpoczęte już w zaraniu nauki o promieniotwórczości, uczona doprowadziła do końca, opracowując chemię polonu i metodę otrzymywania silnych preparatów. Dwa pozostałe pierwiastki, aktyn i jon interesowały Skłodowską-Curie specjalnie: pierwszy z tego powodu, że natura jego promieniowania wciąż jeszcze nie była znana, a drugi — jako pierwiastek macierzysty radu.

Pomimo niedomagania fizycznego i wielkiego osłabienia wzroku uczona do ostatnich lat życia



starła się eksperymentować sama; bezpośrednio też, tylko przy współudziale asystentów, kierowała pracami wykonywanymi w Instytucie. W ostatnich miesiącach życia, wiosną r. 1934 specjalnie interesowała się pracami córki swej Ireny i zięcia Fryderyka Joliot, przewidując, że badania te w drugim już pokoleniu wsławią imię Curie.

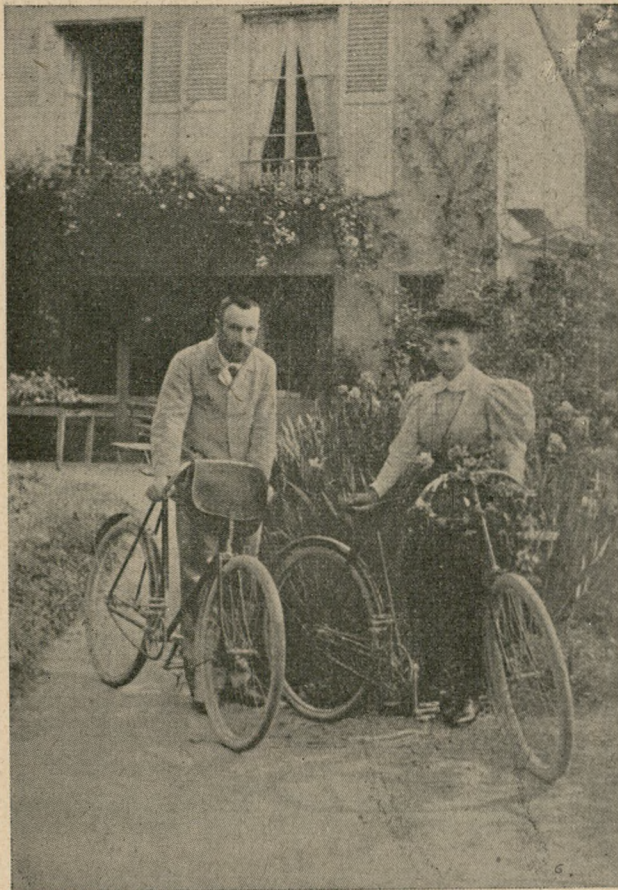
Istotnie dwudziestolecie śmierci Marii Skłodowskiej-Curie jest równocześnie dwudziestolecie odkrycia promieniotwórczości sztucznej. Na drodze laboratoryjnej, bombardowaniem atomów pierwiastków lekkich cząstkami  $\alpha$ , Irena i Fryderyk Joliot-Curie zdołali bowiem otrzymać promieniotwórcze izotopy pierwiastków pospolitych, uważanych dotąd za trwałe, jak azot, krzem i fosfor. Rok 1934 stał się nowym słupem granicznym na drodze rozwoju nauki o pierwiastkach chemicznych. Dziś już znamy odmiany promieniotwórcze wszystkich istniejących w przyrodzie pierwiastków, a nawet umiemy otrzymywać sztuczne pierwiastki pozauranowe do setnego włącznie.

Jeśli rzucić okiem na całość dzieła Marii Skłodowskiej-Curie, na drogę rozwojową nauki o promieniotwórczości, z podziwem stwierdzić należy, iż żadna chyba inna nauka nie wywarła tak potężnego wpływu na życie umysłowe świata. W każdej dziedzinie wiedzy spotykamy ten wpływ.

Przed odkryciem promieniotwórczości fizyka XIX wieku kształtowała się pod znakiem termodynamiki. O budowie atomu nie wiedziano nic zgoła, zdobywając zaledwie pierwsze wiadomości z zakresu powstawania cząstek nafaadowanych w gazach rozrzedzonych. Odkrycie promieniotwórczości pozwoliło poznać elementy budowy atomu. Zjawisko przenikania promieni  $\alpha$  przez materię, doprowadziło do wniosku o istnieniu wielkich odległości międzyjądrowych w porównaniu z wymiarami cząstek materii. W rezultacie powstała koncepcja „planetarnej“ budowy atomu i rozwinęła się nauka o budowie materii. Poznanie szeregów genealogicznych pierwiastków promieniotwórczych, z ołowiem jako produktem końcowym, doprowadziło do wykrycia izotopii i całych setek naturalnych i sztucznych odmian atomowych.

Przed triumfalnym pochodem fizyki jądra atomowego ustąpiły w cień zdobycze termodynamiki klasycznej. Nauka znalazła w jądrze nową formę energii w ilościach tak potężnych, że pokonujących całkowicie starą groźbę termodynamicznego „ostygnięcia“ ziemi. Fizyka zdobyła wreszcie środki wyzwalań energii atomowej w reakcjach jądrowych.

Wpływ nauki o promieniotwórczości na rozwój chemii zaznaczył się niemniej silnie, niż w dziedzinie fizyki. Chemia końca XIX wieku była nauką o materii, złożonej z kilkudziesięciu pierwiastków. Każdy z pierwiastków miał stanowić odrębny rodzaj atomów, w istocie swej różniących się od siebie. Nierozkładalność atomu



Maria Skłodowska-Curie z mężem

i niemożliwość zamiany jednego pierwiastka w drugi stanowiły postulaty chemii klasycznej. Odkrycie promieniotwórczości wywołało głębokie przeobrażenie pojęć w tej dziedzinie. Stwierdzono zjawisko samorzutnego rozpadu atomu, obalając tym postulat nierozkładalności i wyodrębniono nowe pierwiastki jako produkty przemian. Miejsce obalonej zasady niezmienności pierwiastków chemicznych zajęły doświadczenia nad sztuczną zamianą jednych pierwiastków w drugie, oparte na poznaniu jedności budowy materii. Chemia XX wieku została wzbogacona w naukę o pierwiastkach, w radiochemię, w chemię jądra atomowego i wreszcie w bogaty dział zastosowań izotopów promieniotwórczych jako wskaźników kierunku reakcji chemicznych i wielu procesów fizyko-chemicznych.





Izotopy promieniotwórcze bardzo daleko i trwale wkroczyły też do nauk biologicznych. Procesy biochemiczne i fizjologiczne mogą być częstokroć łatwo badane, gdy jednym z substratów reakcji będzie substancja zawierająca atom promieniotwórczy. Jako takie wskaźniki atomowe szerokie zastosowanie w naukach biologicznych znalazły dziś promieniotwórcze odmiany węgla, sodu, fosforu, wapnia, żelaza i jodu. Pozwoliły one zbadać mechanizm wielu skomplikowanych reakcji i poznać rolę fizjologiczną niejednego czynnika chemicznego.

Drugi dział zastosowań substancji promieniotwórczych w naukach biologicznych związany jest z bezpośrednim oddziaływaniem promieni na komórki żywe. Własność ta znana jest ogólnie i zastosowana w terapii nowotworów. Nauka o nowotworach (onkologia) i histopatologia badają specjalnie promienioczułość różnego rodzaju tkanek na promienie  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i Roentgena. Na tej drodze uzyskano nie tylko zespół interesujących obserwacji, ale i wskazania o charakterze leczniczym.

Wpływ nauki o promieniotwórczości nie ogranicza się do fizyki, chemii i nauk biologicznych.

Sięga on zagadnień kosmicznych. Pierwiastki promieniotwórcze rozpowszechnione są na całej kuli ziemskiej. Rozmieszczeniem ich i wpływem na temperaturę ziemi zajmuje się radiogeologia. Ona też bada wiek i losy chemiczne naszej ziemi. Gdy sięgniemy myślą poza ziemię, stanimy znów w obliczu zagadnień jądrowych. Źródłem energii słońca i gwiazd są przemiany jądrowe. Toteż astrofizyka i astrochemia nabrały istotnej treści dopiero z chwilą, gdy stwierdzona została jedność budowy materii i poznane warunki energetyczne istnienia różnych odmian atomów.

Nauka o promieniotwórczości nadała nowe kierunki rozwojowe wszystkim naukom przyrodniczym, opanowała wielki teren zagadnień z zakresu praw ziemi, a sięga w najdalsze przestrzenie kosmiczne. Dwudziestolecie śmierci Marii Skłodowskiej-Curie jest okresem triumfalnego pochodzenia nauki o promieniotwórczości przez cały świat. W pochodzie tym idą tłumy uczonych różnych specjalności, a na czele, jak sztandar widnieje nazwisko *Marii Skłodowskiej-Curie*.

ALICJA DORABIALSKA (Łódź)

## W DWUDZIESTĄ ROCZNICĘ ŚMIERCI M. SKŁODOWSKIEJ - CURIE

IGNACY ZŁOTOWSKI (Warszawa)

W sierpniu 1900 roku Francuskie Towarzystwo Fizyczne zorganizowało w Paryżu pierwszy międzynarodowy kongres fizyków. Wśród ponad 900 uczestników, przybyłych z kilkunastu krajów Europy i Ameryki, znaleźli się najwybitniejsi przedstawiciele ówczesnego przyrodoznawstwa. Podczas sześciodniowych obrad wygłoszono klikadzieciąt referatów, wskazujących na niezwykle rozległość tematyki, która wyrosła na gruncie olbrzymiego materiału doświadczalnego, zebranego w poszczególnych gałęziach fizyki i chemii. Zjawiska krytyczne, symetria kryształów, analiza prążków widmowych, własności magnetyczne ciał, fale Hertza, zjawiska Zeemana, promienie katodowe, ciśnienie światła, elektryczność atmosferyczna, zorza północna, wyznaczenie stałej grawitacyjnej, otrzymywanie stopów sproszkowanych metali, czy wreszcie fizyka siatkówki oka i inne zagadnienia fizyko-chemiczne dotyczące organizmów żywych — oto zaledwie część omawianych na kongresie problemów. W miarę jak roztaczały się przed słuchaczami coraz wspanialsze perspektywy dalszego rozwoju nauki eksperymentalnej, zarysowywało się coraz więcej sprzeczności pomiędzy wynikami realizowanych doświadczeń a dominującym wówczas mechanistycznym tłumaczeniem tych wyników.

Olbrzymia większość fizyków-materialistów XIX stulecia usiłowała wtłoczyć dorobek całego przyrodoznawstwa w ciasne ramy mechaniki newtonowskiej. Wszystko we wszechświecie miało być rzekomo zbudowane z niepodzielnych i niezmiennych atomów poruszających się w absolutnej próżni, zgodnie z ustalo-

nymi przez Newtona prawami ruchu. O tym jak silnie były zakorzenione w umysłach badaczy koncepcje mechanistyczne świadczy między innymi wygłoszony na wspomnianym kongresie paryskim referat biofizyka Stanojewicza, który usiłował udowodnić, że rozwój komórek roślinnych odbywa się według praw analogicznych do praw Newtona. Rozpracowana w drugiej połowie XIX stulecia kinetyczna teoria materii pozwoliła istotnie wytłumaczyć w sposób materialistyczny niejedno zagadnienie termodynamiki i optyki, lecz nie dające się przewyciężyć trudności napotymano przy każdej próbie stworzenia na gruncie klasycznej mechaniki konsekwentnej teorii promienionowania.

W wygłoszonym na kongresie paryskim referacie lorda Kelvina, w którym ten żywołowy materialista korzystając z hipotezy eteru kosmicznego, starał się ująć wszystkie zjawiska przyrody w ramy idealnych modeli mechanicznych, nie trudno było dostrzec wyraźne niezgodności z doświadczeniem. Niezgodności te były wodą na młyn liczących fizyków-idealistów, którzy pod pozorem surowej krytyki materializmu mechanistycznego odrzucali w ogóle materialistyczny pogląd na świat, identyfikując wraz z całą szkołą Ernesta Macha otaczającą nas przyrodę z naszymi wrażeniami. Gorącym obrońcą wywodzącego się z „machizmu“ relatywizmu filozoficznego był na kongresie w Paryżu Henryk Poincaré. Ten znakomity fizyk i matematyk francuski głosił, że w przyrodoznawstwie ujawniły się „symptomy poważnego kryzysu... powszechnej klęski zasad“. Przy czym klęska

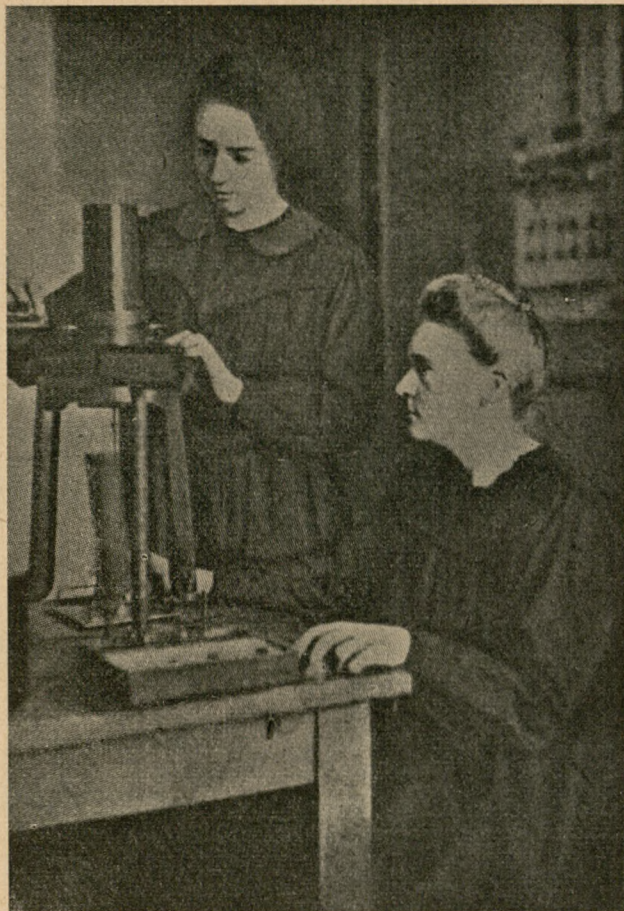


ta miała jakoby dotknąć przede wszystkim zasadę zachowania energii, którą zdaniem Poincarégo podważył „wielki rewolucjonista — rad“.

Nic więc dziwnego, że szczególne zainteresowanie wzbudził na kongresie paryskim poświęcony owemu „rewolucjonście“ obszerny referat Marii i Piotra Curie. Po raz pierwszy to bowiem małżonkowie Curie zademonstrowali publicznie szereg niezwykłych własności substancji promieniotwórczych, formułując przy tym jasno wysuniętą jeszcze w 1899 roku przez Marię Skłodowską-Curie śmiałą hipotezę, że źródłem energii wysyłanego przez te substancje promieniowania są procesy wewnętrzatomowe. Zgodnie z tą hipotezą zjawiska promieniotwórcze miały polegać na stopniowym rozpraszaniu energii nagromadzonej we wnętrzu atomów niektórych pierwiastków chemicznych. „Pogląd ten — brzmiały ostatnie słowa referatu małżonków Curie — prowadzi z konieczności do odrzucenia niezmienności atomu“.

Lecz wysuwając hipotezę, która obalała uświęcone wielowiekową tradycją twierdzenie o niepodzielności atomów, Maria Curie ani przez chwilę nie wątpiła w ściśle materialistyczne uzasadnienie nowo obserwowanych zjawisk. Wbrew wysnuwanym z tych zjawisk idealistycznym wnioskowi jakoby atomy ulegały dematerializacji, jakoby — używając słów Poincarégo — „materia znikła“, Maria Curie buntowała się przeciwko uznawaniu w przyrodzie jakichkolwiek elementów absolutnie niezmiennych i w ewentualnej zmienności atomów nie widziała bynajmniej nic niezwykłego, nic co by miało podważyć nasze zaufanie do nauki. Wręcz przeciwnie, w każdym nowym odkryciu dostrzegała wyraz potęgi umysłu ludzkiego, wydzierającego jedną po drugiej, nawet najzażarciej ukrywane tajemnice przyrody. Nie opowiadając się nigdy wyraźnie za materialistyczno-dialektycznym poglądem na świat, Maria Curie odnosiła się od zarania swej działalności naukowej jak najbardziej niechętnie do wszelkich prób wypaczania zdobywanej wiedzy przez jej interpretację idealistyczną i była w jawnej niezgodzie z tymi, którzy odrzucając materializm mechanistyczny „wylewali przy tym z wanny dziecko wraz z wodą“ (Lenin).

Po stwierdzeniu, że w wysyłanym przez substancje promieniotwórcze promieniowaniu występują naładowane ujemnie cząstki, identyczne z wykrytymi nieco wcześniej przez Thomsona wolnymi elektronami, o masie ponad tysiąc razy mniejszej od masy atomu wodoru, Maria Skłodowska-Curie nie zawahała się orzec, że ciała promieniotwórcze należy uważać za swoisty rodzaj materii, odznaczający się silnym ruchem wewnętrznym, za „materię w stanie rozpadu“. „Jeśli tak jest w rzeczywistości — rozumowała dalej — to rad powinien stale tracić na wadze“. Pisząc te słowa w 1900 roku wielka uczona wątpiła, czy doświadczalne sprawdzenie tego wniosku będzie kiedykolwiek możliwe. Minęło jednak zaledwie kilka lat, a hipoteza rozpadu promieniotwórczego została w pełni potwierdzona za pomocą pięknych doświadczeń Rutherforda i jego uczniów nad identyfikacją produktów kolejnych przemian szeregu uranowo-radowego. Co więcej, wkrótce zdołano wykazać, że energia promieniowania, wysyłanego przez każdy preparat promieniotwórczy odpowiada ściśle różnicy pomiędzy masą po-



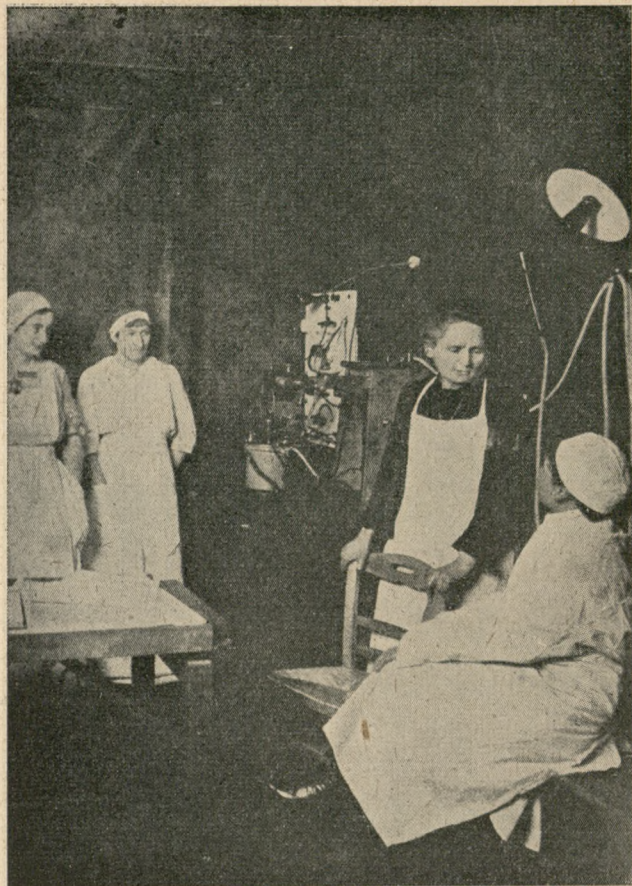
Maria Skłodowska-Curie z córką Ireną w pracowni

czątkową atomów ulegających rozpadowi a sumą mas atomów produktów rozpadu.

W ten sposób zjawisko promieniotwórczości dostarczyło pierwszego dowodu doświadczalnego na potwierdzenie wyprowadzonej przez Einsteina i Langevina ze szczególnej teorii względności powszechnej zasady współzależności masy i energii. Jednocześnie zaś stało się jasne, że towarzyszące zawsze rozpadowi promieniotwórczemu znaczne efekty cieplne stanowią tylko równoważnik tej części wyzwolonej podczas tego rozpadu energii jądrowej, która zostaje pochłonięta i zamieniona na ciepło w samej substancji promieniotwórczej.

Już w 1900 roku Maria Curie zwracała uwagę na znamienny fakt, iż hipoteza rozpadu promieniotwórczego prowadzi w konsekwencji do wniosku, że źródłem energii wysyłanego promieniowania są zachodzące w ciałach promieniotwórczych przemiany chemiczne. „Lecz — pisała w jednej ze swych prac — nie są to zwykłe przemiany chemiczne, gdyż w zwykłych przemianach atomy nie ulegają zmianie. Natomiast w ciałach promieniotwórczych jeśli coś ulega zmianie, to tylko atomy, bowiem promieniotwórczość jest przywiązana do atomu“. Ten zdrowy, materialistyczny stosunek do przyrody pozwolił Marii Curie na utworzenie nauce jasnej drogi, prowadzącej ku zrozumieniu nowo odkrytych zjawisk. Odrzucając stanowczo wszelką metafizykę i ufając niezłomnie, że tylko ściśle powiąza-





Maria Skłodowska-Curie w pracowni radiologicznej

nie doświadczenia z teorią może zapewnić opanowanie sił przyrody i wykorzystanie ich dla dobra ludzkości, genialna uczona starała się zawsze zdobyć jak najbardziej konkretne dowody doświadczalne, które by przemawiały bezpośrednio do każdego zdrowo myślącego człowieka.

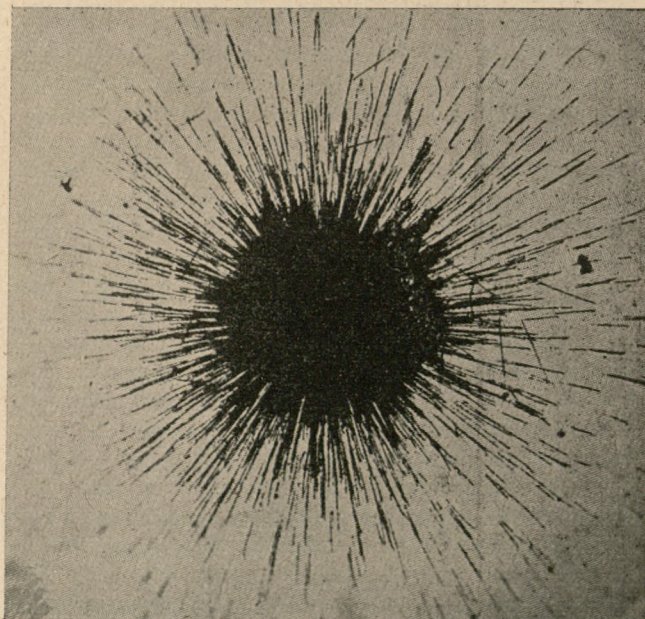
Od chwili wykrycia polonu i radu Maria Curie zmierzła z właściwą sobie stanowczością do wytyczonego celu, jakim było wydzielenie większej ilości tych dwu nowych pierwiastków chemicznych. Nie zrażona brakiem laboratorium, pozbawiona wszelkiej pomocy finansowej i technicznej, przystępuje do niezwykle uciążliwej i trwającej szereg lat pracy nad uzyskaniem czystej soli radowej (1902), potem zaś czystego metalicznego radu (1910). „Maria Curie pragnęła za wszelką cenę zobaczyć czystą sól radu i zmierzyć jego ciężar atomowy — pisała po latach w swych wspomnieniach o matce Irena Joliot Curie — i czyniąc uparte wysiłki w tym kierunku, nie tylko zaspokoiliła swoje własne pragnienie ale dostarczyła dowodu, bez którego wielu uczonych dałoby się z trudem przekonać o rzeczywistym istnieniu nowych pierwiastków“.

Istotnie, zapoczątkowane przez Marię Curie systematyczne prace nad wydzieleniem, identyfikacją i poznaniem własności fizycznych i chemicznych wykrywanych wciąż nowych izotopów promieniotwórczych występujących w stanie naturalnym w przyrodzie stworzyły podwalinę pod całą naszą dzisiejszą wiedzę o zjawiskach wewnątrzatomowych. „Nauka o promienio-

twórczości — stwierdzała słusznie Maria Curie w swym wykładzie inauguracyjnym wygłoszonym w auli Uniwersytetu Warszawskiego w 1925 roku — stała się źródłem pierwszych konkretnych danych co do budowy atomów“.

Już pierwsze publikacje Marii Curie świadczyły o niezmiernie wnikliwej ocenie doniosłości dokonanych wspólnie z Piotrem Curie epokowych odkryć naukowych. W miarę zaś jak zdobywano coraz gruntowniejszą wiedzę w dziedzinie budowy materii, Maria Curie zaczęła się dopatrywać w zjawisku promieniotwórczości przejawu jakiejś ogólnej cechy materii, polegającej na wybitnej nietrwałości pewnych ugrupowań jądrowych. Gdy tylko Rutherford urzeczywistnił w roku 1919 pierwszą przemianę jednego „trwałego“ pierwiastka chemicznego w inny, w kierowanym przez Marię Curie paryskim Instytucie Radowym rozpoczęto systematyczne badania, mające na celu wykrycie ogólnej metody wytwarzania izotopów promieniotwórczych ze zwykłych, występujących w stanie naturalnym w przyrodzie trwałych odmian atomowych. Badania te zostały uwieńczone powodzeniem dopiero u schyłku życia Marii Curie, kiedy to Irena i Fryderyk Joliot-Curie zdołali wykazać, że zjawisko promieniotwórczości nie jest bynajmniej właściwe nielicznej tylko grupie pierwiastków chemicznych; poddając bowiem rozmaite „trwałe“ odmiany atomowe odpowiednim przemianom jądrowym można je zamienić na odmiany promieniotwórcze. W przeciągu niespełna 5 lat od odkrycia zjawiska sztucznej promieniotwórczości otrzymano izotopy promieniotwórcze prawie połowy znanych wówczas pierwiastków chemicznych. Dalszy zaś rozwój techniki doświadczalnej pozwolił się przekonać, że wśród pierwiastków chemicznych nie ma ani jednego, który by nie posiadał izotopów promieniotwórczych.

Wydarzenie przyrodzie tej skrzętnie ukrywanej tajemnicy było dla Marii Curie źródłem podwójnej radości. Przede wszystkim wykazało słuszność poglądu wielkiej



Rozpad atomu radu



Poruczył pracownicy naukowej, Kłose Pasteur, marował  
 „sukcesem myśliwkami ludzkości”, — utakował radanie tym,  
 Co pracują dla nauki, — otaczał opieką, utrudniał magię,  
 ascedy, aby przywrócić pracownikom, przysięści, — stoa-  
 mał warunki, w którychby urzędnie i celem zdołności,  
 mogły się usunąć i prosić stwierać idealny,  
 jestto prowadzić społeczeństwo drogą rozwoju, podległ,  
 jak duchowej jąd materjalnej.

Marya Skłodowska Curie

Autograf Marii Skłodowskiej-Curie

uczonej co do powszechnej zmienności pierwiastków chemicznych, wkrótce zaś dostarczyło aż nader przekonujących dowodów na potwierdzenie trafnych przewidywań Marii Curie, wypowiedzianych w ogłoszonej w 1904 roku rozprawie doktorskiej, że „gdyby za pomocą obecnie znanych nam warunków fizycznych udało się stworzyć substancje bardzo radioaktywne z nieaktywnych, byłibyśmy w stanie wytłumaczyć wtedy przyczynę radioaktywności samodzielnej niektórych substancji“. Jednocześnie zaś odkrycie dokonane przez małżonków Joliot-Curie odsłaniało rozległe perspektywy wykorzystania na wielką skalę zjawiska promieniotwórczości w badaniach naukowych, w technice i — co najważniejsze — w medycynie.

Działanie fizjologiczne radu stwierdzono już w roku 1900, po czym dzięki inicjatywie małżonków Curie lekarze w różnych krajach zaczęli stosować rad w lecznictwie. Tak powstała nowa gałąź medycyny, zwana curieterapią. Aby jednak ta nowa metoda leczenia nowotworów mogła znaleźć powszechne zastosowanie, niezbędne było rozporządzenie znacznymi ilościami taniach substancji promieniotwórczych. Niestety rad występuje w skorupie ziemskiej w ilościach znikomych. Ponadto zaś, chociaż Maria i Piotr Curie oddali wyniki swojej wieloletniej pracy bezinteresownie na użytek całej ludzkości, wielkie kartele międzynarodowe ustalały coraz wyższą cenę radu na rynkach światowych i ten rzadki pierwiastek chemiczny stał się niebawem najdroższą rzeczą na świecie. W ciągu niespełna 20 lat paryski Instytut Radowy rozporządzał zaledwie gramem czystej soli radowej, którą Maria Curie otrzymała własnoręcznie, przerabiając w słynnej szopie przy Rue Lhomond kilka ton blendy uranowej. W tych warunkach nie mogło być oczywiście mowy o zaspokojeniu wciąż wzrastających potrzeb curieterapii. Maria Curie widziała słusznie jedyne rozwiązanie tego palącego zagadnienia w znalezieniu metody sztucznego wytwarza-

nia izotopów promieniotwórczych. Mimo swej olbrzymiej doniosłości naukowej metoda małż. Joliot-Curie okazała się w praktyce stosunkowo kosztowna i niezbyt ekonomiczna. Marzenia Marii Curie o udostępnieniu całemu światu dobrodziejstw, które niosą ze sobą substancje promieniotwórcze, ziściły się dopiero wówczas, gdy zbudowano pierwsze reaktory jądrowe. Umożliwiając dzięki wykorzystaniu tych urządzeń niezwykle taną produkcję rozmaitych izotopów promieniotwórczych w ilościach równoważnych setkom czy nawet tysiącom kilogramów radu, nauka i technika utorowały wreszcie drogę do praktycznej realizacji wspaniałej myśli Marii Skłodowskiej-Curie o wyzyskaniu promieniotwórczości w służbie masowego lecznictwa.

Szczególną wagę przywiązywała Maria Curie do kształcenia młodej kadry specjalistów w dziedzinie nauki o promieniotwórczości oraz jej zastosowań w różnych gałęziach praktyki. Paryski Instytut Radowy skupiał badaczy z całego świata, którzy pod czujnym okiem „wielkiej nauczycielki“ zdobywali gruntowną wiedzę z myślą o dalszym rozwijaniu tej nowej nauki w swych krajach ojczystych. Wśród pracowników Instytutu można było naliczyć ponad 25 różnych narodowości, a u schyłku życia Marii Curie pracowało tam jednocześnie kilkadziesiąt osób z kilkunastu krajów. Godzi się podkreślić, że nie było bodajże ani jednego takiego roku, żeby do grona uczniów i współpracowników Marii Curie nie należał przynajmniej jeden Polak.

Pędząc swój utrudzony żywot nad Sekwaną, z dala od ukochanej „szarej, poetycznej Wisły“, Maria Curie pomagała zawsze, w miarę swych możliwości, rozwojowi nauki w Polsce. Jeszcze przed pierwszą wojną światową w skromnej pracowni Marii Curie w Paryżu kształcili się trzej młodzi Polacy — Mirosław Kernbaum, Jan Danysz i Ludwik Wertenstein. Dzięki wydatnej pomocy Marii Curie oraz poważnej



dotacji zaofiarowanej przez rodzinę przedwcześnie zmarłego na obczyźnie Mirosława Kernbauma, w 1913 roku powstała w Warszawie pierwsza polska pracownia naukowa dla badań nad promieniotwórczością. Tylko zapobiegliwości Marii Curie oraz upartym wysiłkom Ludwika Wertensteina zawdzięczać należy, że ta skromna placówka badawcza, zdana prawie wyłącznie na łaskę prywatnej filantropii, zapisała się chlubnie w dziejach nauki polskiej.

W latach dwudziestych Maria Curie rozpoczęła starania o stworzenie także w Polsce specjalnego Instytutu dla wykorzystania radu do walki z rakiem. Fundusze na budowę Instytutu zebrało społeczeństwo polskie w odpowiedzi na apel Komitetu Daru Narodowego dla Marii Skłodowskiej-Curie, pod koniec zaś 1930 roku dzięki ofiarności tysięcy Polaków oraz przyjaciół Polski na całym świecie Instytut uzyskał jeden gram radu. W maju 1932 roku Maria Curie przybyła do Warszawy na uroczystość otwarcia Instytutu nazwanego Jej imieniem. Była to ostatnia wizyta Marii Curie w Polsce. Żegnając Warszawę nie sądziła, że żegna ją na zawsze.

Ostatnie lata swego życia Maria Curie poświęciła głównie pracy nad przygotowaniem nowego wydania klasycznego dzieła *Promieniotwórczość*. Książka ta, to jeden z najpiękniejszych przykładów w światowej literaturze naukowej konsekwentnego powiązania rozważań teoretycznych z praktyką doświadczalną. A przy tym z każdej jej stronicy przebija gorące umiłowanie nauki, tego szczytowego osiągnięcia myśli ludzkiej. „Należę do tych, którzy uważają, że nauka ma swoje wielkie piękno. Uczony w laboratorium jest nie tylko technikiem; jest także jakby dzieckiem w obliczu zjawisk przyrody, które czarują je jak bajka. Winniśmy móc wyrazić to uczucie; nie powinniśmy pozwolić, aby sądzono, że cały postęp naukowy sprowadza się do mechanizmów, maszyn, zazębiających się wzajemnie kółek, które zresztą posiadają również swoje własne piękno“.

Słowa te Maria Curie wypowiedziała w maju 1933 roku na posiedzeniu Komitetu Współpracy Międzynarodowej, w którym reprezentowała stale dwa kraje — Francję i Polskę, walcząc uparcie o zapewnienie wszystkim krajom jak najlepszych warunków dla postępu naukowego. Doceniając w pełni w twórczości naukowej elementy artystycznego piękna, Maria Curie nie wątpiła nigdy, że właściwym motorem działania prawdziwych uczonych nie jest ani przyrodzona człowiekowi ciekawość, ani chęć sławy lub osobistego zadowolenia, lecz pragnienie przysporzenia dobrobytu i szczęścia wszystkim ludziom dobrej woli na świecie. Toteż nie mogła się pogodzić z narzuconą nauce przez ustrój kapitalistyczny rolą pariasa budżetów państwowych. „Współczesne społeczeństwo, opanowane żądzą zbytku i bogactwa nie rozumie wartości nauki. Nie pojmuje, że jest ona najcenniejszą częstką naszej moralnej spuścizny. Nie dość zdaje sobie sprawę z tego, że nauka leży u podstaw każdego postępu, który ułatwia życie ludzkie i zmniejsza jego cierpienia“. Przytoczona tu wypowiedź Marii Curie datuje się z roku 1924. W ciągu trzech dziesiątków lat, które nas dzielą od tego czasu, sytuacja nauki w krajach kapitalistycznych niewiele się zmieniła na lepsze. Jeżeli dziś, u progu wspaniałej ery energii jądrowej, państwa imperialistyczne popierają badania naukowe, to czynią to przede wszystkim z myślą o wyprodukowaniu coraz groźniejszych narzędzi zniszczenia. Lecz krzepnące z dnia na dzień siły pokoju na świecie, mające swe oparcie w głębokim humanizmie krajów obozu socjalizmu stanowią najlepszą rękojmię, że potężne siły przyrody, których wyzwolenie i opanowanie przez człowieka jest ukoronowaniem długiego łańcucha prac badawczych zapoczątkowanych przed przeszło pół wiekiem przez przybyłą z Polski młodą doktorantkę Sorbony, przyniosą ludzkości — tak jak o tym marzyli Maria i Piotr Curie — „więcej dobra niż zła“.

## Z MARIĄ SKŁODOWSKĄ-CURIE W TATRACH

W ostatnich latach przed pierwszą wojną światową rozwijało się w Zakopanem intensywne życie naukowe, społeczne i kulturalne. Wywoływała to rozległa problematyka i ogromna siła przyciągająca najpiękniejszych gór Polski, które u swych stóp gromadziły kwiat ówczesnej polskiej inteligencji. Jedni z tych ludzi przyjeżdżali do Zakopanego i innych wsi podtatrzanskich okresowo, inni osiadali na stałe w podhalańskim świecie.

Wśród tej licznej rzeszy naukowców, artystów, społeczników i ludzi kultury wszelkiego autoramentu doniosłą rolę odgrywali znakomici lekarze, doktorowie Bronisława i Kazimierz Dłuscy. Oddali oni swój wybitny talent medyczny i znakomite uzdolnienie organizacyjne podtatrzanskiemu światu, osiedlając się na stałe przy wybudowanym przez nich i świetnie prowadzonym sanatorium dla chorych na gruźlicę w Kościelisku, koło Zakopanego.

Dom doktorostwa Dłuskich stał się jednym z najważniejszych ośrodków życia kulturalnego u stóp Tatr.

Tu wrzały dyskusje i zapadały postanowienia w sprawach zasadniczego znaczenia dla Zakopanego i Tatr. Zagadnienia lecznictwa na Podtatrze, rozwoju nauki i sztuki, turystyki i komunikacji, zachowania skarbów folkloru góralskiego i w ogóle rozwoju najcenniejszych wartości świata gór, były przedmiotem zainteresowań i działalności doktorostwa Dłuskich. Dosłownie nie było donioślejszej akcji w rowie podtatrzanskim i na Podhalu, w której nie uczestniliby doktorostwo Dłuscy. Ich to talentowi twórcemu, głębokiemu odczuciu postulatów kultury oraz niespożytej energii należy zawdzięczać między wielu dziełami, doniosłymi dla Podhala, zbudowanie według projektów S. Witkiewicza nowego, murowanego okazałego gmachu Muzeum Tatrzanskiego im. dr T. Chałubińskiego w Zakopanem. Oni to brali najżywszy udział w akcji uwolnienia W. I. Lenina z więzienia nowotarskiego.

Dr Bronisława Dłuska była rodzoną siostrą Marii Skłodowskiej-Curie. Obie siostry łączyła serdeczna miłość, pogłębiona jeszcze wspólnymi przeży-



ciami w Paryżu, gdzie dr Bronisława Dłuska była świadkiem pierwszych poczynań Marii Skłodowskiej na polu naukowym.

W roku 1911 nastąpiło radosne dla doktorstwa Dłuskich wydarzenie: do gościnnego, stylowego domu Dłuskich w Kościeliskach przyjechała Maria Skłodowska-Curie ze swoimi córkami Ireną i Ewą Curie.

Cała „paczka“ nas, młodych taterników, którzy uganiali po Tatrach wraz z córką dr Dłuskich Heleną, zapoznała się wkrótce z paryskimi gośćmi pięknego domu w Kościeliskach.

Maria Skłodowska-Curie stała wtedy w pełni rozwoju swej pracy naukowej. Z drobnej postaci tej kobiety promieniała siła wewnętrzna i skupienie człowieka pochłoniętego wielkimi problemami naukowymi, nad którymi panowała jej twórczość.

Jak wszyscy prawdziwie wielcy pracownicy nauki była skromna i ujmująca w obejściu. Bił z niej dziwny urok, który zjednywał jej serca wszystkich, a w szczególności nas, zapalnej młodzieży.

Toteż ucieszyliśmy się niezmiernie, gdy pani Maria, gdyż tak ją nazywaliśmy w potocznej mowie, wyraziła chęć pójścia gdzieś, na dłuższą wyprawę w Tatry, których piękno poznała już na mniejszych wycieczkach.

Dr Bronisława Dłuska zajęła się z właściwą jej, prawdziwie piorunującą energią, przygotowaniem do wyprawy. Na naradzie z dr Dłuską ułożyliśmy, jako grono „fachowych“ taterników, program wycieczki. Oczarowany pierwotnością przyrody doliny Niewcyrki, leżącej pod Krywanem w ówczesnej węgierskiej części Tatr, przemawiałem gorąco za skierowaniem wycieczki w te strony. Propozycja została przyjęta i z końcem sierpnia 1911 roku ruszyliśmy w gronie młodej taternickiej braci, której jako najstarszy wiekiem przewodziłem, w góry.

Pierwszego dnia wyszedłszy po południu z Kuźnic, przeszliśmy przez Boczań na Halę Gąsienicową, gdzie nocowaliśmy w starym schronisku, owianym wspomnieniami odkrywczych wypraw taternickich. Korzystając z cudownej, księżycowej nocy, „wyskoczyliśmy“ nad jeden ze Stawów Gąsienicowych. Już wtedy cieszyliśmy się głębokim zachwytem, jaki widniał na spokojnej, opanowanej twarzy pani Marii i którym zostały też ogarnięte jej miłe córki, skupiona, poważna Irena i żywa mała Ewa.

Na drugi dzień, przy pięknej pogodzie, poszliśmy dalej przez Zawrat i Gładkie. Drogę tę wybraliśmy, aby naszych paryskich gości zapoznać nieco ze skalistymi partiami Tatr i choćby łatwą wspinaczką. Wielką uciechę budziła malutka Ewa z maleńkim plecaczkiem, jak zgrabnie, w trudniejszych miejscach wspomaganą przez towarzyszy, pokonywała duże dla niej stopnie skalne i kłamry.

Z Zawratu otworzył się przed nami daleki widok głębi Tatr. Nigdy nie zapomnę spojrzenia Pani Marii, jakie pobiegło w dal. W spojrzeniu tym odbijało się zachwycenie pięknem panoramy tatrzańskiej i radość z odprężenia, jakie dała ta śliczna wycieczka.

Zszedłszy ku dolinie Pięciu Stawów, rozpoczęliśmy podejście serpentynami ścieżki na Gładką Przełęcz. Dla nas, wytrenowanych „lataniem“ po górach, była to przyjemna przechadzka, ale dla pani Marii, która rok cały spędziła na siedzącej pracy w laboratorium i nie

miała zaprawy taternickiej, musiał to być — po przejściu Zawratu — potężny wysiłek fizyczny. Ale na tej niezwykle kobiecie nie było znać tego wysiłku. Szła w górę lekko, z pogodnym uśmiechem na twarzy wymizerowanej ciężką pracą w laboratorium. Taką też swobodą i opanowaniem odznaczała się w czasie całej wycieczki, w której dorównywała bez okazywania śladu zmęczenia naszemu młodzieńczemu tempu, które jako kierownik wycieczki na próżno starałem się miarkować.

Po zejściu z Gładkiego zapuściliśmy się w bór Doliny Koprowej. Ogarnęła nas pierwotna puszcza tatrzańska, której urok tak zachwyił Mieczysława Karłowicza, że w „Taterniku“ roztoczył wizję dawnego polowca-łuczniaka, wychylającego się z ostępów leśnych Koprowej w pogoni za zwierzyną.

Obrazem równie zachwycającego piękna powitała nas dolina Niewcyrki, do której przyszlismy po południu, wspiąwszy się stromą ścieżyną wśród piramid omszałych świerków i łańców borówek.

W Niewcyrce rozbiliśmy kwatery w starym, kochanym szałasie, tonącym w oszalałej gęstwie traw i kwiatów.

Wkrótce sprawna bracia taternicka nazbierała sucharzy w przyległym lesie, roztasowała zapasy, przyniosła wody z potoku i rozpałała ogienek, na którym warzyła się „herba“ i wszelakie jajecznice, konserwy i grysiki, podstawowe części pożywienia taternickiego.

Pani Maria brała żywy udział w tych przygotowaniach, nie dając się zdystansować młodzieży. Towarzyszyła również z właściwą sobie ujmującą prostotą przy nacięciu gałązek cetyny, na której rozesałaliśmy worki do spania i koce na szałasowy nocleg.

Długo w pogodną noc rozbrzmiewały śmiechy i pieśni rozbawionej gromady, z którą wraz cieszyła się i śmiała pani Maria, aż sen zmorzył wesołe bractwo.

Gdy po obrządkach śniadaniowych i zwinięciu obozu powracaliśmy przez góry do Zakopanego znowu nieustrudzona pani Maria szła swym lekkim, zwiewnym krokiem. Jak gdyby powracając z małej przechadzki, rześka i pogodna przysła do domu w Kościeliskach, pełna zachwyty dla przeżytego piękna gór.

I taką pozostała mi we wspomnieniu na tle Tatr ta wspaniała kobieta, jedna z najpiękniejszych postaci, jakie spotkałem w życiu.

WALERY GOETEL (Kraków)





## PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ ZIEMI \*

K. SMULIKOWSKI

Początek naszej dzisiejszej wiedzy o promieniotwórczości wywodzi się — jak wiadomo — z przypadkowego spostrzeżenia Becquerela w r. 1896, że minerał uraninit inaczej blendą uranową albo blendą smolistą, pochodzący z miejscowości Joachimów w Czechach, wywołuje samorzutnie niewidzialne promieniowanie działające na emulsję fotograficzną. Spostrzeżenie to stało się impulsem do żmudnych i drobiazgowych prac poszukiwawczych Marii Skłodowskiej i Piotra Curie, uwieńczonych ostatecznie wykryciem silnie promieniotwórczego pierwiastka radu, a następnie pochodnych pierwiastków, jak emanacja radowa czyli radon, polon i inne.

Odkrycia te rozpoczęły nową epokę dla nauki o budowie materii i dla fizyki w ogólności. Z nich wyrósł nowy dział fizyki atomowej, który po pół wieku trwającym rozwoju nie tylko doprowadził do bardzo głębokiej już dziś teoretycznej znajomości wewnętrznych struktur atomów, lecz nawet umożliwił sztuczne wytwarzanie pierwiastków promieniotwórczych oraz praktyczne wykorzystanie uwięzionych w ich budowie olbrzymich ilości energii.

Nie tym jednak sprawom poświęcony jest mój dzisiejszy wykład. Tematem jego jest bowiem ilość i sposób występowania naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w przyrodzie, zwłaszcza w minerałach i skałach ziemskich. Ziemia bowiem, a w szczególności jej zewnętrzna powłoka, czyli tzw. skorupa ziemska stanowi olbrzymi magazyn wszelkich pierwiastków chemicznych, w ich liczbie także naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. Dlatego też Ziemia jest zarazem olbrzymim rezerwuarem energii atomowej wydzielanej ustawicznie wśród samorzutnego rozpadu jąder atomowych naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. Dla teoretycznej i praktycznej wiedzy o promieniotwórczości jest przeto sprawą najwyższej wagi poznanie jakości i ilości pierwiastków promieniotwórczych w materiałach ziemskich, sposobu ich rozmieszczenia w skałach i minerałach oraz skali naturalnych procesów promieniotwórczych, których bezustanne trwanie od chwili powstania kuli ziemskiej poprzez długotrwałą historię jej rozwoju aż po dzień dzisiejszy musi wywierać poważny wpływ na różne zjawiska przyrodnicze.

\*

Każdy z pierwiastków odznacza się pewną sumą indywidualnych własności fizycznych i chemicznych, które decydują o jego zachowaniu się w przyrodzie i o sposobie jego występowania w różnych materiałach ziemskich. Każdy z nich wchodzi w skład pewnych szczególnych minerałów, nagromadza się w skorupie ziemskiej w tych lub innych skałach i rudach. Jednakże skorupa ziemska nie jest tworem całkowicie utraconym i niezmiennym w czasie, lecz ulega ustawicznie pewnym przekształceniom. Dzisiejsze jej ukształto-

wanie i budowa wewnętrzna są wynikiem skomplikowanych procesów trwających wiele setek milionów lat od chwili pierwotnego jej powstania. Przebieg tych procesów i kolejność ich działania w historycznym rozwoju skorupy ziemskiej stanowią przedmiot nauki zwanej geologią.

Skały i minerały wietrzeją, przy czym wody wypływają niektóre pierwiastki w stanie roztworów, a inne pozostawiają w stanie nierozpuszczonym. Produkty zwietrzenia, zarówno w postaci roztworów jak zawiesin, dostają się do potoków i rzek, w końcu do jezior i mórz, na dnie których ulegają osadzeniu. Organizmy żywe, lądowe i wodne pobierają z wód i z produktów wietrzenia pewne pierwiastki potrzebne im do życia i gromadzą bądź to w żyjącej substancji swych komórek i tkanek, bądź też w swych mineralnych szkieletach, skorupach itp. Szczątki organizmów obumarłych mogą nagromadzać się w osadach i wzbogacać je w niektóre pierwiastki skoncentrowane przez procesy biologiczne. Wszelkie osady, złożone z materiałów tak nieorganicznych jak i organicznego pochodzenia, pod wpływem sił górotwórczych działających w skorupie ziemskiej mogą zostać wtłoczone w większe głębokości, gdzie panują wysokie temperatury i ciśnienia. Tam ulegają one przekształceniu, przekształcaniu i dostarczają nowych minerałów i skał.

Tak więc zarówno w obrębie samej skorupy ziemskiej jak też pomiędzy nią a wodami rozlanymi na jej powierzchni, światem organizmów żywych oraz atmosferą panują ustawiczne reakcje wymienne, wielorakie i nadzwyczaj skomplikowane. Różne pierwiastki chemiczne biorą udział w tej zawiłej przemianie materii ziemskiej i każdy z nich czyni to w sobie właściwy sposób, każdy z nich podlega pewnej swoistej wędrówce wśród różnorodnych w swym przebiegu procesów geologicznych. Tą nauką, która zajmuje się losem poszczególnych pierwiastków chemicznych wśród wszelkich procesów zachodzących w skorupie ziemskiej i na jej powierzchni, jest geochemia. Zadaniem tej nauki jest możliwie dokładne poznanie obiegu wszystkich pierwiastków chemicznych w przyrodzie, wytyczenie dróg ich wędrówki, wskazanie, w jakiej postaci, w jakich skojarzeniach z innymi pierwiastkami i w jakich ilościach oczekiwać możemy pojawienia się tego lub innego pierwiastka w rozmaitych środowiskach i w rozmaitych materiałach ziemskich. Geochemia jest więc nie tylko nauką przyrodniczą o podstawowym znaczeniu teoretycznym, lecz posiada też ogromne znaczenie praktyczne. Dostarcza ona bowiem cennych wskazówek co do środowisk i miejsc nagromadzenia się pewnych poszukiwanych pierwiastków użytecznych w ilościach zdalnych do gospodarczego wykorzystania.

Wszystko, co powiedziano poprzednio o pierwiastkach chemicznych w ogólności, stosuje się również do naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. I one bowiem wykazują pewien swoisty obieg w przyrodzie i w różnych środowiskach ziemskich występują w sobie

\* Odczyt wygłoszony 4 listopada 1954 r. w Warszawie w cyklu wykładów popularnych Polskiego Towarzystwa Chemicznego z okazji 20-jej rocznicy śmierci Marii Skłodowskiej-Curie.





Władysław Skłodowski z córkami: Manią, Bronią i Helą





Maria Skłodowska-Curie z córkami: Ireną i Ewą



właściwy sposób. I one są przedmiotem zainteresowania geochemii. Jeśli więc chcemy dowiedzieć się, gdzie na ziemi, w jakich środowiskach i utworach oraz w jakich ilościach występują pierwiastki promieniotwórcze, to z pytaniem tym musimy się zwrócić do geochemii.

Istnieje jednak pewna ważna różnica w geochemicznym zachowaniu się pierwiastków promieniotwórczych w porównaniu do pierwiastków zwykłych, niepromieniotwórczych. Te ostatnie są bowiem nieograniczenie trwałe. Skutkiem tego ilości ich będące ustawnie w obiegu geochemicznym w przyrodzie nie zmniejszają się od początku istnienia ziemi aż do chwili obecnej. Natomiast pierwiastki promieniotwórcze mają trwałość mniej lub więcej ograniczoną, gdyż jądra ich atomów samorzutnie i beustannie ulegają rozpadowi dostarczając innych pierwiastków. Dlatego też w ciągu długotrwałej, ok.  $3\frac{1}{2}$  miliarda lat liczącej historii ziemi, ilość wszelkich pierwiastków promieniotwórczych ulegała stopniowemu zmniejszaniu się, a przeciwnie, ilość pierwiastków będących końcowymi produktami ich rozpadu stopniowo się powiększała. Wobec tego ilościowe stosunki w obiegu geochemicznym pierwiastków tej kategorii doznawały zmian systematycznych.

Oczywiście, tego rodzaju zmiany stosunków ilościowych musiały być różne dla rozmaitych pierwiastków promieniotwórczych. Niektóre z nich składają się z atomów o różnej masie i budowie jądra przy jednakowej powłoce elektronowej, czyli z rozmaitych izotopów, przy czym różne izotopy tego samego pierwiastka mogą mieć różną trwałość albo inaczej mówiąc różne tempo rozpadu promieniotwórczego. Tempo to określa się zazwyczaj tzw. czasem połowicznego rozpadu, czyli czasem potrzebnym do samorzutnego rozbicia się połowy atomów danego izotopu.

Na przykład uran składa się z dwu podstawowych izotopów, których liczby masowe (tzn. liczby wyrażające stosunek masy ich jąder do masy protonu czyli jądra wodoru) wynoszą 238 i 235.  $U^{238}$  ma czas połowicznego rozpadu dłuższy  $4,5 \times 10^9$  lat, tzn.  $4\frac{1}{2}$  miliardów lat,  $U^{235}$  czyli tzw. aktyno-uran czas przeszedł pięciokrotnie krótszy ok.  $8,8 \times 10^8$  czyli 880 milionów lat. Dzisiejszy stosunek ilościowy obu izotopów wynosi 99,3  $U^{238}$  na 0,7  $U^{235}$ , lecz w początkach istnienia skorupy ziemskiej ok. 3 miliarda lat temu stosunek ten musiał być inny: uranu 235 musiało być wówczas znacznie więcej niż dziś. Ogromna dziś przewaga  $U^{238}$  nad  $U^{235}$  została bowiem spowodowana powolniejszym tempem rozpadu promieniotwórczego pierwszego.

Potas składa się z 3-ch izotopów o liczbach masowych 39, 40 i 41, z których  $K^{39}$  i  $K^{41}$  są niepromieniotwórcze i nieograniczenie trwałe; natomiast  $K^{40}$  jest promieniotwórczy z czasem połowicznego rozpadu 1330 milionów lat. Nic więc dziwnego, że dzisiejszy stosunek ilościowy tych izotopów —  $K^{39} = 93,38\%$ ,  $K^{40} = 0,012\%$ ,  $K^{41} = 6,61\%$  wykazuje wielkie zubożenie w nietrwałym izotopie promieniotwórczym: w ciągu paru miliardów lat trwania systemu słonecznego znaczna większość jego uległa rozpadowi, gdy tymczasem pozostałe dwa izotopy trwałe nie poniosły żadnego uszczerbku. W najdawniejszych okresach historii skorupy ziemskiej udział potasu promieniotwórczego musiał być wielokrotnie większy.

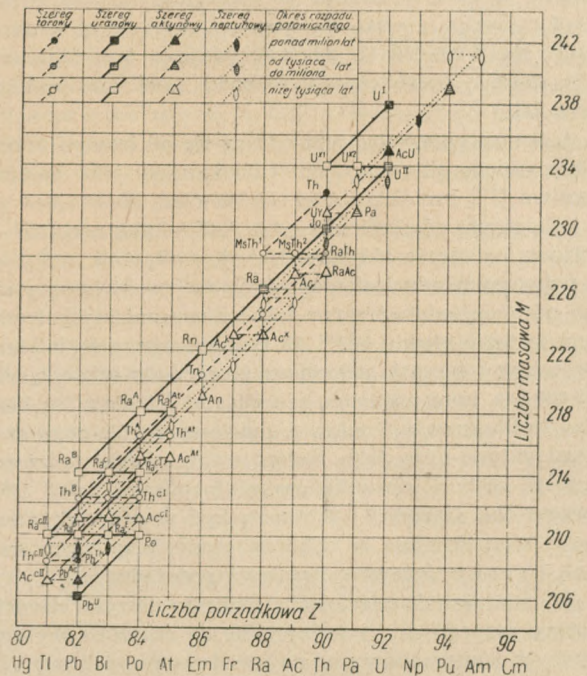
Pomiędzy oboma przykładowo wymienionymi pier-

wiastkami promieniotwórczymi — uranem i potasem — zaznacza się w ich trwałości następująca zasadnicza różnica: po wielu miliardach lat istnienia ziemi ilość uranu zredukowała się niemal do zera, gdyż oba izotopy tego pierwiastka są promieniotwórcze, a więc nietrwałe. Natomiast ilość potasu prawie wcale się nie zmieni, gdyż praktycznie całkowicie zniknie tylko jego izotop promieniotwórczy  $K^{40}$ , którego zresztą już dziś jest bardzo mało, lecz pozostałe izotopy niepromieniotwórcze  $K^{39}$  i  $K^{41}$  pozostaną w ilości niezmienionej. Z przytoczonego przykładu wynika konieczność klasyfikacji pierwiastków promieniotwórczych.

Z punktu widzenia geochemicznego naturalne pierwiastki promieniotwórcze na ziemi podzielić można na następujące 3 kategorie:

A) Pierwiastki najcięższe, mieszczące się na samym końcu układu periodycznego, głównie tor i uran. Nie zawierają one wcale izotopów trwałych i niepromieniotwórczych, a więc ilość ich w obiegu geochemicznym musi stale maleć dążąc z czasem do zupełnego zaniku. Rozpadając się wśród wydzielania promieniowania  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  dostarczają one jako końcowych produktów rozpadu 2 pierwiastków, tj. helu i ołowiu, których ilość musi przeto stale wzrastać z upływem czasu geologicznego.

Zarówno tor ( $Th^{232}$ ) jak oba izotopy uranu  $U^{238}$  i  $U^{235}$  wśród swego rozpadu promieniotwórczego wydzielają ze swych jąder atomowych etapowo cząsteczki  $\alpha$  (będące jądrami helu) oraz elektrony (promieniowanie  $\beta$ ), dostarczając przy tym kolejno rozmaitych pierwiastków i izotopów pochodnych. Każdy z 3-ch wymienionych izotopów wyjściowych dostarcza więc własnego szeregu rozpadowego, obejmującego kolejno z siebie powstające pierwiastki i izotopy. Stosunki te przedstawione są na wykresie (ryc. 1). Mamy więc w przyrodzie 3 naturalne szeregi rozpadowe:



Ryc. 1. Cztery szeregi rozpadowe ciężkich pierwiastków promieniotwórczych.



1) Szereg torowy wywodzący się od  $\text{Th}^{232}$ , obejmujący mezotor  $\text{MsTh}^1$ ,  $\text{MsTh}^2$ ,  $\text{RaTh}$ ,  $\text{Th}^X$ , toron ( $\text{Tn}$  — gazowa emanacja torowa),  $\text{Th}^A$ ,  $\text{Th}^B$ ,  $\text{Th}^C$ ,  $\text{Th}^{C1}$ ,  $\text{Th}^{C2}$ , a kończący się na nieograniczenie trwałym i niepromieniotwórczym izotopie ołowiu  $\text{Pb}^{208}$ . Wszystkie pośrednie ogniwa tego szeregu są bardzo krótkotrwałe i nie mogą mieć w przyrodzie żadnej samodzielności; zawsze towarzyszyć muszą pierwiastkowi macierzystemu torowi, odznaczającemu się wielką długotrwałością z czasem połowicznego rozpadu prawie 14 miliardów lat.

2) Szereg uranowo-radowy wywodzący się od izotopu uranu 238 i obejmujący jako kolejne ogniwa rozpadowe  $\text{U}^{X1}$ ,  $\text{U}^{X2}$ ,  $\text{U}^{II}$ , jon (Io), rad (Ra), radon (Rn — gazowa emanacja radowa).  $\text{Ra}^A$ ,  $\text{Ra}^B$ ,  $\text{Ra}^C$ ,  $\text{Ra}^{C1}$ ,  $\text{Ra}^D$  — z pobocznymi odgałęzieniami  $\text{Ra}^{CII}$ ,  $\text{Ra}^D$ — $\text{Ra}^E$ , polon (Po), a kończący się na niepromieniotwórczym już i nieograniczenie trwałym izotopie ołowiu  $\text{Pb}^{206}$ . Jest to najważniejszy i najdawniej znany szereg, w którym znajduje się kilka ważnych i stosunkowo dość długotrwałych pierwiastków i izotopów pochodnych jak uran  $\text{U}^{II}$  (czas połowicznego rozpadu 270 000 lat), jon (83 000 lat), rad (1590 lat). Inne pierwiastki i izotopy tego szeregu są już bardzo krótkotrwałe z czasem połowicznego rozpadu mierzącym się dniami, godzinami lub nawet minutami; najważniejsze z nich są radon (emanacja radowa) — 3,82 dni i polon — 140 dni. Wśród tych pochodnych pierwiastków niektóre, zwłaszcza bardziej długowieczne, jak jon i rad, mogą lokalnie i chwilowo uzyskać pewną samodzielność geochemiczną. Jednakowoż w geologicznej skali czasu, mierzącej się dziesiątkami i setkami milionów lat, i one również tracą indywidualność geochemiczną, gdyż są zbyt krótkotrwałe. Towarzyszą one tylko swemu macierzystemu pierwiastkowi uranowi w ilościach podrzędnych, określonych równowagą rozpadową, która zawsze musi się ustalić w toku czasokresów geologicznych. Na przykład rad musi zawsze towarzyszyć uranowi w stosunku 1 Ra : 3 000 000 U, gdyż decyduje o tym stosunek ich czasów połowicznego rozpadu 1590 : 4,56 miliardów lat.

3) Szereg aktynowy, wywodzący się od izotopu uranu 235 zwanego aktynouranem i obejmujący jako kolejne ogniwa  $\text{U}^Y$ , protaktyn (Pa), aktyn (Ac),  $\text{Ra}^{Ac}$ ,  $\text{Ac}^X$  — z pobocznym odgałęzieniem  $\text{Ac}$ ,  $\text{Ac}^K$  — aktynon (An — gazowa emanacja aktynowa),  $\text{Ac}^A$ ,  $\text{Ac}^B$ ,  $\text{Ac}^C$ ,  $\text{Ac}^{CII}$  — z pobocznym odgałęzieniem  $\text{Ac}^C$ ,  $\text{Ac}^{C1}$  — i kończy się na niepromieniotwórczym już i nieograniczenie trwałym izotopie ołowiu  $\text{Pb}^{207}$ . W tym szeregu, z wyjątkiem protaktynu o czasie połowicznego rozpadu wynoszącym 32 000 lat, inne pochodne pierwiastki i izotopy są bardzo krótkotrwałe. Ponieważ macierzysty dla tego szeregu aktyno-uran jako izotop uranu zawsze towarzyszy w stałym stosunku zwyczajnemu uranowi  $\text{U}^{238}$ , przeto oba szeregi 2 i 3 muszą być w przyrodzie zawsze nierozdzielnie ze sobą związane, przy czym szereg 3 musi być zawsze ilościowo podrzędny.

W ostatnim dziesięcioleciu wykryto jeszcze czwarty szereg rozpadowy wywodzący się ze sztucznie wytworzonych transuranów i od najtrwalszego z nich neptuna (Np) nazwany szeregiem neptunowym. W naturalnych minerałach ziemskich nie udało się go dotąd wykryć w sposób niewątpliwy, pomimo że teoretycznie w mi-

nimalnych ilościach można by go oczekiwać z uwagi na to, że neptun  $\text{Np}^{237}$  posiada dość długi czas połowicznego rozpadu — 2 250 000 lat. Brak neptuna na ziemi trzeba tłumaczyć tym, że jednak trwałość jego jest zbyt mała w stosunku do paru miliardów lat wieku systemu słonecznego. Jeśli nawet istniał on początkowo jako naturalny pierwiastek, to jednak w dobie obecnej ilość jego stopniała do niewykrywalnych śladów.

Tak więc spośród tej grupy ciężkich pierwiastków promieniotwórczych prawdziwie ważne w geologii i całkowicie samodzielne są tylko tor i uran.

B) Druga grupa naturalnych pierwiastków promieniotwórczych obejmuje szereg pierwiastków z różnych miejsc układu periodycznego, znacznie lżejszych od toru i uranu. Są to pierwiastki, w których tylko jeden z izotopów jest promieniotwórczy, inne zaś są nieograniczenie trwałe. Wobec tego pierwiastkom tym nigdy, w najdalszej nawet przyszłości, nie może grozić zupełne wyczerpanie się, gdyż nawet gdyby zanikły całkowicie ich izotopy promieniotwórcze, to jednak pozostałe izotopy zachować się muszą trwale. Do tej grupy należą izotopy następujących pierwiastków:

Potas  $\text{K}^{40}$  z czasem połowicznego rozpadu 1330 milionów lat, stanowiący 0,012% całkowitej ilości potasu, wywiązujący tylko promieniowanie  $\beta$ ,  $\text{K}$ ,  $\gamma$  i dostarczający izotopów wapnia i argonu. Wapń jest pierwiastkiem bardzo pospolitym na ziemi, liczniejszym jeszcze niż całkowity potas; wobec tego dodatkowa produkcja tego pierwiastka z rozpadu promieniotwórczego potasu nie ma istotnego znaczenia. Natomiast argon jest gazem szlachetnym niezwykle pospolitym na ziemi w porównaniu z innymi rzadkimi gazami tej grupy. Dlatego też uzasadnionym jest przypuszczenie, że przeważająca część tego pierwiastka została dostarczona przez promieniotwórczy rozpad potasu  $\text{K}^{40}$  w ciągu z górą 3 miliardów lat historii ziemi.

Rubid  $\text{Rb}^{87}$  z czasem połowicznego rozpadu 63 miliardów lat, stanowiący ok. 27% całkowitej ilości rubidu w przyrodzie. Wywiązuje on — podobnie jak potas — tylko promieniowanie  $\beta$  (elektrony) +  $\gamma$  i przeobraża się przy tym w izotop strontu  $\text{Sr}^{87}$  stanowiący 7% całkowitej ilości tego pierwiastka w przyrodzie.

Samar  $\text{Sm}^{152}$  z czasem połowicznego rozpadu ok. 2 bilionów lat, stanowiący 26% całkowitej ilości tego pierwiastka w przyrodzie. Jest to jedyny w tej grupie (B) izotop promieniotwórczy wykazujący promieniowanie  $\alpha$ , tzn. produkujący hel, podobnie jak pierwiastki grupy ciężkiej A. Jest go jednak tak mało w przyrodzie i rozpad jego jest tak niesłychanie powolny, że wynikająca z niego produkcja helu w porównaniu do produkcji przez tor i uran staje się zupełnie znikoma.

Kasjop  $\text{Cp}^{176}$  \* z czasem połowicznego rozpadu 24 miliardów lat, stanowiący  $2\frac{1}{2}\%$  całkowitej ilości tego pierwiastka w przyrodzie. Wywiązuje on promieniowanie  $\beta$ ,  $\text{K}$  i  $\gamma$  i przeobraża się w izotop hafnu  $\text{Hf}^{176}$ .

Ren  $\text{Re}^{187}$  z czasem połowicznego rozpadu 4 biliony lat ( $4 \times 10^{12}$ ), stanowiący ok. 63% całkowitej ilości tego bardzo rzadkiego w przyrodzie pierwiastka. Przez wypromieniowanie elektronów ( $\beta$ ) przechodzi on w izotop osmu  $\text{Os}^{187}$  — pierwiastka należącego do rodziny platyny.

\* Inaczej Lulet-Lu<sup>176</sup>.



Wymienionych 5 izotopów\*\* tej grupy pierwiastków promieniotwórczych odgrywa w ogólnej promieniotwórczości ziemskiej rolę podrzędną w porównaniu z pierwiastkami grupy A, tzn. głównie z torem i uranem. Są one bowiem przeważnie tylko wysyłaczami promieni  $\beta$ , podczas gdy tor i uran są ponadto źródłem promieniowania  $\alpha$ , które pod względem wydzielanej energii jest bez porównania potężniejsze. Samar zaś, chociaż podobnie do toru i uranu wysyła promienie  $\alpha$ , jest tak rzadki w przyrodzie i tak powoli rozkładalny, że nie odgrywa prawie żadnej roli.

C) Jako trzecią grupę pierwiastków promieniotwórczych w przyrodzie można wymienić takie, które mając krótki czas połowicznego rozpadu nie mogą należeć do trwałego inwentarza pierwiastków ziemskich. Ich obecność na ziemi, w ilościach zresztą całkiem minimalnych, jest spowodowana tym, że ustawicznie powstają wtórnie z innych pierwiastków pod wpływem obcego promieniowania.

Tu należy promieniotwórczy izotop węgla  $C^{14}$  najprawdopodobniej powstający ustawicznie z azotu w najwyższych warstwach atmosfery pod wpływem promieniowania kosmicznego. Z atmosfery w postaci dwutlenku węgla jest przyswajany przez rośliny i wchodzi w skład ich materii żywej, a następnie za pośrednictwem roślin do ciał zwierzęcych. Udział ilościowy  $C^{14}$  w ogólnej masie materii żywej oceniany jest na ok. jedną dziesięciomiliardową procentu ( $10^{-10}$  %). Czas jego połowicznego rozpadu wynosi w przybliżeniu 6000 lat. Wobec tego po obumarciu organizmów nawet ta minimalna jego ilość w materii organicznej stale się zmniejsza, aby po upływie kilkudziesięciu tysięcy lat zmaleć do niewykrywalnych już śladów. Ta okoliczność może posłużyć do wyznaczania wieku kopalnych szczątków obumarłych organizmów z czasów prehistorycznych i z najświeższej przeszłości geologicznej, co dla nauki ma ogromne znaczenie.

Drugim przykładem jest pluton  $Pu^{239}$  uzyskiwany dziś sztucznie w przemyśle energii atomowej. W naturalnych minerałach został on wykryty w minimalnych ilościach rzędu bilionowych części procentu. Najprawdopodobniej powstaje on tu ustawicznie z uranu  $U^{238}$  przez absorpcję napływających z zewnątrz neutronów. Czas połowicznego rozpadu plutonu  $Pu^{239}$  wynosi 24 100 lat. Najprawdopodobniej i inne transurany, jak neptun, ameryk, kiur mogą także powstawać w analogiczne sposoby i znajdować się w znikomych ilościach w naturalnych minerałach uranowych.

Pierwiastki promieniotwórcze ostatniej kategorii (C) są tak znikome w przyrodzie w porównaniu z pierwiastkami grup A i B, że praktycznie nie odgrywają żadnej roli.

Poświęćmy teraz chwilę uwagi sposobem wykrywania promieniotwórczości w różnych materiałach ziemskich, głównie w minerałach, skałach i wodach źródłanych. Możemy tu stosować trzy główne grupy metod: fizyczną, mikroskopowo-optyczną i chemiczno-analityczną. Łącznie uzupełniają się one tak dalece, że umożliwiają nam dość dokładny wgląd w sposób rozmiesz-

czenia pierwiastków promieniotwórczych w rozmaitych środowiskach ziemskich.

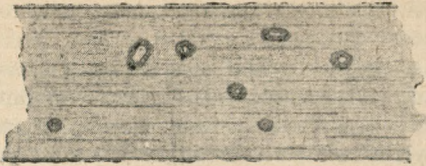
Najogólniejsze w swym stosowaniu i zarazem najczulsze są oczywiście metody fizyczne. Liczniki Geigera-Müllera i pokrewne im inne aparaty z wielką czułością wykazują nam sumaryczny efekt promieniotwórczości i pozwalają stwierdzić ogromne rozpo-rszczenie pierwiastków promieniotwórczych, choć przeważnie w minimalnych ilościach, w najrozmaitszych pospolitych materiałach ziemskich, we wszystkich niemal skałach, glebach, a nawet w ciałach organizmów, w wodach i gazach. Liczniki alfove pozwalają na wykrycie obecności tych pierwiastków, które wywołują promieniowanie  $\alpha$ , a więc głównie uranu i toru oraz pochodnych ich rozpadu.

Obecność i miejsce zlokalizowania się w wielu skałach pierwiastków  $\alpha$ -promieniotwórczych możemy łatwo wykryć przy pomocy mikroskopu, zwłaszcza polaryzacyjnego. Okazuje się bowiem, że niektóre zabarwione minerały pospolite w skałach, pod wpływem lokalnie skoncentrowanego bombardowania cząsteczek alfa, zmieniają swą barwę wskutek pewnych zaburzeń w swej wewnętrznej strukturze. Do takich minerałów należy w pierwszym rzędzie ciemna mika czyli biotyty, bardzo pospolity w granitach i innych skałach masowo budujących skorupę ziemską. Jeśli ze skały sporządzimy cieniutką, prawie przezroczystą, grubości paru setnych milimetra płytkę (tzw. szlif mikroskopowy) i będziemy ją oglądać w mikroskopie przy powiększeniu kilkudziesięciokrotnym, zobaczymy brunatnawo zabarwione przeświecające przekroje biotyty. Dokoła niektórych zamkniętych w biotycie drobnych wrostków innych minerałów pojawiają się małe obwódki znacznie ciemniej zabarwione, tzw. pola pleochroiczne (Ryc. 2), dowodzące, że we wrostkach tych zawarte są pierwiastki promieniotwórcze, które wyrzucając z wielką siłą cząsteczki  $\alpha$  spowodowały w otaczającym je biotycie zaburzenia strukturalne. Wrostki takie stanowi najczęściej minerał cyrkon, niekiedy apatyty, monacyty, allanity i niektóre inne jeszcze. W ten sposób wykrywamy, które minerały w skale zawierają pierwiastki promieniotwórcze i jak one są w niej rozmieszczone. Metoda ta pozwala nam stwierdzić, że nie tylko wszystkie niemal granity ale i wiele innych najpospolitszych skał kryje w sobie ciała promieniotwórcze.

O wiele dokładniej jeszcze i bardziej wyczerpująco możemy zbadać rozmieszczenie pierwiastków promieniotwórczych w skałach przy pomocy tzw. emulsji jądrowej; jest to w zasadzie zwykła emulsja fotograficzna, lecz szczególnie czuła i starannie spreparowana. Do płyty fotograficznej zaopatrzonej w taką specjalną emulsję (tzw. klisza jądrowa) przykładamy wypolerowaną powierzchnię badanej skały (oczywiście w ciemni) i pozostawiamy w spokoju na czas dłuższy, zazwyczaj kilka tygodni. Ze wszystkich miejsc wypolerowanej powierzchni skalnej, w których tkwią pierwiastki  $\alpha$ -promieniotwórcze, wylatują w ciągu tego okresu czasu cząsteczki  $\alpha$ , wpadają po części do emulsji i znaczą w niej swe tory przelotu. Po wywołaniu kliszy tory te zaznaczają się jako krótkie czarne kreseczki na tle nie zaświeczone (w negatywie jasnym) (ryc. 3). Zasięg lotu cząsteczek  $\alpha$  jest bardzo mały, tory cząsteczek bardzo krótkie, wobec tego owe kreseczki

\*\* Według najnowszych danych należą tu jeszcze następujące izotopy promieniotwórcze: Lantan-La<sup>138</sup>, Neodym-Nd<sup>150</sup> i Ind-In<sup>115</sup>.

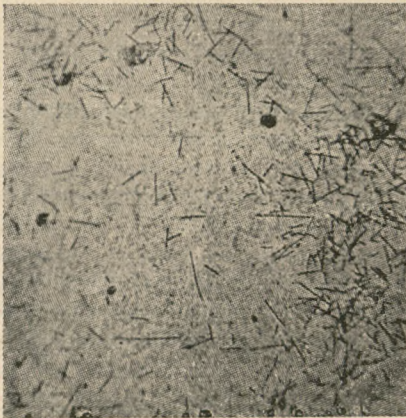




Ryc. 2. Obraz mikroskopowy biotytu z obwódkami pleochroicznymi dokoła wrostków cyrkonu

w emulsji widzialne są dopiero w mikroskopie przy silnych powiększeniach.

Studując systematycznie w mikroskopie całą powierzchnię kliszy, pole po polu, można zauważyć te miejsca, w których tory cząsteczek  $\alpha$  są szczególnie zagęszczone i które oczywiście odpowiadają miejscom powierzchni skalnej szczególnie bogatym w pierwiastki promieniotwórcze. W ten sposób rozmieszczenie pierwiastków promieniotwórczych w skale da się ściśle zlokalizować. Co więcej, da się nawet odróżnić tory cząsteczek  $\alpha$  pochodzące od uranu i od toru, gdyż energia rozpadu różnych izotopów promieniotwórczych jest różna, a więc różna musi być też długość torów zaznaczonych w kliszy. Licząc więc w mikroskopie ilości to-



Ryc. 3. Mikrofotografia kliszy jądrowej z torami cząstek  $\alpha$  wyrzucanych przez wypolerowaną powierzchnię granitu.

rów różnej długości, można wyznaczyć — przy zachowaniu pewnych środków ostrożności — stosunek ilościowy toru do uranu w całej skale, względnie w różnych jej miejscach.

Zamiast przykładać duży kawałek skały wypolerowaną powierzchnią do kliszy jądrowej, można pokryć płynną emulsją jądrową cienką płytkę przezroczystą wyciętą ze skały. Po kilku tygodniach ekspozycji w ciemni i po wywołaniu pojawiają się w emulsji takie same czarne kreseczki oznaczające tory cząsteczek  $\alpha$ , wyrzucanych z tych miejsc płytki skalnej, w których skupione są tor i uran. Sposób ten jest o tyle wygodniejszy, że spod emulsji przegląda sama płytka skalna i że w mikroskopie można bezpośrednio stwierdzić, jakie miejsca skały i które z jej minerałów, znaczące położoną na nich emulsję najgęstszyimi torami cząsteczek  $\alpha$ , są najsilniej promieniotwórcze.

Przy pomocy metod chemiczno-analitycznych można ilościowo oznaczyć pierwiastki promieniotwórcze w ca-

łej skale albo w poszczególnych wyodrębnionych z niej minerałach. Tylko w niektórych przypadkach dadzą się tu zastosować klasyczne metody analizy chemicznej; zwykle wobec bardzo drobnych ilości pierwiastków promieniotwórczych stosuje się tu metody spektrograficzne, polarograficzne, kolorymetryczne, fluorymetryczne. Przy bardzo nikłych ilościach tych pierwiastków i one jednak zawadzą i metody czysto fizyczne stają się niezastąpione.

Wieloletnie badania przy zastosowaniu naszkicowanych powyżej metod pozwoliły zorientować się w przybliżeniu w sposobie rozmieszczenia różnych pierwiastków promieniotwórczych w rozmaitych materiałach ziemskich oraz w ich ilościowych stosunkach. Geochemia pierwiastków promieniotwórczych dostarcza nam o nich następujących najważniejszych wiadomości:

Tor jest bardzo rozpowszechniony w najrozmaitszych skałach skorupy ziemskiej w ilościach rzędu tysięcznej procentu. W najważniejszych skałach pierwotnych w skorupie ziemskiej, w granitach, jest on zawsze obecny, przy czym nigdy prawie nie tworzy minerałów własnych, lecz stanowi domieszkę chemiczną w minerałach będących związkami innych pierwiastków, a więc w cyrkonie ( $ZrSiO_4$ ), w monacycie ( $CePO_4$ ), w allanicie (krzemian glinu, żelaza, wapnia i ceru) i niektórych innych jeszcze. Jest głównym wysyłaczem promieniowania  $\alpha$  w skorupie ziemskiej. W żylnych utworach wśród granitów, w tzw. pegmatytach, stanowiących najłżejsze, opóźnione w krystalizacji resztki stopu granitowego, może się niekiedy silniej koncentrować. Przy wietrzeniu prawie nie ulega rozpuszczaniu, nie wchodzi w skład wód ziemskich i nie jest pobierany przez organizmy, natomiast pozostaje w zwierzelinach, piaskach, glinach i glebach. Szlamujące działanie wód płynących lub falowania morskiego na zwierzeliny skalne może lokalnie nagromadzić nierozkładalne minerały zawierające tor. Dlatego też w piaskach, żwirach rzecznych lub plażowych może lokalnie dojść niekiedy do koncentracji toru sięgającej kilku procent  $ThO_2$ .

Uran towarzyszy torowi w ilości przeciętnie ok. 3 razy mniejszej, we wszystkich granitach i innych pierwotnych krystalicznych skałach skorupy ziemskiej, a zwłaszcza w opóźnionych w krystalizacji żyłach pegmatytowych. W przeciwieństwie do toru jednak uran chętnie ucieka ze zbiorników granitowych razem z parami i gorącymi roztworami w chłodną osłonę skalną tych zbiorników i tu dopiero wydzielać się może w postaci własnych minerałów. Najważniejszym z tych minerałów jest tlenek uranu uraninit, zwany też blendą smołową ze względu na czarny, smołowo połyskujący wygląd. Ten minerał dał początek odkryciom z dziedziny promieniotwórczości, w nim małżonkowie Curie wykryli rad, polon i inne pochodne promieniotwórcze uranu. Uraninit czasami gromadzi się w większej ilości dając złoża rudy uranowej; takie złoża znajduje się w Joachimowie w Czechach, znacznie większe złoża są w Katandze (Kongo Belgijskie) i koło Niedźwiedziego Jeziora w Polarnej Kanadzie.

Przy wietrzeniu uran — w przeciwieństwie do toru — o wiele łatwiej jest uwalniany z pierwotnych minerałów i za pośrednictwem wód krążących ulega wędrowce. Może on dawać rozliczne wtórne minerały złasz-



cza w związku z wanadem, fosforem, arsenem itp. Zdarza się więc czasem w skałach osadowych (np. złoża karnotytu w piaskowcach Colorado lub tiujamunit w wapieniach Fergany w radzieckim Turkiestanie). Krążąc z wodami przedostaje się do ciał organizmów, gdzie czasem ulega względnej koncentracji (np. uranonośny węgiel szwedzki kolm, niektóre ropy naftowe i asfalty). Uranowi wszędzie towarzyszy rad jako jego produkt rozpadu, oraz emanacja czyli radon. Ten silnie promieniotwórczy gaz szlachetny rozpuszcza się w krążących po skałach uranonośnych wodach, które wydostając się na powierzchnię dostarczają źródeł radioaktywnych o dużym leczniczym znaczeniu (np. źródła radioaktywne Świeradowa i Łącka Zdroju w Sudetach).

Potas, w którym zawsze uczestniczy izotop promieniotwórczy  $K^{40}$  w proporcji ok. 1 : 10 000, jest jednym z najpospolitszych pierwiastków na ziemi (przeciętnie ok. 2,6%). Stanowi on jeden z głównych metali w różnych pospolitych skałach ziemskich, przy czym zwłaszcza w granitach i ich żyłach pegmatytowych jest go stosunkowo dużo. Stąd w ogólnej promieniotwórczości skorupy ziemskiej odgrywa on rolę niepoślednią. Przy wietrzeniu skał większość potasu pozostaje w zwietrzelinach i glebach, skąd przedostaje się do ciała roślin, w których odżywianiu odgrywa ważną rolę. Produkty zwietrzenia skał, spłukiwane przez rzeki do jezior i mórz, osadzają się dostarczając rozmaitych skał osadowych, z których zwłaszcza drobniejsze frakcje — muły i ły — prawie zawsze zawierają sporo potasu, zwykle niewiele mniej niż skały pierwotne. Stosunkowo drobna ilość potasu jest wymywana przez wody i następnie z rzekami dostaje się do mórz. Dlatego w zasoleniu wody morskiej potas odgrywa rolę podrzędną, a złoża solne powstałe przez odparowanie odciętych basenów morskich stosunkowo rzadko tylko zawierają sole potasowe. We wszystkich materiałach ziemskich, zarówno pierwotnych jak i wtórnych, promieniotwórczy izotop potasu jest stale obecny w niezmiennym stosunku do całkowitej ilości tego pierwiastka.

Rubid jest również pierwiastkiem niezmiernie rozpowszechnionym we wszystkich skałach, zwłaszcza w granitach i w pegmatytach, będąc zawsze i wszędzie nieodłącznym towarzyszem potasu. Jest go w przyrodzie osiemdziesiąt kilka razy mniej niż potasu, ale za to izotop promieniotwórczy stanowi w nim ponad  $\frac{1}{4}$ .

Samar i kasjop należą do tzw. ziem rzadkich. Ilość ich w skałach jest w istocie niewielka (dziesięciotyśięczne części procentu), przy czym kasjop jest ok. 8 razy rzadszy od samaru. Stosunkowo największe ilości ich obu zawarte są w granitach i skałach pokrewnych oraz w niektórych pegmatytach.

Ren jest pierwiastkiem nadzwyczaj rzadkim, jego przeciętna ilość w skorupie ziemskiej jest rzędu jednej dziesięciomilionowej procentu. W ilościach wykrywalnych spotyka się go w niektórych tylko minerałach pochodzących z emanacji ciekłych mas granitowych oraz w niektórych utworach osadowych.

Z tego krótkiego przeglądu geochemii pierwiastków promieniotwórczych wynika, że wszystkie bez wyjątku są one w skorupie ziemskiej najobfitsze w granitach lub w skałach o zbliżonym składzie oraz w żyłach pegmatytowych i produktach bliskich emanacji zbior-

nikow granitowych. Jest to okoliczność niezmiernie ważna dla oceny rozmieszczenia pierwiastków promieniotwórczych na ziemi.

Poważnie uzasadnione poglądy geofizyczne na wewnętrzną budowę kuli ziemskiej głoszą, że zewnętrzna kilkadziesiąt zaledwie kilometrów mierząca powłoka ziemi ma przeciętny skład zbliżony do granitu. Jest to grubość bardzo mała w porównaniu do całego promienia ziemskiego liczącego ok. 6370 km, tzn. okrągło 200 razy więcej. Podłoże tej powłoki stanowią masy krzemianowe zbliżone do bazaltów, znacznie bogatsze w magnez i żelazo, a jeszcze głębiej rozciągają się materiały krzemianowe jeszcze bardziej różne od granitów, prawie zupełnie pozbawione potasu, sodu i glinu, a ubogie w krzemionkę, zbliżone składem do meteorytów. Analizy bazaltów wykazały, że są one przeciętnie 3—4 razy uboższe w pierwiastki promieniotwórcze od granitów, a meteoryty przeszło 10 razy uboższe. Można stąd wyprowadzić wniosek, że pierwiastki promieniotwórcze są na ziemi skoncentrowane przede wszystkim w jej cienkiej powłoce powierzchniowej, a w głąb ziemi zawartość ich gwałtownie maleje. Główny więc zapas energii promieniotwórczej skupia się w kuli ziemskiej przy samej jej powierzchni.

Na sam koniec naszych rozważań o promieniotwórczości ziemskiej spróbujmy ocenić ilościowo energię wydzielaną w skorupie ziemskiej przez rozpad pierwiastków promieniotwórczych. Energia ta musi być sumą cząstkowych energii wywiązanych przez rozmaitego rodzaju pierwiastki promieniotwórcze. Te cząstkowe energie poszczególnych pierwiastków muszą być bardzo różnej wielkości, zależą bowiem od ilości każdego z tych pierwiastków w skorupie ziemskiej, od jakości rozpadu ich jąder i czasu połowicznego rozpadu. Dla wstępnej orientacji zestawmy dwie tabelki: Tab. I podaje w kolejności malejącej przeciętne w skorupie ziemskiej zawartości izotopów promieniotwórczych. Tab. II zestawia w kolejności rosnącej czasu połowicznego rozpadu tych samych izotopów.

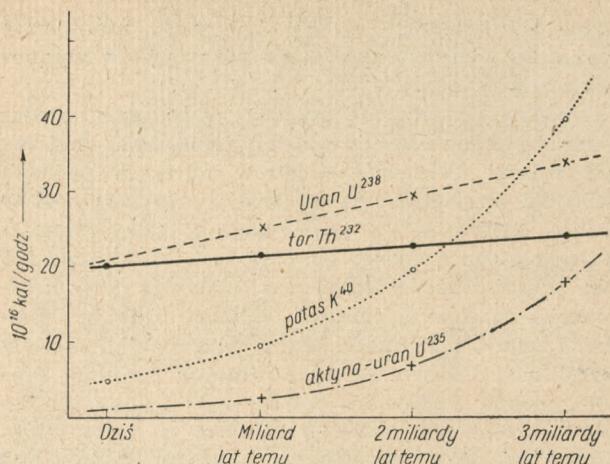
Tabela I

Tabela II

Częstość przeciętna izotopów promieniotwórczych w skorupie ziemskiej w gramach na tonę		Czas połowicznego rozpadu różnych izotopów promieniotwórczych w milionach lat	
1. Rb <sup>87</sup>	87,7	1. U <sup>235</sup>	880
2. Th <sup>232</sup>	11,5	2. K <sup>40</sup>	1.330
3. U <sup>238</sup>	3,972	3. U <sup>238</sup>	4.500
4. K <sup>40</sup>	3,108	4. Th <sup>232</sup>	13.840
5. Sm <sup>152</sup>	1,682	5. Cp <sup>176</sup>	24.000
6. U <sup>235</sup>	0,028	6. Rb <sup>87</sup>	63.000
7. Cp <sup>176</sup>	0,019	7. Sm <sup>152</sup>	2.200.000
8. Re <sup>187</sup>	0 0006	8. Re <sup>187</sup>	4.000.000

Jak widać z tab. I, najpospolitszym w skorupie ziemskiej izotopem promieniotwórczym jest rubid Rb<sup>87</sup>, drugim z kolei tor, trzecim uran<sup>238</sup>, czwartym potas, szóstym dopiero aktywno-uran (U<sup>235</sup>). Nie wynika stąd jednak bynajmniej, że rubid jest najważniejszym w przyrodzie producentem energii radiogenicznej; przeciwnie, zajmuje on pod tym względem całkiem podrzędne miejsce, gdyż, jak widać z tabeli II, jego czas połowicznego rozpadu jest bardzo długi, czyli tempo





Ryc. 4. Ciepło radiogeniczne w przeszłości geologicznej wg Wojtkiewicza

rozpadu bardzo powolne. O wiele ważniejszym od rubidu pod tym względem musi być potas  $K^{40}$ , gdyż pomimo że jest go dwadzieścia kilka razy mniej, jednak rozpada się ok. pięćdziesiąt razy szybciej, jak to widać z tabeli II. Poza tym rodzaj rozpadu jądra atomowego, tj. energia wywiązywana przy rozpadzie każdego jądra atomowego izotopu promieniotwórczego, różna dla każdego izotopu, ma tu jeszcze głos decydujący. Energia wywiązywana przez izotopy wysyłające promienie  $\alpha$  i  $\beta$  (jak tor i uran) musi być znacznie większa niż ener-

Można to zrobić dla teraźniejszości, ale można to również uczynić dla przeszłości geologicznej ziemi i zdobyć w ten sposób pogląd na całkowitą produkcję energii radiogenicznej ziemi od chwili jej powstania z górą 3 miliardy lat temu aż do chwili obecnej. Oczywiście wszystkie pierwiastki promieniotwórcze musiały być w chwili powstania ziemi liczniejsze niż dzisiaj, gdyż z upływem czasu stopniowo się wyczerpywały na skutek rozpadu promieniotwórczego. Zrozumiałe, że różne izotopy wyczerpywały się z różną prędkością, gdyż różnym jest ich czas połowicznego rozpadu. Silniej musiała zmaleć ilość izotopów o krótszym czasie połowicznego rozpadu, słabiej tych o czasie dłuższym. Udział więc procentowy poszczególnych izotopów w produkcji energii radiogenicznej ziemi musiał się z czasem zmieniać. Ilustruje to tabela III i ryc. 4\*.

Widać z nich, że w dzisiejszej produkcji ciepła radiogenicznego skorupy ziemskiej największą rolę odgrywają dwa izotopy dłużej trwałe, tj. Th i  $U^{238}$ , udział potasu wynosi tylko 10%, a aktyno-uranu niecałe 2%. Im dalej jednak w przeszłość geologiczną, tym większy był udział pierwiastków krótkotrwałych, tj. potasu i aktyno-uranu, a w zaraniu historii skorupy ziemskiej, tj. ok. 3 miliardy lat temu, potas musiał być najważniejszym w produkcji ciepła pierwiastkiem promieniotwórczym. Widać tam również, że z upływem czasu ogólna produkcja ciepła radiogenicznego ziemi stale się zmniejszała. W ciągu 3 miliardów lat zmalała ona dziś do ok. 40% (z  $115,05 \times 10^{16}$  kal/godz. do  $47,12 \times 10^{16}$  kal/godz.).

Tablica III

Ciepło radiogeniczne ziemi w przeszłości geologicznej

pierwiastki promieniotwórcze	obecnie		1 miliard lat temu		2 miliardy lat temu		3 miliardy lat temu	
	$10^{16}$ kal/godz.	%	$10^{16}$ kal/godz.	%	$10^{16}$ kal/godz.	%	$10^{16}$ kal/godz.	%
Uran	21,26	45,1	25,02	42,8	29,42	37,8	34,06	29,6
Aktyno-uran	0,89	1,9	2,37	4,1	6,33	8,1	17,34	15,0
Tor	20,27	43,0	21,49	36,8	22,78	29,2	24,12	21,0
Potas	4,70	10,0	9,56	16,3	19,46	24,9	39,53	34,4
łącznie	47,12	100,0	58,44	100,0	77,99	100,0	115,05	100,0

gia dostarczana przez izotopy wysyłające tylko promieniowanie  $\beta$ . Ponadto energia rozpadowa jąder atomowych dwu różnych izotopów wysyłających jednakowy rodzaj promieniowania (np. tor i uran<sup>238</sup>) nie jest bynajmniej jednakowa.

Nie podobna tu wchodzić w szczegóły. Wystarczy stwierdzić na podstawie powyższych rozważań i tabel, że istotne znaczenie w produkcji energii radiogenicznej przez skorupę ziemską mogą mieć tylko izotopy o niezbyt powolnym tempie rozpadu, tzn. wg tabeli II  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$  i  $U^{235}$ . Energia ta w skorupie ziemskiej musi ostatecznie przechodzić w ciepło radiogeniczne, a ilości tego ciepła produkowane przez pierwiastki promieniotwórcze dają się w przybliżeniu wyliczyć na podstawie danych eksperymentalnych.

Wyniki tych rozważań są interesujące nie tylko ze względu na ilustrację cyfrową promieniotwórczości ziemi, lecz mają także podstawowe znaczenie ogólnoprzyrodnicze. Okazuje się bowiem z nich, że ilość ciepła ustawicznie produkowanego przez ziemię wskutek rozpadu zawartych w niej pierwiastków promieniotwórczych jest bardzo duża i co najmniej wyrównuje straty skutkiem wypromieniowania ciepła na zewnątrz w przestrzeń międzyplanetarną. Znaczy to dalej, że

\* Sporządzone na podstawie danych G. M. Wojtkiewicza (Dokłady Akad. Nauk SSSR t. 74, 1950, 4). Ponieważ dane użyte przez tego autora nie były dokładnie takie same jak w tab. II, przeto nie można oczekiwać zupełnej zgodności wyników. Różnice jednak nie mogą być wielkie i nie mogą zasadniczo wpłynąć na ogólny obraz.



ziemia wcale nie ochładza się stopniowo, jak dawniej powszechnie przyjmowano w nauce, gdyż sama jest bezustannie producentem własnego ciepła wewnętrznego.

Sprawa wewnętrznego ciepła ziemi jest sprawą zasadniczą dla geofizyki i geologii. Ciepło to stanowi przyczynę wzrostu temperatury w głębi skorupy ziemskiej, co stale obserwujemy w otworach wiertniczych, kopalniach i dużych tunelach. Ciepłem tym tłumaczymy wybuchy wulkanów i wyrzucanie przez nie gorącej stopionej lawy. Z ciepłem tym wiążemy ruchy skorupy ziemskiej i wypiętrzanie się gór, zjawiska decydujące o powierzchniowym ukształtowaniu ziemi, o układzie lądów i mórz. Dawniej uważało się to wewnętrzne ciepło ziemi za zapas odziedziczony z pierwotnie ognistopłynnej gorącej masy wyodrębnionej z systemu słonecznego, zapas, który się zmniejsza ustawicznie skutkiem wypromieniowania w zimną przestrzeń otaczającą. Skorupa ziemska była zewnętrzną zastygłą powłoką zamykającą gorące wnętrze i wobec tego nikt nie miał wątpliwości, że im bliżej środka ziemi, tym wyż-

sze powinny panować temperatury. Wobec obecnych danych o promieniotwórczości ziemi poglądy te musiały ulec rewizji.

Nie ma potrzeby przyjmować istnienia jakiegos pierwotnego zapasu ciepła, skoro ziemia ustawicznie produkuje je sama w ilości wystarczającej. Jeśli ciepło własne ziemi jest pochodzenia promieniotwórczego, to głównym miejscem jego produkcji nie może być jądro kuli ziemskiej, lecz przeciwnie, zewnętrzna cienka kilkudziesięciokilometrowa skorupa. W niej bowiem przede wszystkim nagromadzone są wszelkie pierwiastki promieniotwórcze odpowiedzialne za produkcję ciepła. Głębsze strefy kuli ziemskiej jako ubogie w pierwiastki promieniotwórcze nie odgrywają istotnej roli w produkcji ciepła i nie powinny też być gorętsze od zamykającej je skorupy. Oto najważniejsze ogólne wnioski wynikające ze studium promieniotwórczości ziemskiej, które w sposób zupełnie zasadniczy przekształcają nasze poglądy na naturę i właściwości tego ciała kosmicznego, na którym wypadło nam zamieszkać.

## O WIEKU ZIEMI

ANTONI POLAŃSKI

Ziemia, na której żyjemy, jest stałym przedmiotem naszych zainteresowań. Potrafiliśmy ją zważyć, zmierzyć jej objętość i powierzchnię, staramy się poznać również jej budowę. O ile wiadomości nasze na temat składu jej głębszych stref mieszczą się dotychczas w sferze domysłów i hipotez, to stosunkowo dobrze znamy budowę jej zewnętrznej partii, tj. skorupy ziemskiej, będącej przedmiotem badań geologii. Wiemy, że obecne wykształcenie tej skorupy jest następstwem wielu procesów geologicznych, rozgrywających się od zarania jej istnienia aż po dzień dzisiejszy. Procesy te doprowadziły do powstania różnorodnych gatunków minerałów, tych najelementarniejszych składników skorupy ziemskiej oraz do utworzenia większych ugrupowań minerałów zwanych skałami. Każdy przeto minerał i każda skała ma datę swych narodzin w skorupie ziemskiej. Ponieważ jednym z głównych zadań geologii jest poznanie historii skorupy ziemskiej, przeto znajomość dat tego rodzaju jest dla geologii bardzo istotna. Jest to bowiem konieczne dla ustalenia bezwzględnej chronologii wydarzeń w skorupie ziemskiej. Na podstawie obserwacji szeregu faktów geologicznych, głównie obserwacji wzajemnego ułożenia różnych skał osadowych, występowania w tych skałach pewnych skamieniałości udało się wprawdzie geologii ustalić kolejność poważnej części wydarzeń, które odbyły się w przeszłości, a więc ułożyć niejako w prawidłowej kolejności czasowej karty historii Ziemi. Można było nawet podzielić tę historię na pewne większe przedziały zwane erami, a te z kolei na okresy i epoki. Cała ta chronologia ustalona przez geologię miała jednakże tylko względny charakter. Mówiła ona bowiem co zaszło wcześniej, a co później, lecz nie była w stanie określić jak dawno odbył się dany proces, np. powstanie pewnej formacji skał. Względność tej chronologii

ma swe źródło w tym, że nie można określić czasu trwania zaobserwowanych i ustalonych w swej kolejności procesów geologicznych (np. czasu procesów tworzenia się gór lub powstawania pewnych formacji skał osadowych).

W skorupie ziemskiej zachodzą jednakże procesy, o stałej i znanej nam szybkości. Są to procesy rozpadu pierwiastków promieniotwórczych.

One to posłużyć mogą do ustalenia bezwzględnej skali czasu dla wydarzeń, które miały miejsce w geologicznej historii skorupy ziemskiej. Zegarami, które służą do zmierzenia czasu, jaki upłynął od chwili zajścia pewnych wydarzeń geologicznych aż do chwili obecnej są powstałe wówczas minerały, zawierające pierwiastki promieniotwórcze.

Od samego początku istnienia takiego minerału rozpoczął się bowiem proces rozpadu zawartych w nim pierwiastków promieniotwórczych. Ilość tych pierwiastków ustawicznie przeto malała, a razem w minerele tym nagromadzały się coraz to większe ilości produktów ich rozpadu. Stosunek ilości tych produktów do nierozłożonych jeszcze ilości pierwiastków promieniotwórczych zależy od czasu trwania procesu rozpadu, a więc od czasu istnienia minerału, czyli od jego wieku. Wobec tego stosunek ten może służyć do wyznaczenia wieku tego minerału, a pośrednio do określenia wieku skały, w której ten minerał się znajduje.

Oczywiście przy obliczaniu wieku minerałów, ze stosunku zawartych w nich ciał promieniotwórczych do ich produktów rozpadu zakładamy, że szybkość procesu rozpadu nie zmieniała się na przestrzeni historii Ziemi. Czy wolno jednak przyjąć takie założenie? Do jego przyjęcia uprawnia nas zjawisko pól pleochroicz-

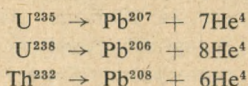
<sup>1</sup> Zobacz artykuł K. Smulikowskiego: *Promieniotwórczość Ziemi*.



nych<sup>1</sup>. Szerokość tego pola zależy od energii cząstek  $\alpha$ , wysyłanych przez wrostek mineralny, a energia ta zależy od szybkości przemiany promieniotwórczej. Porównanie rozmiarów pól pleochroicznych wytworzonych w minerałach powstałych wiele milionów lat temu z wytworzonymi przez nas sztucznie polami pleochroicznymi prowadzi do wniosku, że energie poszczególnych rozpadów promieniotwórczych (a więc i ich szybkość) nie uległy zmianie.

W zależności od tego, jaką przemianę promieniotwórczą bierzemy za podstawę, wyróżniamy kilka metod wyznaczenia wieku bezwzględnego.

Jedną ich grupę stanowią metody oparte na rozkładzie promieniotwórczym uranu i toru. W grę wchodzi tu przemiany promieniotwórcze dwu izotopów uranu: 235 i 238 oraz izotopu toru 232 według schematu:



Końcowymi produktami rozpadu uranu i toru są zatem różne izotopy ołowiu oraz hel. W zależności od tego, który z tych produktów końcowych bierzemy za podstawę obliczenia wieku, wyróżniamy metody: 1) ołowiową i 2) helową.

1. **Metoda ołowiowa.** W metodzie tej oznaczamy ilość uranu, toru i ołowiu znajdujące się w badanym mineralu i ze stosunku ilości ołowiu do uranu i toru obliczamy wiek mineralu. Wiek obliczamy ze wzoru:

$$\text{wiek} = \frac{\text{Pb}}{\text{U} + 0,36 \text{ Th}} \times 7600 \text{ milionów lat, gdzie Pb,}$$

U i Th oznaczają ilości gramów ołowiu, uranu i toru. Wzór ten jest wzorem przybliżonym, nie pozwalającym na całkowicie dokładne obliczenie wieku, zwłaszcza starszych minerałów. Ściśle biorąc, dla dokładnego wyznaczenia wieku należy nie tylko określić ogólną ilość ołowiu w mineralu, lecz zarazem proporcje poszczególnych izotopów tego pierwiastka to jest  $\text{Pb}^{204}$ ,  $\text{Pb}^{206}$ ,  $\text{Pb}^{207}$  i  $\text{Pb}^{208}$ . Za podstawę do obliczenia wieku służyć będą wtedy stosunki:

$$\frac{\text{Pb}^{206}}{\text{U}^{238}} \cdot \frac{\text{Pb}^{207}}{\text{U}^{235}} \cdot \frac{\text{Pb}^{208}}{\text{U}^{232}}$$

Izotopu  $\text{Pb}^{204}$  normalnie biorąc nie powinno być wcale w badanym mineralu, gdyż izotop ten nie jest pochodzenia promieniotwórczego. Jeżeli jednak stwierdzimy w tym mineralu jego obecność, będzie to wskazywać na to, że już po powstaniu mineralu doprowadzona została do niego pewna ilość ołowiu z zewnątrz. Nie pochodzi ona oczywiście z rozpadu promieniotwórczego, musi być przeto odjęta od ogólnej oznaczonej ilości ołowiu przed przystąpieniem do obliczenia wieku. Widzimy przeto, że wyznaczenie stosunków izotopowych w ołowiu pozwala nie tylko na poprawne obliczenie wieku mineralu, lecz również chroni przed możliwością błędu obliczenia za wysokiego wieku mineralu, na skutek domieszki ołowiu obcego pochodzenia.

Może się jednak zdarzyć również i odwrotny przypadek, gdy pewna ilość ołowiu pochodzenia promieniotwórczego zostanie następnie z mineralu wylugowana, np. przez wody krążące w skale. Oczywiście wiek takiego mineralu wypadnie za nisko, a ponieważ

w przeciwieństwie do przypadku poprzedniego nie jesteśmy w stanie określić ile ołowiu z mineralu ubyło, nie możemy wprowadzić odpowiedniej poprawki. Niebezpieczeństwo ubytku jest tym większe im starszy jest minerał. Obok oczywistej zupełnie przyczyny, jaką jest długa egzystencja takiego mineralu w skorupie ziemskiej (a więc większa możliwość wylugowania z niego części ołowiu przez wody krążące w skorupie ziemskiej), dołącza się i to, że na skutek długiego trwania procesu rozpadu uranu i toru nagromadzają się w takim mineralu poważne ilości ołowiu. Powoduje to niekiedy naruszenie wewnętrznej jednorodności tego mineralu i ułatwia tym samym procesy ługowania ołowiu.

Z powyższych wywodów wynika, że metoda ołowiowa obarczona jest możliwościami rozmaitych błędów, stąd też stosować ją musimy z pewnymi ostrożnościami. Do oznaczeń wieku nie nadają się minerały, w których dostrzegamy ślady wtórnych przeobrażeń, z takich bowiem minerałów część ołowiu mogła ulec wylugowaniu.

Należy wspomnieć, że tylko w części oznaczeń wieku minerałów metodą ołowiową uwzględniono stosunki ilościowe pomiędzy izotopami ołowiu. Poważna część, zwłaszcza początkowych oznaczeń wieku opiera się na mniej dokładnym sposobie wyliczenia, uwzględniającym tylko stosunek ogólny ilości ołowiu w mineralu do ilości uranu i toru.

Metoda ołowiowa stosowana jest głównie do oznaczania wieku minerałów uranu i toru występujących w pegmatytach<sup>1</sup> jak: blenda smolista, monacyt i inne. Z wszystkich metod jest ona najważniejsza i najbardziej podstawowa. Bowiem bezwzględna chronologia geologiczna opiera się przede wszystkim na oznaczeniach wieku przeprowadzonych tą metodą.

2. **Metoda helowa.** Różni się ona od poprzedniej tym, że zamiast ołowiu oznaczamy w niej ilość helu nagromadzonego w mineralu, w następstwie rozpadu uranu i toru. Stosunek tej ilości helu do nierozłożonej ilości pierwiastków promieniotwórczych wyznacza wiek mineralu. Stosujemy przy tym wzór następujący:

$$\text{wiek} = \frac{\text{He}}{\text{U} + 0,27 \text{ Th}} \cdot 8,8 \text{ milionów lat, gdzie He ozna-}$$

cza ilość helu w  $\text{cm}^3$ , a U i Th ilość uranu względnie toru w gramach. Metoda helowa ma znacznie węższe zastosowanie niż metoda ołowiowa, gdyż obarczona jest znacznie większymi możliwościami błędów. W stosunku do oznaczeń metodą ołowiową metoda helowa daje z reguły wyniki zaniżone. Jest to spowodowane własnościami fizycznymi helu. Hel jest bowiem po wodrze najlżejszym gazem, przeto ma dużą skłonność do ucieczki z mineralu lub skały, w których się nagromadza. Nieliczne więc skały i minerały, dostatecznie zbite i nieporowate potrafią w sobie hel w całości zatrzymać. Nie mogą one przy tym mieć zbyt wysokiego wieku geologicznego, gdyż inaczej nagromadziłyby się w nich zbyt dużo helu, by mógł on w całości w nich pozostać. Metoda helowa nadaje się przeto do młodych law, takich jak bazalty oraz do złóż drobnziarnistego i zbitego magnetytu, który wykazuje dużą zdolność zatrzy-

<sup>1</sup> Zobacz artykuł K. Smulikowskiego: *Promieniotwórczość Ziemi*.



mywania helu. Największe zastosowanie znalazła metoda helowa w oznaczaniu wieku meteorytów żelaznych, które najlepiej ze wszystkich minerałów zatrzymują hel.

Oprócz metod wieku bezwzględnego opartych na rozpadzie uranu i toru, stosowane są również metody wychodzące z rozpadu lżejszych pierwiastków promieniotwórczych: rubidu i potasu.

3. **Metoda strontowa.** Jest to młodsza siostra metod ołowiowej i helowej, stosowana od kilkunastu zaledwie lat. Podstawę jej stanowi rozpad izotopu rubidu  $Rb^{87}$  na izotop strontu  $Sr^{87}$ . Wiek oblicza się ze

$$\text{wzoru: } \text{wiek} = \frac{Sr^{87}}{Rb^{87}} \cdot 86\,600 \text{ milionów lat, gdzie } Sr^{87}$$

i  $Rb^{87}$  oznaczają procentową zawartość izotopów 87 strontu i rubidu w oznaczanym mineralu. Metoda ta nadaje się szczególnie do oznaczania wieku bardzo starych w sensie geologicznym minerałów. Mniej przydatna jest ona natomiast dla oznaczania wieku minerałów młodszych niż 1 miliard lat. Proces rozpadu promieniotwórczego rubidu przebiega bowiem znacznie wolniej niż u uranu, wobec czego trzeba dłuższego okresu czasu dla wytworzenia takich ilości strontu, by można było je oznaczyć metodami analizy chemicznej. Należy przy tym pamiętać, że oznaczeniom metodą strontową poddawane są nie własne minerały rubidu lecz przede wszystkim minerały potasu jak skalenie, a zwłaszcza miki (głównie mika litowa, lepidolit), które zawierają rubidu od kilku procent do dziesiątych procentu. Możliwość zastosowania metody strontowej do wspomnianych wyżej minerałów, które należą do minerałów pospolitych, stanowi cenną jej zaletę.

W zasadzie metoda ta wymaga zastosowania spektrografu mas dla oznaczenia ilości izotopu  $Sr^{87}$  w ogólnej ilości strontu badanego minerału. W praktyce jednak, przy bardzo małych ilościach strontu w oznaczanym mineralu, często zaniedbuje się powyższej manipulacji i przyjmuje się, że cała ilość strontu (z uwagi na znikome jego ilości) jest pochodzenia promieniotwórczego.

4. **Metoda argonowa.** W ostatnich latach pojawiła się nowa metoda, oparta na przemianie promieniotwórczego izotopu potasu  $K^{40}$  w izotop argonu  $A^{40}$ . Metoda ta jest jeszcze w trakcie opracowywania, tak że trudno osądzić w chwili obecnej jej przydatność. Metodzie tej poświęcono szereg prac w Związku Radzieckim i tak K. Gerling próbował oznaczyć przy pomocy tej metody wiek niektórych pospolitych minerałów potasu, głównie skalenia i otrzymał wyniki zgodne z wynikami uzyskanymi metodą ołowiową względnie helową. Ten sam razem ze współpracownikami zastosował ją do oznaczania wieku meteorytów kamiennych oraz pewnej osobliwej grupy meteorytów tzw. tektytów. Z uwagi na to, że metoda ta dotyczy może wielu pospolitych w skorupie ziemskiej minerałów potasu, jest ona obiecująca. Z drugiej strony metoda ta będzie zapewne ograniczona, w pewnym przynajmniej stopniu tymi samymi zastrzeżeniami co metoda helowa (możliwość dyfuzji argonu z minerałów potasowych). Nadto musimy pamiętać o tym, że w chwili obecnej stałe rozpadu potasu nie są nam znane z dostateczną dokładnością.

5. **Metoda radiowęglą.** Opisane powyżej me-

tody pozwalają nam określić wiek minerałów liczących co najmniej kilkadziesiąt milionów lat, a tym samym stwarzają możliwość ustalenia chronologii wydarzeń geologicznych, które odbyły się przed tym okresem. Natomiast stają się one zupełnie nieprzydatne do określania najświeższych wydarzeń geologicznych, gdyż ilość produktów przemiany promieniotwórczej w mineralu powstałym kilkadziesiąt lub nawet kilkaset tysięcy lat temu będzie tak znikoma, że nie potrafimy jej dokładnie oznaczyć.

Można natomiast wykorzystać dla tych celów zjawisko promieniotwórczości izotopu węgla  $C^{14}$  tzw. radiowęglą. Wobec tego, że z jednej strony wytwarza się on ustawicznie z azotu w górnych partiach atmosfery, z drugiej strony ulega stale rozpadowi promieniotwórczemu — wytwarza się stan równowagi pomiędzy jego ustawicznym naradzaniem się i obumieraniem — tak, że ogólna jego ilość w atmosferze jest stała. Wobec tego stałym jest też jego stosunek do niepromieniotwórczych izotopów węgla (tj. do  $C^{12}$ ,  $C^{13}$ ). W tym też stosunku pobierają go rośliny asymilując  $CO_2$  z powietrza i w tymże stosunku przekazują go zwierzętom. Ponieważ przez cały czas swego życia rośliny ustawicznie wymieniają węgiel z atmosferą (przez procesy asymilacji  $CO_2$  oraz wydalanie go przy oddychaniu), przeto w tym okresie stosunek radiowęglą do pozostałych izotopów węgla jest w roślinach stały, równy stosunkowi w atmosferze. Po śmierci roślin ustaje wymiana węgla z atmosferą. Szczątki roślinne ubożają przeto w radiowęgiel, ulegający w nich nieustannemu rozpadowi — podczas gdy ilość niepromieniotwórczych izotopów węgla nie zmienia się. Procentowa zawartość radiowęglą w węglu szczątków roślinnych zmniejsza się przeto z biegiem czasu, a spadek jej służyć może jako miara czasu, który upłynął od chwili śmierci roślin. Spadek ten mierzymy zmniejszaniem się promieniotwórczości węgla szczątków organicznych.

Metoda radiowęglą znalazła zastosowanie w datowaniu wydarzeń prehistorycznych oraz z najmłodszych okresów geologicznych. Tak np. metodą tą oznaczono, że wiek drewna cedru z łodzi pogrzebowej jednego z faraonów wynosi 3700 lat. Podobnie zbadano wiek zwęglonego drzewa, znajdującego się w produktach eksplozji wulkanu w stanie Oregon w Stanach Zjednoczonych. Stwierdzono, że szczątki te mają 6,5 tysiąca lat i w ten sposób ustalono wiek tej eksplozji.

Metody określania wieku bezwzględnego minerałów i skał pozwalają na korelację ustalonej uprzednio przez geologię chronologicznej tablicy przeszłości Ziemi z bezwzględną skalą czasu. Ilustruje to poniższa tabelka.

Z tabelki tej widoczne jest, że poszczególne ery i okresy geologiczne różnią się swą wielkością. Najdłuższą trwała era archaiczna, sięgająca swym początkiem aż do utworzenia się skorupy ziemskiej. Jak dawno to nastąpiło? Wiek najstarszych minerałów, wyznaczony metodami — ołowiową i strontową waha się w granicach od 2,2—2,6 miliarda lat. Skorupa ziemska jest przeto niewątpliwie starsza. Nie mamy jednak możliwości ścisłego obliczenia wieku tej skorupy i musimy uciekać się do rozmaitych pośrednich rozważań.

Szereg uczonych podjęło próby ustalenia wieku skorupy ziemskiej, a nawet wieku Ziemi w oparciu o bardzo interesujące wyniki badań przeprowadzonych przez



Era	Okres	Odległość od terażniejszości w milionach lat	Trwanie w milionach lat
kenozoiczna	czwartorzęd trzeciorzęd	0 — 1	1
		1 — 65	64
mezozoiczna	kreda	65 — 135	70
	jura	135 — 160	25
	trias	160 — 190	30
paleozoiczna	perm	190 — 210	20
	karbon	210 — 265	55
	dewon	265 — 315	50
	sylur	315 — 350	35
	ordowik	350 — 430	80
	kambr	430 — 510	80
proterozoiczna (algoncka)		510 — 1250	740
archaiczna		1250 ? (co najmniej 2800)	powyżej 1500

Niera i jego współpracowników nad składem izotopowym ołowiu w jego minerałach (głównie galenitach) o różnym wieku. Okazało się, że im młodszy jest minerał ołowiu, tym więcej zawiera na ogół izotopów pochodzenia promieniotwórczego, tj.  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$  i  $Pb^{208}$  w stosunku do izotopu  $Pb^{204}$ , który nie pochodzi z żadnego rozpadu promieniotwórczego. Widać to wyraźnie z następującego zestawienia:

Wiek geologiczny minerałów ołowiu	Stosunki izotopów ołowiu			
	$Pb^{204}$	$Pb^{206}$	$Pb^{207}$	$Pb^{208}$
wcześniejsze od kambru	1	15,8	15,2	35,3
paleozoiczne	1	18,0	15,5	37,8
młodsze od paleozoicznych	1	19,3	15,7	38,9

Spostrzeżenie powyższe najprościej wytłumaczyć można w sposób następujący: Skorupa ziemiska w chwili swego powstania zawierała pewną ilość izotopów: uranu  $U^{238}$  i  $U^{235}$ , toru  $Th^{232}$  oraz ołowiu  $Pb^{204}$ ,  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$  i  $Pb^{208}$ . Rozpad izotopów uranu oraz toru od chwili utworzenia się skorupy ziemskiej aż po chwilę obecną

powodował ustawiczne zwiększanie się w tej skorupie ilości izotopów ołowiu: 206, 207 i 208, podczas gdy ilość izotopu ołowiu 204 nie zwiększała się. Ponadto przyrost ilości poszczególnych izotopów ołowiu:  $Pb^{207}$ ,  $Pb^{206}$  i  $Pb^{208}$  odbywał się z różną szybkością, gdyż zależny był od początkowych ilości  $U^{235}$ ,  $U^{238}$  i  $Th^{232}$  oraz od stałych rozpadu tych pierwiastków, a wielkości te były w każdym z trzech przypadków różne. Dlatego też stosunek ilości izotopów ołowiu:  $Pb^{204} : Pb^{206} : Pb^{207} : Pb^{208}$  musiał się zmieniać w ciągu geologicznego czasu istnienia skorupy ziemskiej. Odzwierciedleniem tych zmian w składzie izotopowym ołowiu są odmienne stosunki izotopów ołowiu w minerałach tego pierwiastka powstałych w różnych okresach geologicznych. Nasuwa się pytanie, czy znając stosunki izotopowe kilku minerałów ołowiu wiadomego wieku geologicznego nie można by spróbować obliczyć jak długo trwa już ten proces przyrostu ilości izotopów ołowiu pochodzenia radiogenicznego.

Próby takiego wyliczenia podjęli liczni uczeni, stosując przy tym różne sposoby rachunkowe. Jednym z pierwszych był uczony radziecki K. Gerling, oryginalny sposób rozwiązania tego problemu dał geolog

#### Wiek Ziemi wg danych różnych autorów

Autor	Rok	Rodzaj wyliczenia	Wartość w miliardach lat
E. Starrik	1936	wiek skorupy ziemskiej	3 — 4
K. Gerling	1942	wiek Ziemi	3,23
A. Holmes	1946	wiek skorupy ziemskiej	3,35
H. Jeffreys	1948/49	wiek skorupy ziemskiej	4,0
E. C. Bullard i J. P. Stanley	1949	wiek skorupy ziemskiej	3,3
R. A. Alpher i R. C. Herman	1951	maksymalny wiek Ziemi	5,3
A. P. Winogradow	1952	wiek skorupy ziemskiej	5,0



angielski A. Holmes. Ostatnio nowe obliczenia w oparciu o szereg nowych oznaczeń stosunków izotopów ołowiu w jego minerałach przeprowadzonych w Instytucie im. Wernadskiego, podał A. P. Winogradow. Należy przy tym zaznaczyć, że różni autorzy różnie pojmowali wyliczony przez siebie czas. Jedni uważali, że jest to wiek skorupy ziemskiej, inni przy-

mowali, że odpowiada on wiekowi całej Ziemi. Niektóre z tych obliczeń podaje poniższa tabela.

Mimo pewnych rozbieżności w obliczeniach poszczególnych autorów, tabelka powyższa daje dość dobrą orientację co do granicy wieku Ziemi, który zapewne nie przekracza 5 miliardów lat, a nie jest wykluczone, że jest nawet krótszy.

## ZNACZENIE PRAC MARII SKŁODOWSKIEJ-CURIE DLA MEDYCYNY

EMIL WYROBEK (Kraków)

W starej dzielnicy Paryża, zwanej popularnie Quartier Latin, opodal wspaniałego gmachu Panteonu i niedaleko pięknego Ogrodu Luksemburskiego, ciche i spokojne ulice D'Ulm i Piotra Curie ograniczają kompleks kilkupiętrowych budynków oraz mniejszych piętrowych pawilonów, otoczonych klombami krzewów i kwiatów wśród aleji zacienionych drzewami. Budynki powyższe to pomieszczenia pracowni naukowych, słynnego dziś na całym świecie Instytutu Radowego Uniwersytetu Paryskiego.

Z instytutem tym związane jest nierozdzielnie imię naszej wielkiej rodaczki Marii Skłodowskiej-Curie, która gorąco pragnęła, wiekopomny owoc swej pracy widzieć oddany rozwojowi nauki lekarskiej. Dziś po 36 latach działalności, instytut ten jest ośrodkiem badań naukowych Francji w dziedzinie promieniotwórczości i fizyki jądrowej, a w dziedzinie lekarskiej jest światowym ośrodkiem prac naukowych o powstawaniu, rozpoznaniu i leczeniu raka.

Ten wspaniały rozwój instytutu, nie słabnący w nasileniu od pierwszych chwil jego istnienia, tj. od roku 1919, poprzedzony był długim okresem żmudnej i heroicznej pracy małżonków Curie, a po tragicznej śmierci Piotra Curie, od roku 1906 samej Marii Curie. Patrząc dziś na liczne, znakomicie urządzone pracownie tego instytutu, na zastępy uczonych zdążających tu z całego świata dla pogłębienia swej wiedzy, na organizację tego instytutu, ułatwiającą badania naukowe — jakże bohaterską i pełną poświęcenia wydaje się praca, którą przez cztery lata prowadzili małżonkowie Curie w prymitywnej szopie przy ulicy Lhomond. W nieopalanym pomieszczeniu, gdzie zimno, wiatr i kurz utrudniały pomiary fizyczne, o chłodzie i jakże często o głodzie pracowali oni wytrwale, zarobione z trudem skromne pensje nauczycieli fizyki wydawali na zakup koniecznych urządzeń i przyrządów fizycznych do swego laboratorium. Miłość nauki wynagradzała im olbrzymie wysiłki, jakie, nie wspomagani przez nikogo, ponosili w tej pracy. Lata bez odpoczynku, noce nie przespane, ofiarnie składają na ołtarzu nauce, a gdy ukażą światu swe genialne dzieło, wyodrębnioną chemicznie sól radową, odrzucając wszelkie zyski komercyjne a jedynym ich pragnieniem jest posiadanie skromnego laboratorium, gdzie mogliby przeprowadzać dalsze prace naukowe.

Ówczesna organizacja uniwersytetu paryskiego, szczególnie subwencje rządowe dla nauki, małe zrozumienie władz dla młodych naukowców, sprawiły, że w czasach wielkich odkryć Piotra i Marii Curie, zdani oni byli

na własne siły i fundusze, a posiadanie odpowiedniego laboratorium przez lata całe pozostawało w krainie marzeń. Z wielkim trudem udaje się Piotrowi Curie, po otrzymaniu katedry fizyki w Sorbonie, uzyskać od rządu subwencję na wyremontowanie i skromne wyposażenie dwu pokoi na laboratorium. W tym skromnym pomieszczeniu prowadzi on wspólnie z Marią Curie swe prace aż do swej tragicznej śmierci. W tym to małym laboratorium Maria Curie, już jako profesor Sorbony, laureat nagrody Nobla, doktor honoris causa zagranicznych uniwersytetów i członek zwyczajny i honorowy licznych zagranicznych Akademii Nauk pracuje aż do roku 1919 na próżno dopominając się o zwiększenie pomieszczeń laboratorium oraz zwiększenie etatów asystenckich.

Na trudności napotykają oni w rozwinięciu badań naukowych nad leczniczym stosowaniem radu. Prace radiobiologiczne małżonków Curie i ich współpraca z lekarzami natrafiały na trudności transportowe w dostarczaniu tubek radowych do szpitali, na trudności lokalowe dla chorych rakowych, rozrzuconych po różnych szpitalach Paryża. Obserwacja chorych i kontakt lekarzy z odkrywcami radu pochłaniały wiele drogiego czasu. Maria Curie przez lata całe zabiega u władz o subwencje na stworzenie małego laboratorium radiobiologicznego i leczniczego stosowania radu, pozwalającego na naukowe opracowanie zagadnienia. Dopiero, gdy opromieniona sławą drugiej nagrody Nobla i wzrastającym uznaniem zagranicznych uniwersytetów i towarzystw naukowych, Maria znajduje się u szczytu światowej sławy, również i we Francji znajduje odpowiednie poparcie.

Przed wybuchem pierwszej wojny światowej dyrektor Instytutu Pasteura dr Roux wysuwa projekt stworzenia dla Marii Curie laboratorium, proponując jej, aby opuściła Sorbonę i przeszła do Instytutu Pasteura. Wówczas zaniepokojony Uniwersytet Paryski postanowił za wszelką cenę zatrzymać ją. Na mocy porozumienia pomiędzy Instytutem Pasteura a Uniwersytetem Paryskim postanowiono wnieść wspólnym kosztem obu instytucji Instytut Radowy składający się z dwu części: laboratorium fizycznego do badań nad promieniotwórczością pod kierownictwem Marii Curie i laboratorium poświęconego biologii i lecznicemu stosowaniu radu, w którym wybitny uczony i lekarz profesor Cl. Regaud prowadzić będzie prace naukowe w zakresie leczenia raka. Oba te zakłady niezależne od siebie materialnie, lecz najściślej związane ideowo, będą pracowały wspólnie nad rozwojem nauki o radzie.



Maria po latach starań, nareszcie uzyskała to, czego tak bardzo pragnęła. I ona będzie miała odpowiednie dla badań nad promieniotwórczością laboratorium fizyczne i rad, owoc jej genialnych prac, znajdzie zastosowanie w naukowych badaniach nad leczniczym jego stosowaniem. Kataklizm pierwszej wojny światowej przesunął termin tego postanowienia. Niemniej plany budowy Instytutu stopniowo realizowano, a po ukończeniu wojny w roku 1919 Instytut Radowy rozpoczął swe prace w dwu wyżej wspomnianych kierunkach.

Pozostawmy na uboczu laboratorium fizyczne, które obecnie pozostaje pod kierunkiem profesora Joliot-Curie i jego małżonki Ireny Curie, również laureatów nagrody Nobla z roku 1934, za prace nad sztuczną promieniotwórczością, a zagłębimy do pawilónów radiobiologicznych i lekarskich tego Instytutu, do „ludzi z naprzeciwka“, jak zwykła ich określać Maria Curie.

Prace naukowe tego laboratorium rozwinęły się niemal od razu, a to dzięki temu, że kierownik jego Cl. Regaud od czasu odkrycia promieni radu i rentgena, całą swą czynność naukową skierował na poznanie zjawisk zachodzących w napromienianych tkankach, a prowadząc swe prace jako profesor radiofizjologii w Instytucie Pasteura, a chwilą otwarcia Instytutu Radowego w Paryżu, rozporządzał już bardzo poważnymi zdobyczami naukowymi.

Jednym z pierwszych czynników, które zwróciły uwagę na działanie biologiczne promieni radu, był wypadek, jakiemu uległ w roku 1901 Henryk Becquerel, odkrywca promieniotwórczości. Dla przeprowadzenia pewnych doświadczeń fizycznych wypożyczył od Piotra i Marii Curie minimalną ilość soli radowej w małej tubce szklanej. Becquerel owinął tubkę w karton papieru i schował do kieszonki kamizelki. Podczas dwu dni przebywania tubki radowej w kamizelce, Becquerel jak później obliczył, miał ją na sobie 6 godzin. Po dziesięciu dniach Becquerel zauważył, że na skórze klatki piersiowej, w miejscu odpowiadającym położeniu tubki w kamizelce wystąpiła czerwona plama i łuszczenie naskórka, a po 20 dniach owrzodzenie. Poprzez tubkę szklaną i karton otaczającego papieru, poprzez ubranie, promienie radu wywołały reakcję skóry pod postacią głębokiego oparzenia. Oparzenie to wykazywało nadto cechy niecodzienne. Było nie bolesne, wystąpiło nie bezpośrednio po zadziałaniu, lecz dopiero po upływie kilku dni i wykazywało powolną zdolność gojenia, albowiem zmiana pokryła się prawidłowym naskórkiem dopiero po upływie dwu miesięcy.

Spróbujmy wyjaśnić powyższe szczegóły oparzenia wywołane promieniami radu: Oto przekrój skóry w obrazie mikroskopowym z dwiema głównymi warstwami, jedna powierzchowna, z naskórkiem, odgrywającym podwójną rolę, z jednej strony czuciową, ponieważ nerwy tworzą w niej najdelikatniejsze zakończenia, z drugiej strony ochronną, z powodu grubej stosunkowo warstwy komórek rogowych. Druga warstwa głębsza to skóra właściwa, mająca znaczenie odżywcze, z licznymi naczyniami krwionośnymi, rozgałęziającymi się w sploty włosowate, oraz licznymi naczyniami i przestrzeniami limfatycznymi.

Gdy do powierzchni skóry przybliżymy rozżarzony

koniec termokautera, wywołamy zniszczenie tkanki począwszy od samej powierzchni. Będą to najpierw warstwy rogowe naskórka, które paląc się dają charakterystyczny zapach rogu. Następnie zniszczeniu ulegną warstwy głębsze naskórka, którym towarzyszy ból, skutkiem zniszczenia zakończeń nerwowych. Wreszcie zniszczeniu ulegnie skóra właściwa. Jeżeli jednak oparzenie nie zniszczyło poważnie warstwy odżywczej naskórka, jaką jest skóra właściwa, bezpośrednio i nawet całkowite zniszczenie naskórka przez oparzenie odtworzy się całkowicie w ciągu paru dni. W wypadku powyższego oparzenia, dwa czynniki odgrywają rolę w jego powstaniu. Czynnikiem tymi są odległość tkanki od rozżarzonego kautera i stopień jego rozżarzenia, tj. ilość wysyłanych promieni.

W wypadku działania radu trzeci czynnik wchodzi w grę, od którego zależy charakter powstałej zmiany. Czynnikiem tym jest nierównomierna działalność promieni radu na rozmaite elementy, z których składają się narządy ciała. Tłumaczymy to zjawisko mówiąc, że rozżarzony metal działa na narządy ciała kaustycznie, niszcząc od powierzchni zadziałania w głąb wszystkie tkanki jakie napotyka, gdy tymczasem promienie radu działają wybiórczo, jakby miały zdolność wybierania uprzywilejowanych komórek, leżących nieraz głęboko w tkankach, a pomijania nieuprzywilejowanych komórek, leżących powierzchownie lub obok tamtych.

W tym wybiórczym działaniu, promienie radu, przechodząc przez naskórek, nie oddziałują na zakończenia nerwowe, stąd działanie promieni radu jest niebolesne, komórki zaś, z których składają się poszczególne warstwy naskórka, okazują nierównomierną promienioczułość. Jedne z nich obumierają po otrzymaniu takiej dawki promieni, która większość innych komórek naskórka pozostawia żywymi i nie wykazującymi żadnych uszkodzeń. Zachodzi przy tym zjawisko ciekawe a mianowicie komórki, które najpierw ulegają uszkodzeniu, nie są komórkami położonymi na powierzchni naskórka, jak w przypadku oparzenia kauterem, lecz przeciwnie są one jak najgłębiej w naskórku położone, najbardziej oddalone ze wszystkich komórek naskórka od źródła promieni radu. Komórki te zajmują w naskórku warstwę najgłębszą i są warstwą rozrodczą dla pozostałych warstw naskórka. Ustawiczny ich podział zapewnia uzupełnianie komórek naskórka, które w czasie swego życia przechodzą drogę od warstw najgłębszych naskórka na powierzchnię, aby tu zakończyć życie, przemieniając się stopniowo w komórki rogowe, które w postaci drobnych płaskich tworów, złuszcza się i odpadają.

Jeżeli przypomnimy sobie, że czas potrzebny na przejście i przemianę komórki, zrodzonej w jego warstwie najgłębszej, na komórkę złuszczającą się w powierzchownej warstwie nabłonka umieszczoną, w postaci łuski rogowej, wynosi 15 do 20 dni, wynik działania radu na skórę staje się zrozumiałym. Działanie bezpośrednio promieni, uszkadzające najwrażliwszą warstwę naskórka, a mianowicie jego warstwę rozrodczą, oraz powodujące śmierć tych komórek nie od razu się zaznaczy. Najpierw bowiem zaobserwujemy ścięcenie naskórka, z powodu zniszczenia macierzy i braku uzupełniania złuszczonych komórek przez warstwę rozrodczą. A kiedy po upływie 20 dni oszczędzone



przez promienie komórki warstw głębokich dojrzałe i złączają się na powierzchni, pojawi się wtenczas owrzodzenie, odsłaniające skórę właściwą, gdyż warstwa rozrodcza już nie istnieje.

Weźmy inny przykład. Włos, to twór rogowy, rodzący się z głębokiej pochewki nabłonkowej, drażącej skórę. Gdy zadziałamy radem na powierzchnię owłosionej skóry, pierwszym objawem działania promieni, jaki zaznaczy się po upływie 10 do 15 dni będzie wypadanie włosów. Jeżeli dawka działająca radu będzie mniejsza niż w wyżej opisanym przykładzie napromieniania naskórka, to wypadnięcie włosów będzie jedynym tylko objawem działania radu, a odpadnięcie naskórka nawet się nie zaznaczy.

Objaw ten wykazuje nowe działanie wybiórcze promieni. We włosie strefa, gdzie odbywa się mnożenie komórek, powodujące wzrost włosa na długość, jest położona najgłębiej, na poziomie brodawki włosowej tkwiącej głęboko w skórze właściwej. Komórki, które tworzą warstwę rozrodczą włosa okazują się bardziej promienioczułe od komórek warstwy rozrodczej naskórka, ponieważ uszkodzić je można dawką znacznie mniejszą promieni, pomimo że są położone głębiej od warstwy rozrodczej naskórka. Ławo zrozumiemy, że uszkodzenie warstwy rozrodczej włosa stworzy rozluźnienie pomiędzy brodawką włosa, a samym włosem i kiedy włos ukończy swą drogę w pochwie włosowej, wypadnie i odsłoni skórę, ukazującą nie uszkodzony naskórek i nie uszkodzone gruczoły potowe i łojowe, mniej wrażliwe na promienie niż brodawka włosa.

Przytoczymy jeszcze jeden przykład działania wybiórczego promieni radu, a mianowicie działanie promieni na krew. Składniki morfologiczne krwi, ciała czerwone i białe mają swe ogniska rozrodcze w szpiku kostnym, a więc w miejscu położonym stosunkowo głęboko i doskonale ochronionym twardą powłoką kości. Komórki rozrodcze krwi przechodzą cykl rozwojowy w szpiku kostnym, a gdy ukończą swój rozwój, przechodzą do naczyń krwionośnych i są rozprowadzane po całym organizmie. Naświetlanie krwi krążącej, nieznacznie zmienia ilość i procentowy skład białych i czerwonych ciałek krwi. Okazują się one względnie słabo promienioczułe. Przeciwnie, bardzo małe dawki promieni, które przeszły przez skórę, mięśnie, narządy wewnętrzne i ścianę kostną szpiku, nie wywołując w tych narządach najmniejszych nawet zmian, są zdolne zniszczyć komórki rozrodcze szpiku kostnego w zupełności i wywołać następnie wtórną anemię.

Zasadniczy sposób działania promieni na rozmaite tkanki organizmu jest w tych przykładach wyraźnie podkreślony. W rezultacie działanie wybiórcze promieni radu skupia się na komórkach szybko rozmnażających się i największą promienioczułość okazują te narządy, których komórki najszybciej się dzielą.

Działanie niszczące promieni radu na tkanki ustroju zostało stosunkowo szybko wykorzystane do leczenia nowotworów złośliwych. Promieniolecznictwo było zarówno we Francji jak i za granicą szeroko już rozpowszechnione, kiedy w pracowni radiobiologicznej Instytutu Radowego w Paryżu rozwinięto badania naukowe celem sprawdzenia drogą dokładnej obserwacji klinicznej i szczegółowej analizy histologicznej wyników dotychczasowych, osiągniętych w radioterapii no-

wotworów złośliwych. Wkrótce przekonano się, że ówczesna technika napromieniania, rozwinięta szczególnie w Niemczech a oparta na stosowaniu dawek masowych wymierzonych w krótkim czasie, w jednym lub kilku napromienieniach, może mieć skuteczne zastosowanie tylko w małych nowotworach skóry. W nowotworach zaś rozległych i umieszczonych w głębokich narządach ciała nigdy tak wielkich dawek kaustycznych wymierzyć nie można, bez rozległego zniszczenia powłok skórnych i otaczających guz nowotworowy sąsiednich narządów. Gdy więc stosuje się technikę napromieniania dawek masowych, o działaniu kaustycznym to albo dawki są za małe dla zniszczenia nowotworu w głębi ciała położonego, albo są znów tak wielkie, że wywołane przez nie rozległe martwice otaczających narządów sprowadzają śmierć chorego prędzej niżby to uczynił proces nowotworowy, pozostawiony swemu naturalnemu rozwojowi.

Opierając się na wybiórczym działaniu promieni radu, badacze Instytutu Radowego w Paryżu zauważyli, że radioterapia nowotworów złośliwych może dać o wiele lepsze rezultaty, jeżeli kierować się będzie pojęciami biologicznymi. Regaud, badając działanie promieni radu na jądra barana zauważył, że komórki nabłonka kanalików nasiennych tak zwane komórki nasieniotwórcze rozmnażają się nieustannie i przechodząc stopniowo przez szereg stadiów rozwojowych od komórki nieodróżnionej, macierzystej, do dojrzałego plemnika, posiadają nierównomierną wrażliwość na promienie radu. Plemniki są bardzo odporne na promienie, podczas gdy ich pokolenia poprzedzające są tym więcej wrażliwe, im bardziej zbliżają się do warstwy komórek macierzystych, stanowiących dla plemników warstwę rozrodczą. Na szeregu doświadczeń udowodnił Regaud, że nie możemy uzyskać sterylizacji jąder barana przy pomocy wysokich dawek kaustycznych bez uszkodzeń martwiczych otoczenia, natomiast sterylizację tą uzyskamy z łatwością, gdy za pomocą małych dawek codziennych, kierowanych na najbardziej wrażliwe komórki nasieniotwórcze, zniszczymy warstwę rozrodczą plemników, zachowując następne pokolenia spermatozoidów nietknięte i zdrowe. Te ostatnie przejdą jeszcze drogą rozwojową w kierunku normalnych dojrzałych plemników i będą wydalone na zewnątrz i na tym działalność kanalików nasiennych się kończy, albowiem nowe generacje plemników już nie powstaną, gdyż warstwa rozrodcza plemników jako bardzo promienioczuła została całkiem zniszczona tymi małymi dawkami promieni. Jądro po kilku tygodniach nie zawiera ani komórek nasieniotwórczych ani plemników.

Wykorzystując podobieństwo zachodzące pomiędzy spermatogonią w nabłonkach kanalików nasiennych, a zjawiskami histofizjologicznymi tkanek rakowych, gdzie w obu przypadkach obserwujemy warstwę komórek młodych, niezmiernie płodnych, ustawicznie się rozmnażających i stopniowo przechodzących przez pokolenia coraz to więcej zróżnicowane, do form dojrzałych, jak np. plemników w jądrach wydalonych następnie z organizmu i komórek dojrzałych w raku, samoistnie obumierających, Regaud stwierdził, że mechanizm sterylizacji raka za pomocą promieni jest identyczny z mechanizmem sterylizacji jądra. W jed-



nym i drugim przypadku zniszczenie komórek rozrodczych jest jedynym czynnikiem warunkującym pomysłowość wyników.

Na podstawie powyższych doświadczeń i obserwacji wypracowano w Instytucie Radowym w Paryżu metodę naświetlań nowotworów złośliwych polegającą na zastosowaniu wybiórczego działania promieni na najwrażliwsze komórki raka. Małe dawki promieni zastosowane codziennie niszczą pewną ilość komórek macierzystych raka, wywołując po paru tygodniach całkowitą sterylizację nowotworu, bez uszkodzeń otaczających narządów. Metoda powyższa leczniczego stosowania promieni nazwana od autorów, którzy ją szczegółowo opracowali, metodą Regauda i Courtauda jest dzisiaj stosowana na całym świecie z wielkim pożytkiem dla chorych na raka.

Przyjrzyjmy się obecnie na przykładach, jakie zmiany zachodzą w naświetlanych tkankach chorobowych i jaka jest technika stosowania promieni. Oto pierwszy przykład — dobrotliwy guz skóry, brodawka. Z łatwością rozpoznajemy, że bierze początek z komórek naskórka. W miejscu ograniczonym tego naskórka odbywa się w rytmie przyspieszonym dzielenie a co za tym idzie i mnożenie komórek. Obumieranie ich spontaniczne i przeobrażanie na łuski rogowe odbywa się w normalnym rytmie. W następstwie tej dysproporcji pomiędzy mnożeniem, a obumieraniem komórek gromadzi się na powierzchni skóry kolonia komórek nabłonkowych. Komórki te nie wykazują cech agresji w stosunku do innych otaczających tkanek, rosną one na powierzchni w postaci drobnego guzka, wykazują cechy guza dobrotliwego. Wyleczyć taką brodawkę możemy przez rozmaite zabiegi, jak wycięcie chirurgiczne, wypalenie kauterem lub przez zastosowanie radu. W tym ostatnim przypadku promienie radu niszczą warstwę rozrodczą brodawki i wywołują złuszczenie naskórka a z nim złuszczenie i odpadnięcie tworzącego nabłonkowego jakim jest brodawka.

Lecz oto inny guz skóry, w którym zmiany mają charakter inny od zmian w brodawce. I tutaj widzimy nadmierną produkcję komórek naskórka, lecz wykazują one wyraźną niezależność i nieregularny rozwój. Miałoby się wydawać, że guz rozwija się w kierunku zewnętrznym i przeobraża w łuski rogowe, rozwijają się one w różnych kierunkach, w postaci odnóg i języków przebijają się przez warstwę podstawną nabłonka, wciskają się w szczeliny skóry właściwej, naciekają i uciskają sąsiednie elementy tkankowe, przebijają się do światła naczyń krwionośnych i limfatycznych i z ich prądem przenoszone do bliskich i odległych narządów, tam się rozwijają, dają groźne przerzuty. Mamy tutaj do czynienia z komórkami wykazującymi cechy złośliwości, z utkaniem rakowym. Wyleczenie chirurgiczne takiej zmiany jest możliwe tylko w początkach choroby, gdy guz jeszcze jest niewielki. Skoro jednak proces nowotworowy posunął się zbyt daleko na otoczenie, lub wtargnął do sąsiednich narządów, zabieg operacyjny jest niemożliwy z powodu olbrzymich okaleczeń jakie by wywołał, względnie z powodu niemożności usunięcia dotkniętego rakiem ważnego dla życia narządu. Na szczęście zastosowanie promieni zwiększa możliwość wyleczenia, a to dzięki zdolności wybiórczego, niszczącego ich

działania na komórki nowotworowe, przy oszczędzaniu tkanek otaczających narządów.

Proces wyleczenia raka promieniami wykazuje te same mechanizmy, jakie spotykamy w zniszczeniu normalnego naskórka, poddanego działaniu promieni radu. W tkance rakowej, podobnie jak w naskórku, elementami najbardziej wrażliwymi na promienie radu są komórki rozrodcze, o szybkim rozmnażaniu, stanowiące główną masę tkanki rakowej. Toteż one najpierw ulegają zniszczeniu i pierwszym objawem działania radu na tkankę rakową jest zatrzymanie dzielenia się komórek. Po kilku dniach od czasu zadziałania radu, w preparacie mikroskopowym zauważymy brak młodych dzielących się komórek, a równocześnie wystąpi objaw drugi, znany nam już z działania radu na naskórek, a mianowicie pozostałe komórki rakowe, uprzednio młode, przyjmują cechy dojrzałych i po 10 mniej więcej dniach od czasu napromieniania radem, zauważymy, że większość komórek nowotworowych uległa przeobrażeniu na komórki rogowe, a zatem na elementy nabłonkowe martwe. Te elementy rogowe nie mogą ulec takiemu złuszczeniu jak w normalnym naskórku, lecz pozostają na miejscu i ulegają powolnej resorpcji. Po miesiącu znajdziemy w miejscu dawnych gniazd nowotworowych, małe nieliczne, rozsiane wysypki rogowe, będące pozostałością raka, wyleczonego przez wybiórcze zniszczenie radem najmłodszych rozrodczych jego elementów oraz przez resorpcję przeobrażonych w łuski rogowe pozostałych dojrzałych, nie dzielących się komórek rakowych.

Wyleczenie procesu nowotworowego przez promienie nie przedstawia się zawsze tak prosto, jak powyżej przedstawiliśmy. Już samo położenie nowotworu w narządach głębokich lub w otworach naturalnych ciała przedstawia duże trudności w porównaniu do leczenia raka skóry. Również stopień promienioczułości różnych nowotworów złośliwych jest niejednak. Jedne są tak wrażliwe, że po prostu topią się pod promieniami — są to nowotwory biorące początek z tkanek limfatycznych, lub embrionalnych. Inne znów są bardzo odporne i wymagają do wyleczenia stosunkowo dużej dawki promieni, prawie aż do granicy wytrzymałości otaczających narządów. Są też i takie postaci nowotworów, które wykazują tak niską promienioczułość, że promieniami zniszczyć ich nie możemy.

Dla pokonania tych trudności rozwinięta się specjalna technika stosowania radu, starająca się dostarczyć do utkania nowotworowego jak największej ilości energii promiennej, przy zabezpieczeniu otaczających tkanek zdrowych.

Jak wiadomo, rad wydziela 3 rodzaje promieni, które oznaczamy literami greckimi *alfa*, *beta* i *gamma*. Promienie *alfa* odchylają się słabo w polu magnetycznym w prawo i składają się z cząsteczek materialnych, z atomów helu naładowanych dodatnio. Przenikliwość ich jest bardzo mała, najmniejsza przeszkoda jak na przykład kartka papieru zatrzymuje je w zupełności. Promienie te nie mają zastosowania w medycynie.

Promienie *beta* bardzo silnie odchylone w lewo w polu magnetycznym, składają się z elektronów naładowanych ujemnie i mają rozmaitą siłę przenikliwości. Jedne z nich, miękkie, są całkowicie zatrzymywane przez blaszkę aluminium 2 milimetry grubości, drugie,



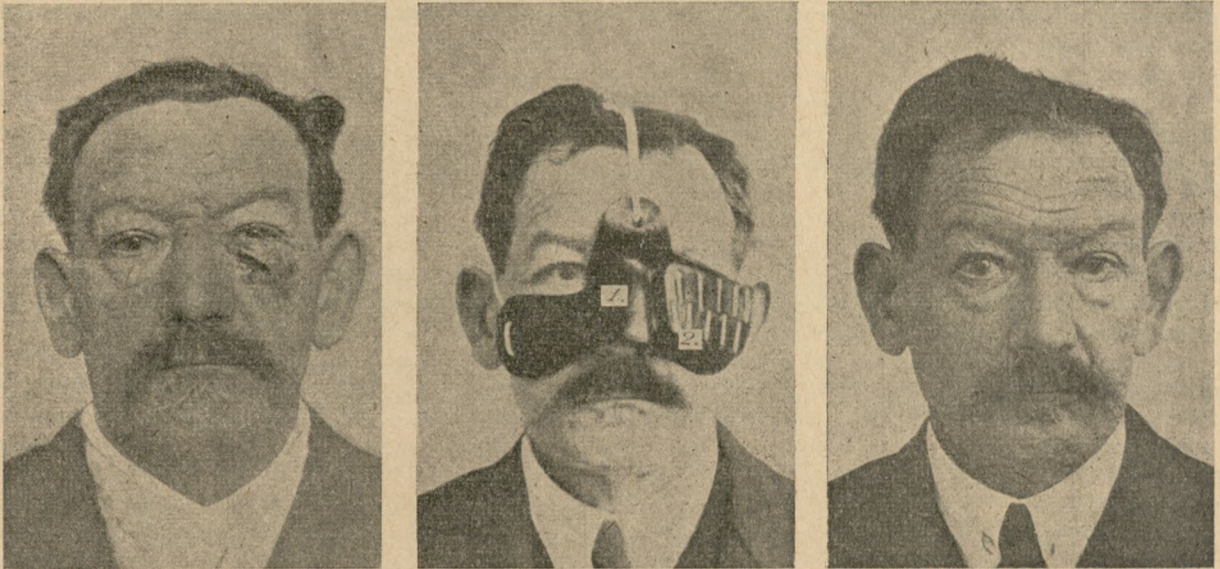
twarde, zatrzymuje dopiero blacha 8 milimetrowa aluminium.

Promienie *gamma* przedstawiają wiązkę promieni nie odchylaną w polu magnetycznym, są to fale elektromagnetyczne, a więc analogiczne do promieni rentgena, lecz znacznie od nich przenikliwsze. Podczas gdy promienie radu przechodzą przez ołów 30 centymetrowej grubości, promienie rentgena zatrzymać można blaszką ołowiu 1-centymetrowej grubości. Rozróżniamy promienie *gamma*, miękkie, które zatrzymuje blaszka platyny o grubości 1 centymetra i promienie twarde, które przechodzą przez taki filtr platynowy.

W praktyce lekarskiej stosujemy promienie *beta* i *gamma* radu w zależności od głębokości zmiany poddanej napromienianiu. Dla zmian bardzo powierzchownych, jak na przykład dla leczenia naczynek skór-

Jeżeli zmiana nowotworowa umiejscowiona jest w narządzie ruchomym jak na przykład na wardze dolnej, stosujemy tu wtenczas plastyczny aparat radowy w formie podkowy, otaczając zmianę nowotworową i napromieniając ją z dwóch kierunków jakby w ogniu krzyżowym.

Nie zawsze jednak warunki miejscowe pozwalają na zaaplikowanie takiej wymodelowanej płytki z tubkami radu. W nowotworach jamy ustnej często nie ma miejsca na wprowadzenie takiego aparatu i dokładne przyleganie płytki plastycznej jest często niemożliwe. W tych przypadkach używa się radu zamkniętego w igłach platynowych, które wbijamy wprost do utkania nowotworowego, napromieniowując tkankę nowotworową od wewnątrz śródmiaższowo. Igły radowe mają specjalne zastosowanie w leczeniu raka języka.



Rak powieki dolnej: a) przed napromieniowaniem, b) płytka plastyczna z tubkami radowymi, przyłożona na zmianę nowotworową, c) wygląd powieki dolnej po wyleczeniu raka radem

nych u dzieci, bardzo promienioczułych i płytkich, używamy promieni *beta* radu, dla zmian głębszych i mniej promienioczułych stosujemy promienie *gamma* radu, odpowiednio filtrowane. Do leczenia raków stosujemy twarde promienie *gamma* radu.

Najprostsza metoda stosowania promieni używana jest przy leczeniu raków skóry. Z substancji plastycznej modeluje się płytkę do 1 cm grubą, dobrze dostosowaną do zagłębienia i wyniosłości powierzchni zmiany nowotworowej. Na zewnętrznej powierzchni tej płytki układamy równomiernie tubki radowe w ten sposób, aby powierzchnia rozłożenia tubek odpowiadała powierzchni nacieku nowotworowego. Tubki radowe są to rurki platynowe, zwykle około 2 cm długie, o grubości ścian 1 do 2 milimetra, wypełnione w środku solą radową i zatopione na obu końcach platyną. Płaszcz platynowy otaczający rad, służy do pochłaniania miękkich promieni radu. Tak przygotowany aparat radowy umocowujemy przylepcami na zmianie nowotworowej i pozostawiamy go w permanencji, względnie na kilka godzin dziennie, przez czas potrzebny dla wymierzenia leczniczej dawki promieni, który wynosi przeciętnie 3—8 dni.

Promienie radu stosujemy również w leczeniu nowotworów umieszczonych w naturalnych otworach ciała, wprowadzając tubki radowe w sondach gumowych do tych otworów. Tak napromieniowujemy nowotwory zewnętrznego przewodu słuchowego, jam nosowych i inne. W długich sondach gumowych wprowadza się tubki radowe przy leczeniu nowotworów przełyku, a w przypadkach raka szyjki macicy stosuje się sondę gumową, wypełnioną tubkami radowymi, którą wprowadza się do światła macicy, oraz korki wypełnione tubkami radowymi, które umieszcza się w sklepieniach pochwy, biorąc w ogień krzyżowy promieni nacieku nowotworowy szyjki macicy.

W przypadkach dalej posuniętych, gdy nacieku nowotworowy rozprzestrzenił się poza granice dostępne dla bezpośredniego stosowania radu, atakujemy komórki nowotworowe promieniami przy pomocy naświetlań tak zwanych głębokich z zewnątrz. Używamy do tego promieni rentgena, które doprowadzić możemy poprzez powłoki skórne, poprzez mięśnie i kości do tkanki nowotworowej w głębi ciała położonej. Stosowanie promieni rentgenowskich przy naświetlaniach głębokich jest praktycznie korzystniejsze niż promieni radu. Uży-



wane obecnie lampy rentgenowskie, pracujące przy technicznie łatwo dostępnym napięciu 200 tysięcy Volt, emitują wprawdzie znacznie mniej twarde, a co za tym idzie mniej przenikliwe promienie aniżeli promienie radu, lecz dzięki łatwości zwiększenia odległości lampy rentgenowskiej od powierzchni naświetlanej skóry, tę mniejszą przenikliwość promieni rentgenowskich wyrównujemy zwiększoną dawką głębokościową. Im większa jest bowiem odległość źródła promieni od powierzchni naświetlanej, tym większa jest dawka głębokościowa w myśl fizycznego prawa kwadratu odległości.

W instytutach rozporządzających wielką ilością radu stosuje się także przy głębokich naświetlaniach tak zwane bomby radowe. Są to aparaty zawierające około 10 gramów radu, otoczone bardzo grubymi osłonami ołowianymi, nadającymi aparatowi kształt bomby. Aparatem tym można skutecznie naświetlać nowotwory w głębi ciała położone, lecz odległość praktyczna radu od skóry wynosić może tylko maksimum 12 cm, przy czym czas potrzebny dla takiej odległości radu do wymierzenia dawki nowotworowej wynosi w tych warunkach 40 do 50 godzin rozłożonych na 40 dni. Wykorzystanie praktyczne takiej bomby jest więc ograniczone, gdyż ideałem by było, celem zwiększenia dawki głębokościowej i równomiernego rozłożenia promieni, zwiększyć odległość bomby radowej od skóry do minimum 50 cm i więcej. Stosując taką odległość źródła promieni od naświetlanej skóry, należałoby bombę radową wyposażyć w bardzo poważną ilość radu dochodzącą do kilkunastu decygramów, a nawet do 1 kg. Taką zawrotną ilością radu nie dysponujemy i przez długie lata myśl ta pozostawała w krainie marzeń. Postęp techniczny w produkcji aparatów rentgena dostarczył wprawdzie lecznictwu transformatorów i lamp rentgenowskich pracujących przy napięciu 1 miliona Volt a nawet 2 milionów Volt i tym samym dostarczył promieni odpowiadających przenikliwością promieniom radu. Urządzenia takie są jednak bardzo kosztowne i dlatego praktycznie nie mogą być powszechnie stosowane.

Tymczasem w Instytucie Radowym Uniwersytetu Paryskiego, w laboratorium fizycznym prace naukowe rozwijały się w dalszym ciągu. Zastępy fizyków, pracujących pod kierunkiem Marii Skłodowskiej-Curie przeprowadzają coraz to nowe odkrycia i badania w dziedzinie promieniotwórczości. Całokształt swych badań Maria Skłodowska ujmuje w epokowej książce pt. *Promieniotwórczość*, a niemal u schyłku ofiarnego jej życia spotyka Marię jakże wspianała i radosna nagroda. Córka jej Irena i zięć Fryderyk Joliot donoszą światu o odkryciu sztucznych pierwiastków promieniotwórczych. To nowe odkrycie daje potężny impuls do badań nad sztuczną promieniotwórczością, opracowywanych odtąd na warsztatach wielu pracowni naukowych całego świata i prowadzi do poznania budowy jądra atomowego i wykrycia całego szeregu sztucznych pierwiastków promieniotwórczych, mających wielkie zastosowanie w biologii i medycynie. Są to tak zwane izotopy promieniotwórcze.

Sztuczny izotop promieniotwórczy jakiegoś pierwiastka chemicznego różni się tym od jego izotopu niepromieniotwórczego, występującego w przyrodzie, że ulega

samoistnemu rozpadowi, przy którym wyzwala się promieniowanie. Zjawisko promieniotwórczości związane jest zatem z rozpadem jądra atomu. Pierwiastek stały, występujący w przyrodzie nie ulega samoistnemu rozpadowi i jest niepromieniotwórczy. Sztuczne pierwiastki promieniotwórcze produkujemy z ich izotopów niepromieniotwórczych naturalnych, w specjalnych urządzeniach, zwanych reaktorami atomowymi i cyklotronami. Dotychczas znamy ponad 1000 izotopów promieniotwórczych, z których niektóre spowodowały poważny postęp w medycynie.

Największe zastosowanie praktyczne zyskał *kobalt promieniotwórczy*  $C^{60}$ , który spowodował poważny przewrót techniczny w leczeniu nowotworów złośliwych. Okazało się bowiem, że kobalt promieniotwórczy posiada wszystkie zalety radu potrzebne do leczniczego stosowania promieni a jest pozbawiony niekorzystnych wad radu. I tak wysyła promienie wprawdzie mniej przenikliwe niż promienie radu, lecz zupełnie wystarczające dla celów leczniczych a przy tym jednorodne. Nie musi być, jak rad, szczelnie zamknięty w otoczkach platynowych, albowiem przy swym rozpady nie wydziela promieniotwórczego pierwiastka gazowego, jak to się dzieje przy rozpady radu i tym samym nie grozi zakażeniem promieniotwórczością otoczeniu, bardzo niebezpiecznym dla personelu i chorych przebywających w zakładach radowych. Jest znacznie tańszy od radu, co pozwala na skonstruowanie różnych aplikatorów kobaltowych w dużej ilości, w postaci tubeł, płytek, igieł, drutu, kulek, maści i tak zwanych bomb kobaltowych, zawierających kilka dekagramów do kilograma kobaltu, przewyższających w działaniu niezmiernie drogie bomby radowe. Bomby kobaltowe w niedługiej przyszłości usuną z promieniolecznictwa aparaty rentgenowskie, wymagające kosztownych urządzeń wysokonapięciowych, kabli i szybko zużywających się bardzo drogich lamp. Przy tym wyniki lecznicze, ze względu na możliwość używania kobaltu w dużych ilościach i z wielkiej odległości, będą lepsze niż dotychczasowych metod promieniolecniczych. Kobalt znajdzie również zastosowanie w produkcji aparatów do prześwietlań i zdjęć, które będą prostsze w użyciu, o długiej wytrzymałości, bez konieczności skomplikowanej obsługi i konserwacji jak przy dotychczasowych aparatach rentgenowskich.

*Jod promieniotwórczy* podobnie jak jod naturalny ma powinowactwo do tkanki tarczycy. Podany choremu na raka tarczycy, niemal cały gromadzi się w tym gruczole i napromienia tam jakby od wewnątrz tkankę rakową tarczycy. Ogniska przerzutowe raka tarczycy również wychwytyują promieniotwórczy jod i ulegają zniszczeniu pod działaniem wewnątrzkomórkowym jego promieni.

Podobnie *fosfor promieniotwórczy*, mający powinowactwo do komórek krwi, stosuje się w leczeniu schorzeń układu krwiotwórczego, w białaczkę i czerwieńcy, a *złoto promieniotwórcze* wstrzyknięte do jamy brzusznej, w przypadkach nowotworowego zajęcia otrzewnej, utrzymuje się przez dłuższy czas w płynie wysiękowym otrzewnej, napromieniając i niszcząc gniazda nowotworowe rozsiane po otrzewnej.

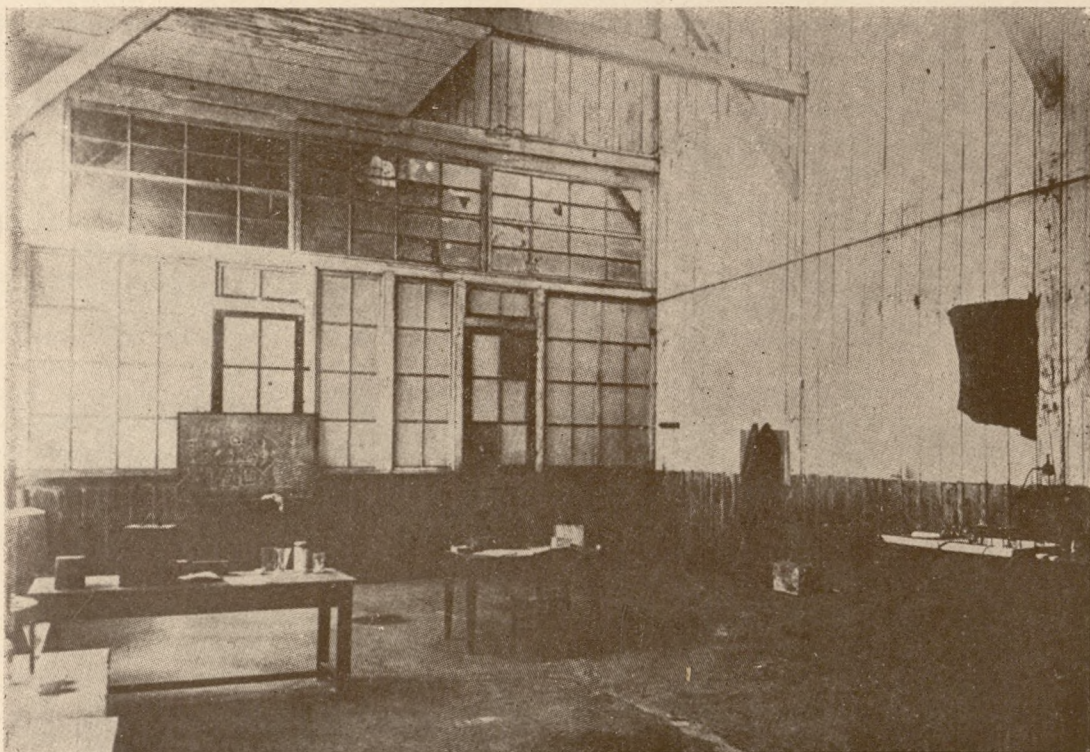
Izotopy promieniotwórcze znalazły również poważne zastosowanie w badaniach krążenia poszczególnych





Maria Skłodowska-Curie z mężem Piotrem Curie w laboratorium





Pracownia małżonków Curie w Paryżu, w której Maria Skłodowska-Curie wydzieliła chlorek radu



Uroczystości w Polskiej Akademii Nauk w XX rocznicę śmierci Marii Skłodowskiej-Curie





pierwiastków w ustroju. Dotychczas, w badaniach przemiany tych pierwiastków w organizmie, natrafialiśmy na duże trudności. Obecnie odsłaniają się wspaniałe możliwości. Drogę każdego związku chemicznego, względnie poszczególnego pierwiastka, jaką wykonuje on od chwili podania do organizmu aż do chwili wydalenia, możemy prześledzić z dużą dokładnością. Możemy poznać etapy pośrednie, jak łączenie się z innymi związkami i magazynowanie ich w poszczególnych narządach. Dokonujemy tego przy pomocy zastąpienia badanego pierwiastka jego izotopem promieniotwórczym. Już bardzo niewielkie ilości izotopu promieniotwórczego można wykryć licznikiem Geigera-Müllera, przykładając go do poszczególnych organów i części ciała. Reaguje on na najdrobniejsze emisje promieni i w wypadku ich obecności daje charakterystyczne więcej lub mniej intensywne i częste szmery. Niewielką ilość badanego izotopu promieniotwórczego możemy wykryć w danej tkance ustroju pobierając wycinek histologiczny i sporządzając preparat histologiczny. Preparat ten przyłożony do kliszy fotograficznej zamieni ją, o ile w komórkach badanego wycinka zlokalizował się izotop promieniotwórczy.

U nas w Polsce lecznicze stosowanie izotopów promieniotwórczych jak też zastosowanie izotopów do badań klinicznych i biologicznych wkroczyło ostatnio w okres praktycznego rozwoju. Dzięki pomocy Związku Radzieckiego otrzymamy niedługo sporą ilość najbardziej nas interesujących izotopów, głównie kobaltu, które wprowadzone będą do lecznictwa raka w naszych instytutach i klinikach radiologicznych oraz w pracowniach biologicznych.

Spoglądając na rewolucyjną drogę, jaką przeszła promieniotwórczość od chwili odkrycia do fantastycznych wprost możliwości zastosowania jej w lecznictwie i w badaniach naukowych w dniu dzisiejszym, musimy oddać hołd genialnym pracom i odkryciom, dokonany lat temu blisko 60 w szopie przy ul. Lhomond w Paryżu przez małżonków Curie. Winniśmy niezmierną wdzięczność geniuszowi Marii Skłodowskiej-Curie, która bohaterskim wysiłkiem całego życia wytyczyła drogę rozwojowi promieniotwórczości a powiadomiona przez świat lekarski o wynikach leczniczych radu nie

ograniczyła się tylko do wyrażenia swej radości w znanych i krótkich a pięknych słowach *il m'est doux de penser que notre découverte peut servir à soulager la souffrance humaine*, lecz dążyła uparcie do otwarcia w Paryżu naukowego instytutu leczniczego dla stosowania promieni i badań nad rakiem. Przez całe życie otaczała ten instytut troskliwą opieką, starając się o fundusze i rozwój laboratoriów, biorąc czynny udział w organizacji badań naukowych i organizacji nauczania młodych badaczy. Jako gorąca patriotka, troskę i starania o rozwój tej gałęzi nauki przeniosła i na Polskę. Fizyków i lekarzy polskich, przebywających na studiach w Paryżu otaczała wprost rodzicielską opieką i pomocą, ułatwiając im dostęp do laboratoriów, interesując się żywo ich postępami badań, a niejednokrotnie umożliwiając im przedłużenie pobytu w Paryżu przez subwencję z własnych funduszy. Jako młoda studentka, wyjeżdżając po raz pierwszy na studia do Paryża postanowiła, że wiedzę zdobytą w Paryżu rozwinie i odda w służbie Polsce. O tym gorącym zobowiązaniu z dni młodości nie zapomniła Maria ani na chwilę. I gdy w roku 1929 otrzymuje od kobiet amerykańskich w darze 1 gram radu, oddaje go Polsce, dla przyszłego instytutu radowego w Warszawie. Ona to, Maria Skłodowska-Curie, łącznie z siostrą swą dr Bronisławą Dłuską są inicjatorkami założenia tego instytutu w Warszawie, który dzięki ich staraniom został otwarty w roku 1932, z oddziałami fizycznym, biologicznym i leczniczego stosowania promieni.

Do dnia dzisiejszego w gmachu Instytutu Radowego w Warszawie zwanego obecnie Instytutem Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie oglądać można, położony w części szpitalnej pokój, w którym przebywała Maria Skłodowska-Curie, podczas swych pobytów w Polsce, prowadząc organizację tego instytutu. Z pokoju tego, będącego niejako pamiątką narodową, poprzez duże werandowe okno, zwrócone w stronę ogrodu, wzrok pada na opodal w alejach ogrodowych wznoszący się gmach pracowni fizycznej i biologicznej instytutu i łączy symbolicznie w jedną całość wszystkie działy instytutu, których harmonijny rozwój naukowy był w ciągu całego życia Marii Skłodowskiej-Curie Jej najgorętszą troską i dążeniem.

## TECHNICZNE ZASTOSOWANIA PROMIENIOTWÓRCZOŚCI \*)

LEOPOLD JURKIEWICZ

### Wstęp

Promieniowanie  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  emitowane przy rozpadzie pierwiastków radioaktywnych, jak również i same te pierwiastki znalazły liczne zastosowanie w nowoczesnej technice, zarówno w badaniach naukowych, jak też w wielu praktycznych problemach technologicznych.

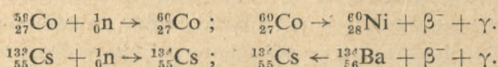
Do pomiaru tych promieni w omawianych tu badaniach używamy urządzeń znanych z laboratoriów jądrowych, jak emulsji fotograficznych (w defektoskopii gamma i w tzw. autoradiografii), liczników Geigera-Müllera, liczników scyntylicyjnych i komór jonizacyjnych.

Metody badań, oparte na zastosowaniach promieniotwórczości, zaczęły robić kolosalne postępy po roku 1946, odkąd pierwsze stopy atomowe zaczęły dostarczać w dużych ilościach sztucznych radiopierwiastków, otrzymywanych przez bombardowanie neutronami wprowadzanych do nich ciał. Jak wiadomo, bombardowane przez neutrony jądra atomowe mają możliwość

\* Odczyt wygłoszony w dniu 23. IV. 1955 r. w serii odczytów zorganizowanych w okazji 20-lecia śmierci M. Skłodowskiej-Curie staraniem Krakowskich Oddziałów: Polskiego Tow. Fizycznego, Polskiego Tow. Chemicznego, Polskiego Tow. Lekarskiego i Polskiego Tow. Przyrodników im. Kopernika.



pochwycenia ich i zmienienia się w ten sposób w izotop cięższy danego pierwiastka. Dla niektórych izotopów prawdopodobieństwo schwymania przelatujących przez ich jądra neutronów jest duże, dla innych może być znikomo małe. Jeśli powstały nowy izotop jest nietrwały i rozpada się, powiadamy, że w pierwszym przypadku wyjściowy izotop aktywizuje się silnie, w drugim słabo. Oczywiście jest rzeczą, że praktyczne znaczenie mają w pierwszym rzędzie izotopy, które ulegają silnej aktywizacji promieniotwórczej w stosie. Dla przykładu zapiszemy reakcje tworzenia się i rozpadu dwu izotopów, mających częste zastosowanie, jako źródła promieni  $\gamma$ :



Widzimy, że nowe izotopy otrzymane w tych reakcjach są nietrwałe i rozpadają się z emisją promieni  $\beta$  i promieni  $\gamma$ .  ${}_{27}^{60}\text{Co}$  rozpada się do połowy po upływie  $T=5,0$  lat,  ${}_{55}^{137}\text{Cs}$  po upływie  $T=2,3$  lat. Należy tu zwrócić uwagę na to, że niektóre z otrzymanych w ten sposób sztucznych pierwiastków promieniotwórczych rozpadają się emitując same tylko promienie  $\beta$ , np.  ${}_{20}^{45}\text{Ca}$  ( $T=163$  dni),  ${}_{74}^{185}\text{W}$  ( $T=73,2$  dni),  ${}_{38}^{85}\text{Sr}$  ( $T=54,5$  dni),  ${}_{15}^{32}\text{P}$  ( $T=14,3$  dni) itp. Mają one duże znaczenie w pomiarach grubości blach, gdyż pozwalają wykrywać małe różnice grubości ze względu na silną absorpcję promieni  $\beta$  przez materię.

Nowe radiopierwiastki znajdują dziś zastosowanie bądź jako tanie stosunkowo źródło przenikliwego promieniowania, zastępujące rad, i często przewyższające go jakościowo, bądź też służą jako „naznaczone“ atomy określonego pierwiastka w rozmaitych procesach chemicznych, fizjologicznych, technologicznych, jak w hutnictwie, metalurgii, przy budowie maszyn itp. Możliwości praktycznych zastosowań radiopierwiastków są dziś tak różnorodne i szerokie, że trudno byłoby wymienić je wszystkie. Ograniczymy się tylko do omówienia najważniejszych i najbardziej typowych przykładów, pomijając zupełnie rozległą dziedzinę zastosowań promieniotwórczości w medycynie i biologii.

### Techniczne wykorzystanie źródeł promieni $\alpha$ , $\beta$ i $\gamma$

Jednym z ważnych zastosowań promieni  $\gamma$  jest użycie ich w tzw. radiografii przemysłowej, zwanej często defektoskopią gamma, służącej do „prześwietlenia“ grubych części maszyn, które muszą spełniać duże wymagania wytrzymałościowe. Metoda ta pozwala wykryć ewentualne uszkodzenia wewnętrzne w badanych przedmiotach, jakie mogły powstać przy odlewach lub podczas określonego procesu fabrykacyjnego (np. pory, kawerny, szczeliny w odlewach, w miejscach spawów itp.). Źródło promieni  $\gamma$  o możliwie dużym natężeniu i małej objętości ustawiamy w pewnej odległości od „prześwietlanego“ przedmiotu, za którym bezpośrednio znajduje się klisza fotograficzna w kasecie, obłożona ekranem wzmacniającym, najczęściej z cienkiej folii ołowiowej (ryc. 1).

„Prześwietlenie“ części maszyn przenikliwymi promieniami  $\gamma$  zostało wprowadzone do praktyki radio-

graficznej w czasie, gdy instalacje rentgenowskie nie były w stanie dostarczyć wiązek promieni X zdolnych do przejścia przez przedmioty stalowe o grubościach większych od 80 mm. Początkowo znalazły zastosowanie rad i mezotor, będące w równowadze promieniotwórczej ze swymi produktami rozpadu. Nowa metoda okazała się korzystna pod wieloma względami. — Pozwala ona „przeświecać“ części stalowe o znacznie większych niż przedtem grubościach, nie wymaga żadnego dozoru podczas ekspozycji, które muszą trwać wiele godzin, czy nawet dni, umożliwia łatwy transport całego urządzenia w dowolne miejsce, zapewnia dużą łatwość w manipulacji źródłem promieni przy prześwietlaniu przedmiotów o skomplikowanych kształtach, co przy użyciu lamp rentgenowskich nie zawsze jest możliwe. Jeśli weźmiemy pod uwagę, że dzięki coraz większej liczbie stosów atomowych jesteśmy dziś w stanie uzyskiwać bardzo silne źródła promieni  $\gamma$  o dowolnej twardości, to zrozumiemy, dlaczego ta nowa metoda radiograficzna wypiera coraz bardziej kosztowną metodę rentgenowską.

Zależnie od grubości prześwietlanych części musimy wybrać odpowiedni izotop promieniotwórczy. Tabl. 1 podaje zestawienie najczęściej stosowanych radiopierwiastków do radiografii części stalowych. Dane te odnoszą się do aktywności  $\text{Co}^{60}$  i  $\text{Ta}^{182}$  wynoszącej  $1 \text{ c}^1$  i  $\text{Ir}^{192}$  — 4 c. Przy użyciu odpowiednio silnych preparatów jesteśmy w stanie prześwietlać części stalowe o grubości rzędu 250—300 mm.

Tablica 1

Izotop	Grubość części prześw. (mm)
$\text{Co}^{60}$	50—150
$\text{Ta}^{182}$	50—150
$\text{Ir}^{192}$	5—70

Możliwość wykrycia defektów wewnętrznych przy pomocy promieni  $\gamma$  zależy od wielu czynników, jak: a) twardości promieni i gęstości prześwietlanego metalu, b) geometrycznych rozmiarów źródła promieni i jego odległości od kliszy, c) kąta rozwarcia wiązki promieni, d) kształtu prześwietlanego ciała itp.

Ponieważ klisza fotograficzna jest mało czuła na promienie  $\gamma$ , staramy się ją zastąpić detektorem bardziej czułym, np. licznikiem G.-M., komorą jonizacyjną, lub licznikiem scyntylacyjnym. Jest to możliwe tam, gdzie nie chodzi nam o ustalenie dokładne kształtu ewentualnych defektów, jedynie o ich wykrycie w określonych miejscach badanych przedmiotów, np. na szwach spawalniczych, przy wykrywaniu różnic grubości płyt i blach itp.

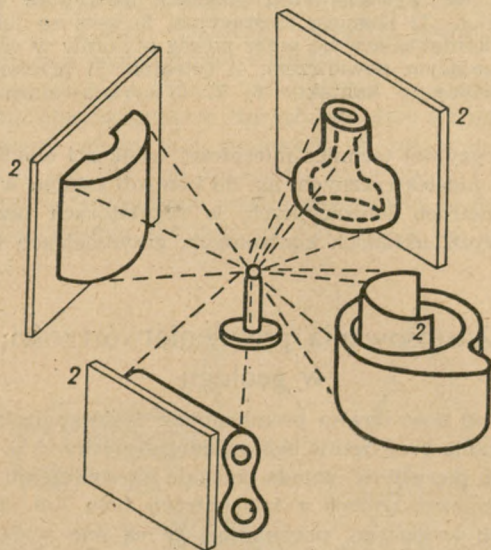
Promienie  $\gamma$  lub  $\beta$  wychodzące ze źródła osłoniętego odpowiednio ołowiem (ryc. 2) po przejściu przez płytę lub blachę, której grubość chcemy zmierzyć metodą bezkontaktową, trafiają do licznika G.-M. i powodują krótkotrwały przepływ bardzo słabego prądu, który powoduje pojawienie się na jego drucie ujemnych impulsów napięciowych. Impulsy te zostają wzmocnio-

<sup>1</sup> 1c jest jednostką aktywności promieniotwórczej radiopierwiastków. — 1c oznacza ilość pierwiastka promieniotwórczego, w której zachodzi  $3,7 \cdot 10^{10}$  rozpadów jądrowych w 1 sek. Mniejsze jednostki: 1 mc =  $10^{-6}$ c; 1 c =  $10^{-9}$ c.

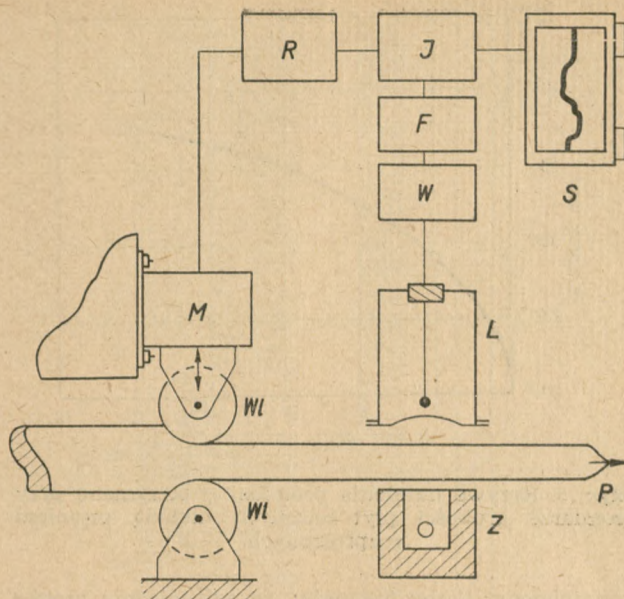


ne przez wzmacniacz wstępny *W*, następnie w obwodzie formującym *F* każdy z impulsów uzyskuje jednakową wysokość napięciową i jednakową długość w czasie. Dzięki temu każdy impuls przekazuje do obwodu integrującego *I* taki sam nabój elektryczny. Nabój ten w obwodzie integrującym doprowadzany jest do kondensatora odpowiedniej pojemności, spiętego dużym oporem. Zależnie od ilości impulsów dochodzących do kondensatora w 1 sek. ustala się między jego okładkami pewna różnica potencjałów, tym wyższa, im większe jest natężenie przechodzącego przez badane ciało promieniowania. Miliamperomierz samopiszzący, stanowiący część obwodu woltomierza lampowego, mierzącego napięcie na kondensatorze integrującym, wskazuje nam bezpośrednio zmiany tego natężenia przy przesuwaniu płyty *P*. Mierząc oddzielnie krzywą absorpcji promieni  $\gamma$  czy  $\beta$  w żelazie, możemy ustalić związek między  $\gamma$  czy  $\beta$  w miliamperomierzu i natężeniem przechodzącego promieniowania, a więc pośrednio, grubością badanego materiału. Do pomiaru grubości blach używamy promieni  $\beta$  odpowiedniej energii. Przy pomiarze musimy pamiętać o tym, że źródło promieni musi być umieszczone możliwie blisko badanej płyty czy blachy. Detektor promieni winien być ustawiony w pewnej odległości, by nie rejestrował zbyt wielu promieni rozproszonych. Przez zastosowanie odpowiedniego układu lampowego jesteśmy w stanie na tej drodze przy pomiarze grubości płyt stalowych o nominalnej grubości 10 mm wykrywać nierówności rzędu paru setnych mm.

Opisywana tu metoda bezkontaktowego pomiaru grubości płyt stalowych i w szczególności blach ma duże znaczenie praktyczne. Pozwala ona przez sprzężenie układu lampowego mierniczego przy pomocy systemu przekaźników z mechanizmem poruszającym walce, zwiększać lub zmniejszać nacisk tych ostatnich i kontrolować w ten sposób, by produkowane blachy czy



Ryc. 1. Użycie źródła promieni  $\gamma$  do defektoskopii. Źródło promieni  $\gamma$  1 prześwieca równocześnie szereg przedmiotów, dając radiogramy na kliszkach fotograficznych, umieszczonych między ekranami wzmacniającymi w kasetach 2.



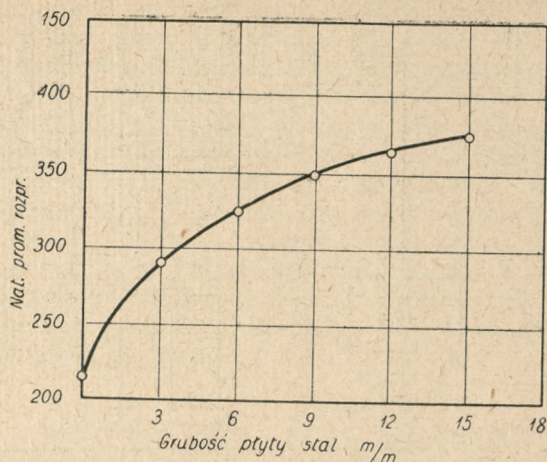
Ryc. 2. Aparatura do bezkontaktowego pomiaru grubości blachy przy pomocy promieni  $\beta$  lub  $\gamma$ . Z — źródło promieni w osłonie z ołowiu, L — licznik GM., W — wzmacniacz impulsów, F — układ formujący impulsy, I — obwód integrujący impulsy, S — woltomierz lampowy z miliamperomierzem samopiszzącym, R — układ przekaźników, M — urządzenie regulujące docisk walców WL, P — blacha walcowana.

płyty wychodziły z walcowni w ściśle określonych granicach grubości (ryc. 2).

Pomiar grubości płyt przy pomocy promieni  $\gamma$  i blach przy pomocy promieni  $\beta$  może być wykonywany przy wykorzystaniu promieni rozproszonych w badanym materiale. W tym przypadku źródło promieni dobrze osłonięte i detektor są ustawione z tej samej strony płyty w ten sposób, by do detektora mogło dochodzić tylko promieniowanie rozproszone. Rys. 3 przedstawia wyniki uzyskane tą metodą przy zmianie grubości badanych płyt stalowych promieniami  $\gamma$ . Możemy na tej drodze mierzyć grubości blach, możemy mierzyć grubości pokrycia żelaza innym, cięższym metalem, np. ołowiem, cyną, możemy wykrywać uszkodzenia wewnętrzne rurociągów i zbiorników zamkniętych, spowodowane korozją, itp. Dalej ta sama metoda pozwala nam śledzić zmianę koncentracji rozworów wpływających w rurociągach, wyznaczać położenie powierzchni rozdziału dwu cieczy, lub cieczy i gazu itp.

Wspomnieć tu należy jeszcze o zastosowaniu promieni  $\gamma$  przy kontroli zużycia obmurowania wewnętrznego wielkich pieców hutniczych, która na innej drodze podczas ruchu jest zupełnie niemożliwa. Dokonuje się jej przy pomocy niewielkich próbek  $\text{Co}^{60}$ , które zostają umieszczone w ścianach podczas budowy pieca w miejscach najbardziej narażonych na zużycie przy pracy. Pomiaru natężenia promieniowania  $\gamma$ , emitowanego przez poszczególne próbki dokonuje się przy pomocy liczników G.-M. z zewnątrz pieca. Codzienna kontrola tych próbek pozwoli uchwycić moment, kiedy to zużycie postąpi tak daleko, że jakaś próbka  $\text{Co}^{60}$  zostanie odsłonięta i rozpuści się w roztopionym żelazie. Licznik G.-M. zasygnalizuje nam przez rejestrację





Ryc. 3. Krzywa natężenia promieni  $\gamma$  otrzymana przy pomiarze grubości płyt żelaznych metodą promieni rozproszonych.

zmniejszonej liczby impulsów, że odpowiednia próbka  $\text{Co}^{60}$  znikła ze ściany pieca, równoczesny pomiar promieniotwórczości odbieranego żelaza wskaże nam, że kobalt został przez nie rozpuszczony.

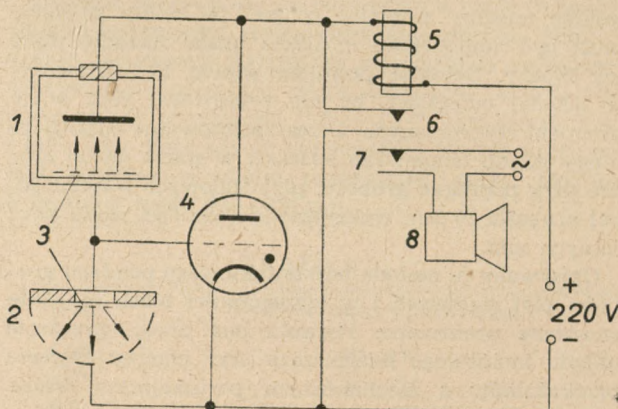
Pierwiastki radioaktywne znalazły też szerokie zastosowania praktyczne jako środek wywołujący silną jonizację atmosfery w pomieszczeniach, do których zostają wprowadzone.

Na tej zasadzie opiera się np. efektywne urządzenie przeciwpożarowe, wykorzystujące dużą zdolność jonizacyjną cząstek  $\alpha$ . Składa się ono z dwu komór jonizacyjnych, połączonych w szereg, wypełnionych powietrzem, z których jedna jest zamknięta, druga zaś przez liczne otwory kontaktuje się z atmosferą pomieszczenia (ryc. 4). Do obu tak zestawionych komór przyłożone jest stałe napięcie 220 V. Na otwartej komorze mamy normalnie w czystej atmosferze różnicę potencjałów ok. 80 V. Równoległe do komór jonizacyjnych dołączona jest trioda gazowana (tyratron). Jej siatka sterująca przyłączona jest do drutu między obiema komorami. Przyłożone w ten sposób na siatkę tyratronu napięcie nie wystarcza do zapalenia w nim wyładowania. Jeśli pomieszczeniu zagraża pożar, to wcześniej już w atmosferze je wypełniającej pojawiają się domieszki zmieniające jej normalny skład. Komora staje się wskutek tego mniej przewodząca. Powstaje na niej większa różnica potencjałów, dochodząca do 100—110 V, co wystarcza już do „zapalenia się” tyratronu. Równocześnie z zapaleniem się wyładowania w tyratronie zostaje uruchomiony przekaźnik, który włącza syrenę alarmującą. W ten sposób zostajemy powiadomieni o niebezpieczeństwie ognia znacznie wcześniej, niż on zdoła wybuchnąć.

Radiopierwiastki używane też są do neutralizowania ładunków elektrycznych, gromadzących się na różnych materiałach, będących dobrymi izolatorami, podczas ich produkcji. Ładunki te często prowadzą do wyładowań iskrowych, szczególnie niebezpiecznych przy fabrykacji materiałów łatwopalnych, względnie w halach z dużą ilością par lub pyłu, dających z powietrzem mieszaniny łatwo wybuchające. Do niedawna używano dla uniknięcia tych zjawisk preparatów radowych lub polonowych. Obecnie używane są do tego celu izotopy

szlucznie promieniotwórcze, emitujące promienie  $\beta$ . Dają się one łatwo osłonić, by nie działały szkodliwie na pracujących w ich sąsiedztwie robotników. Najczęściej stosuje się dziś izotop talu  $\text{Tl}^{204}$ , który osadza się elektrolitycznie na płytce miedzianej i pokrywa się dla zabezpieczenia przed uszkodzeniem cieniutką warstwą cynku. 1 mc  $\text{Tl}^{204}$  może neutralizować ładunki elektryczne dając prąd jonowy dochodzący do  $2\text{--}3 \cdot 10^{-9}$  amp. Metoda ta stosowana jest również tam, gdzie wzbudzone ładunki elektryczne na powierzchni materiału powodują tylko niepożądane siły przyciągania lub odpychania, utrudniające normalne manipulacje, np. przy maszynach drukarskich, przy maszynach do pakowania paczek itp. Usuwa się w ten sam sposób wzbudzone ładunki elektryczne na powierzchni nitki przy tkaniu materiałów nylonowych i jedwabnych dla przeciwdziałania osadzania się na nich pod wpływem sił elektrycznych cząstek kurzu.

Własność jonizacji gazów przez promieniowanie ciał radioaktywnych wykorzystuje się bardzo szeroko



Ryc. 4. Urządzenie sygnalizacyjne przeciwpożarowe, oparte na wykorzystaniu jonizacji powietrza przez cząstki  $\alpha$ . 1) Komora jonizacyjna, 2) komora jonizacyjna kontaktująca się przez szereg otworów w osłonie z otaczającym powietrzem, 4) tyratron, 5) przekaźnik, uruchamiający kontakty 6, 7, 8) syrena alarmowa.

w precyzyjnej technice mierniczej wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, np. do kontroli ciśnienia w tzw. manometrach jonizacyjnych, w regulatorach bezkontaktowych, układach kontrolnych, grawimetrach itp.

## Zastosowania promieniotwórczości w geologii

Już od dość dawna promieniotwórczość znalazła zastosowanie przy ocenie bezwzględnego wieku skał. Stosowana pierwotnie metoda polegała na wyliczeniu wieku badanych próbek z koncentracji helu lub ołowiu w nich zawartego, przyjmując, że są one wyłącznie produktami rozpadu promieniotwórczego uranu lub toru, wchodzącego w skład skały. Stosowana obecnie metoda polega na analizie zawartości izotopów  $\text{Pb}^{204}$ ,  $\text{Pb}^{206}$ ,  $\text{Pb}^{207}$  i  $\text{Pb}^{208}$  w badanej skale. Izotopy  $\text{Pb}^{206}$ ,  $\text{Pb}^{207}$  i  $\text{Pb}^{208}$  stanowią ostatni produkt rozpadu trzech różnych rodzin promieniotwórczych, uranowej, akty-

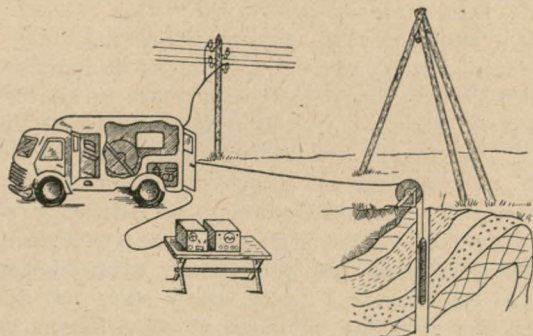


nowej i torowej. Koncentracja tych izotopów w próbkę zależy od wieku skały. Czwarty izotop  $Pb^{204}$  nie jest związany z żadnym procesem rozpadu promieniotwórczego. Jego zawartość w danej skale jest stała, niezależna od czasu. Zakładając, że w chwili powstania skały była już jakaś pierwotna koncentracja izotopu  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$  i  $Pb^{208}$  i biorąc pod uwagę, że stałe rozpadu U i Th miały zawsze te same co obecnie wartości, możemy wyliczyć jej wiek jako czas, w ciągu którego koncentracja tych izotopów osiągnęła wartości otrzymywane z analizy na spektrografie masowym. Należy zaznaczyć, że na ogół wiek tej samej skały, wyznaczony z zawartości 3-ch różnych izotopów ołowiu w niej zawartych nie jest jednakowy ze względu na możliwości migracji Rn, Pb, U, AcU i Th w ciągu minionych wieków. Z 3-ch różnych wartości, jakie się w ten sposób otrzymuje, można jednak wyznaczyć „prawdziwy” wiek skały. Wiek najstarszego minerału oceniony na tej drodze wynosi ok.  $2,0 \cdot 10^9$  lat.

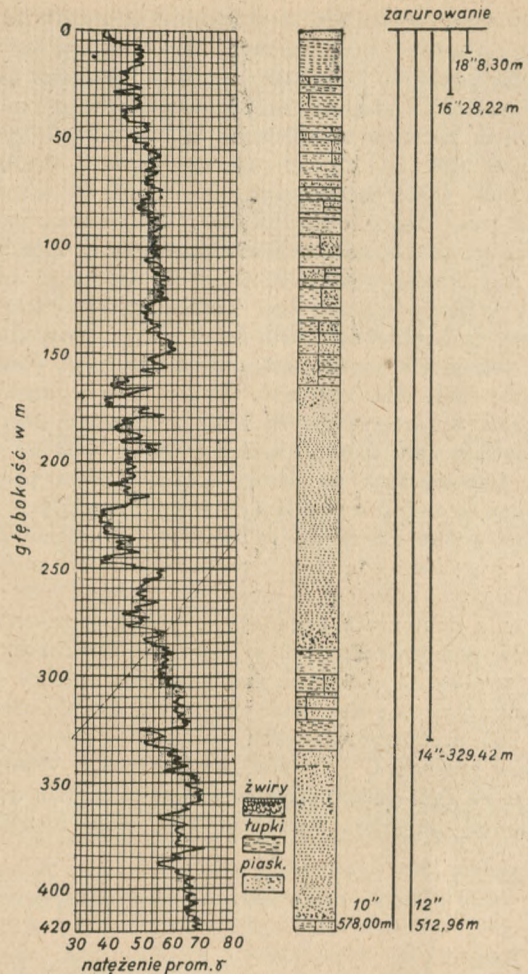
Ocenę maksymalnego wieku Ziemi przeprowadzono z danych uzyskanych na spektrografie masowym dla trzyczłonowych rud ołowioowych, zakładając, że zawarty w nich izotop  $Pb^{207}$  powstał całkowicie na drodze rozpadu promieniotwórczego. Otrzymał w ten sposób wartość  $5,4 \cdot 10^9$  lat. Tak więc opisywana tu metoda podaje wiek ziemi w granicach od  $2,0 \cdot 10^9$  do  $5,4 \cdot 10^9$  lat. Posługując się danymi z analiz wykonanych przy pomocy spektrografu masowego dla szeregu próbek minerałów ołowioowych, pochodzących z różnych okresów geologicznych, można było przeprowadzić dokładniejszą ocenę na drodze prostego stosunkowo rachunku, wiążącego zawartości izotopów  $Pb^{206}$  i  $Pb^{207}$  w pewne związki matematyczne. Z rachunków tych otrzymuje się jako najprawdopodobniejszą wartość na wiek ziemi  $3,35 \cdot 10^9$  lat.

Wspomnieć należy, że istnieje również metoda oceny wieku skał oparta na wyznaczeniu stosunku ilości  $^{87}_{37}Rb$  i ilości  $^{87}_{38}Sr$  powstającego z jego rozpadu. Ostatnio zostały też podjęte próby oceny wieku skał ze stosunku ilości  $^{40}_{19}K$  i ilości  $^{40}_{18}A$ , który powstaje podczas przemiany promieniotwórczej z potasu.

Opisywana tu metoda może służyć do wyznaczania wieku skał stosunkowo starych, nie daje się ona użyć do oceny wieku skał młodszych. W ostatnich latach jednak znalazła ona znakomite rozwiązanie i w tym kierunku. Stwierdzone zostało mianowicie, że neutrony promieniowania kosmicznego wytwarzają bez przerwy

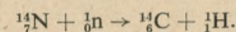


Ryc. 5. Aparatura do profilowania otworów wiertniczych przy pomocy naturalnych promieni  $\gamma$ .

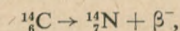


Ryc. 6. Krzywa uzyskana przy profilowaniu  $\gamma$  odwiertów.

izotop promieniotwórczy węgla  $C^{14}$  przez bombardowanie azotu  $N^{14}$ , wg reakcji:



Powstający w ten sposób izotop  $C^{14}$  jest nietrwały i rozpada się do połowy w czasie ok. 5700 lat:



emitując elektrony o niezbyt wysokiej energii (maks. energia 0,155 MeV). Oba te procesy zachodzą stale w atmosferze, dzięki czemu utworzyła się równowaga między ilością  $C^{14}$ , tworzącego się w powietrzu przez bombardowanie neutronami jąder azotu i ilością  $C^{14}$  ulegającą rozpadowi. Można wyliczyć, że równowaga ta prowadzi do koncentracji: 1 atom  $C^{14}$  w przybliżeniu na każdych  $10^{12}$  atomów  $C^{12}$ .

Dzięki reakcjom chemicznym, jakie bez przerwy zachodzą w atmosferze, węgiel  $C^{14}$  zamienia się w dwutlenek węgla, który jest asymilowany przez rośliny i w postaci związków organicznych jest z kolei spożywany przez zwierzęta. W ten sposób ta sama koncentracja atomów promieniotwórczych  $C^{14}$  ustala się również i w organizmach żyjących. Obecność tych promieniotwórczych atomów  $C^{14}$  w substancji organicznej możemy badać przy pomocy liczników G.-M. specjalnej konstrukcji.



Gdy organizm umiera, ilość atomów węgla  $C^{14}$ , która ulega rozpadowi, przestaje być uzupełniana przez pobieranie pokarmu. Istniejąca za życia równowaga przestaje istnieć i z biegiem czasu koncentracja izotopu  $C^{14}$  w danym szczątku organicznym maleje do połowy po upływie 5700 lat. Z badania więc liczby impulsów w liczniku G.-M pochodzących od rozpadu  $C^{14}$  możemy podać ocenę wieku rozpatrywanej próbki. Można na tej drodze jeszcze oceniać w sposób bezwzględny wiek próbek nie przekraczający około 40 000 lat, przy czym ocena ta jest robiona z tym większą dokładnością im krótszy czas minął od chwili śmierci organizmu, z którego pochodzi dany szczątek organiczny. Tego rodzaju pomiary mają duże znaczenie dla geologii przy badaniu utworów czwartorzędowych i dla archeologii. Metoda ta pozwala nam badać również krążenie wód na dużych głębokościach na dnach oceanów przez pomiar promieniowania  $\beta$  w węglanach w nich zawartych.

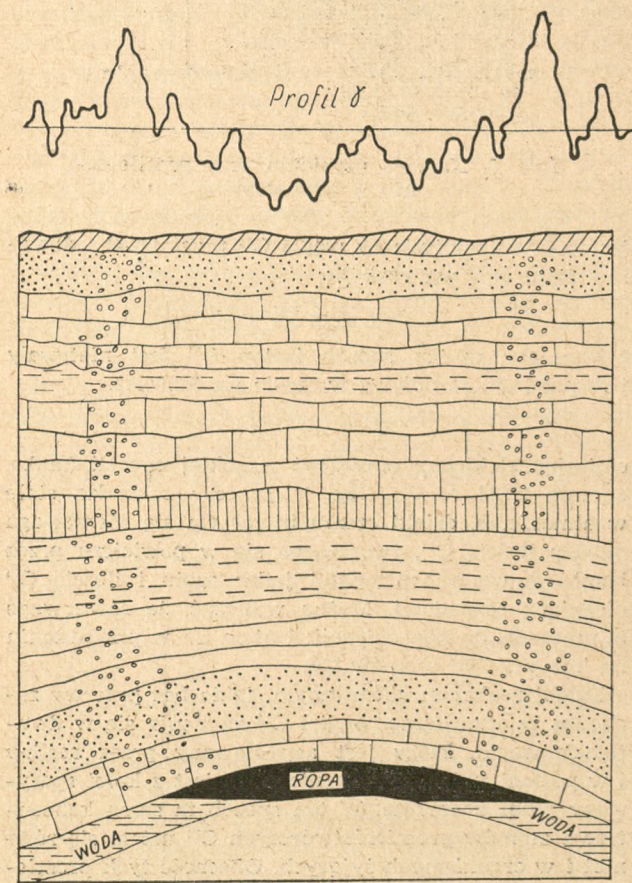
Inne ważne zastosowanie znajduje promieniotwórczość w geologii w metodzie profilowania przy pomocy naturalnych promieni  $\gamma$  otworów wiertniczych dla ustalenia stratygrafii badanego terenu. Z licznych pomiarów przeprowadzonych w ostatnich kilkunastu latach wynika, że większość skał wykazuje na ogół dość charakterystyczne dla siebie na danym terenie domieszki ciał promieniotwórczych, w głównej mierze produktów rozpadu U i Th oraz domieszki  $K^{40}$ . Wiadomo np., że ra ogół piaski, piaskowce, węgiel kamienny, sól kamienna, anhydryt wykazują dość małe domieszki

radioaktywne, natomiast ily, łupki, sole potasowe, charakteryzują się większymi domieszkami pierwiastków promieniotwórczych. Jeśli opuścimy do otworu wiertniczego detektor promieni  $\gamma$ , np. pakiet liczników G. M. odpowiednio dużych rozmiarów (ryc. 5), to przy mijaniu różnych warstw geologicznych będzie on rejestrował rozmaite natężenie promieni  $\gamma$  w zależności od charakteru mijanych skał.

Użyta do rejestracji promieniowania naturalnego  $\gamma$  skał aparatura składa się z dwu zasadniczych części, zapuszczanej do odwiertu sondy i aparatury rejestrującej znajdującej się na powierzchni ziemi. Sonda, umieszczona w hermetycznym stalowym panczerzu, wytrzymałym na wysokie ciśnienie, zawiera poza wspomnianym pakietem liczników G. M. źródło wysokiego napięcia, ok. 1000 V oraz wstępny wzmacniacz impulsów. Impulsy z liczników G. M. przesyłane są po jednej z 3-ch żył zapuszczającego kabla do aparatury rejestrującej, gdzie są wzmacniane, formowane do jednokowego kształtu i przekazywane do obwodu integrującego, wspomnianego wyżej. Miliamperomierz samopiszący kreśli automatycznie krzywą natężenia promieniowania  $\gamma$  skał w funkcji głębokości osiągananej przez sondę. Na krzywej dostajemy charakterystyczne minima i maxima (ryc. 6).

Opisywana tu metoda profilowania naturalnego promieniowania  $\gamma$  może być wykonywana zarówno w otworach niezarurowanych, jak i zarurowanych. Często pozwala w starych otworach, dla których brak dokumentacji technicznej, ustalać stan zarurowania dzięki efektowi absorpcji promieni  $\gamma$  ze skał w żelazie. Stanowi ona uzupełnienie elektrycznej metody profilowania otworów wiertniczych i jest szeroko stosowana na całym świecie.

Uzupełnieniem tej metody jest profilowanie neutronowe odwiertów. Polega ono najczęściej na rejestracji wzbudzonych w przewiercanych skałach bardzo przenikliwych promieni  $\gamma$  wzbudzanych w procesach jądrowych przez neutrony. Ma ono duże znaczenie w poszukiwaniach naftowych. Zasada tej metody jest następująca. Spuszczamy do otworu razem z sondą silne źródło neutronów (np.  $Rn + Be$ ). Neutrony wylatują z tego źródła z bardzo dużą energią (do 14 MeV) i zderzają się z jądrami materii otaczającej źródło. W zderzeniach z jądrami wodoru tracą one dużą część swej energii. Wystarcza około 25 zderzeń z jądrami wodoru, by neutron wychodzący ze źródła stracił swą energię i został w końcu pochłonięty. Jeśli warstwy otaczające źródło neutronów nie zawierają w swym składzie wodoru to neutrony w skale muszą przebiegać długą drogę, zanim zostaną schwyte przez jakieś jądro. Wiele z nich zostanie pochłoniętych w skale w sąsiedztwie detektora promieni  $\gamma$ , którym jest najczęściej licznik G. M. Przy przejściu więc źródła neutronów w pobliżu skał „suchych“, nie zawierających wodoru, licznik rejestruje silne promieniowanie  $\gamma$ , wzbudzone w skale. Przy przejściu źródła neutronów przez skały nasycone wodorem (woda, ropa, gaz ziemny) neutrony zostają szybko spowolnione i zasięg ich w skale jest bardzo mały. Do detektora promieni  $\gamma$  oddzielonego grubą warstwą ołowiu od źródła neutronów, dochodzi minimalna ilość promieni  $\gamma$ . W miejscach tych rejestrujemy charakterystyczne minima na krzywej profilowania. Te



Ryc. 7. Profilowanie powierzchniowe przy pomocy promieni  $\gamma$  nad złożem ropnym.



minima pozwolą nam lokować położenie poziomów ropnych względnie wodnych w odwiertach. Stosuje się również profilowanie neutronowe oparte na rejestracji rozproszonych w skałach neutronów wychodzących z zapuszczanego źródła. Użyte do tych pomiarów źródła neutronów muszą być bardzo silne.

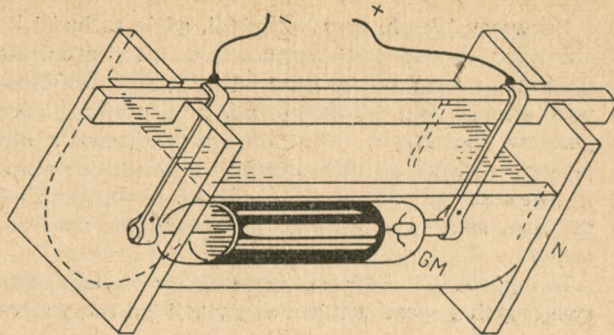
Istnieje również metoda profilowania powierzchniowego, w której licznik do rejestracji promieni  $\gamma$  lub też do rejestracji promieni  $\beta$  przenosi się od jednego płytkiego otworu w ziemi do następnego w całym ciągu rozmieszczonym wzdłuż pewnych linii. Metoda ta nadaje się do wyznaczania uskoków w skałach zalegających płytko pod ziemią. Wzdłuż ewentualnych pęknięć w tych skałach może się wydobywać z głębi radon ze skał bogatych w związki uranu. Wtórne produkty powstające z rozpadającego się radonu, RaB, RaC, RaE nasycają warstwę ziemi znajdującą się nad uskokiem i dają w profilu w poprzek uskoku wyraźne maxima natężenia rejestrowanego promieniowania.

Domieszki radioaktywne w skałach wykorzystuje się do wyznaczania zasięgu złóż ropy naftowej i ich wykrywania. W metodzie tej przenosi się wiązkę dużych liczników G. M. lub licznik scyntylacyjny ponad badanym terenem (np. w helikopterze) i rejestruje się natężenie promieni  $\gamma$  emitowanych przez substancje promieniotwórcze zawarte w ziemi tuż pod powierzchnią. Zaobserwowano, że na obrzeżeniach złóż rejestruje się charakterystyczne maxima natężenia promieniowania  $\gamma$  (ryc. 7). Wynika to ze wzbogacenia warstw powierzchniowych w tych miejscach w domieszki radioaktywne wynoszone z głębi ziemi. Być może to wynoszenie pierwiastków promieniotwórczych pozostaje w związku z migracją lotnych węglowodorów, które dyfundując ku górze muszą omijać znajdującą się nad złożem ropnym strefę zmineralizowaną, nieprzepuszczalną i wydostają się na powierzchnię po obrzeżaniach złoża. W omawianych tu pomiarach otrzymujemy bardzo interesujący profil radioaktywny powierzchniowy badanego terenu. Wykonując szereg takich profili równolegle, możemy narysować kontur złoża, zalegającego głęboko w ziemi, bez uciekania się do wiercenia jakichkolwiek głębszych otworów poszukiwawczych\*.

Należy tu wspomnieć również o metodzie poszukiwania soli potasowych i analizy tych soli na zawartość potasu, opartej na wykorzystaniu promieniotwórczego rozpadu izotopu  $K^{40}$ . Zwykły potas zawiera 0,0119% tego izotopu, który rozpada się do połowy w czasie 1,3 · 10<sup>9</sup> lat, emitując promienie  $\beta$  i promienie  $\gamma$ , zamieniając się bądź na  $Ca^{40}$ , bądź też na  $A^{40}$ . Analiza soli na zawartość ich na potas może być robiona przy pomocy licznika G. M. czułego na promienie  $\beta$ , gdy nie zawierają one domieszek U lub Th, stosunkowo prosto i szybko. Z tych względów metoda ta daje się do powodzeniem stosować w trudnych warunkach terenowych, jeśli zachodzi po temu potrzeba.

## Zastosowania wskaźników promieniotwórczych

Różne odmiany izotopowe tego samego pierwiastka (z wyjątkiem pierwiastków najlżejszych) zachowują się, praktycznie biorąc, jednakowo we wszystkich pro-



Ryc. 8. Badanie ścierania się materiału łożysk przy pomocy licznika G. M. zanurzonego do smaru, pobranego z maszyny.

G. M. licznik Geigera-Müllera, N wanienska napełniona smarem.

cesach fizycznych i chemicznych. Pozwala nam to badać zachowanie się poszczególnych pierwiastków w jakichś interesujących nas procesach przy pomocy dodanych do nich atomów izotopu promieniotwórczego. Te ostatnie dzięki ich zdolności do wysyłania promieni  $\alpha$ ,  $\beta$  lub  $\gamma$  mogą być łatwo śledzone metodami, o których była mowa wyżej. W ten sposób przy pomocy niewielkiej liczby dodanych atomów „naznaczonych” jakiegoś pierwiastka wnosimy o zachowaniu się w danym procesie wszystkich jego atomów. Dzięki temu użycie izotopowych wskaźników daje nam możliwość rozróżniania zachowania się atomów tego samego pierwiastka w różnych ich położeniach w molekułach, badać zachowanie się chemiczne jednakowych substancji w ich mieszaninach ze sobą itp. Wprowadzenie odpowiednich wskaźników izotopowych na określone miejsca do molekuł lub do określonych składników mieszaniny pozwala szczegółowo badać drogi przemieszczania się atomów i cząsteczek podczas reakcji chemicznych, podczas różnych procesów technologicznych itp. Duża czułość i prostota pomiarów radioaktywności pozwalają nam wykrywać ilości interesujących nas pierwiastków, np. jesteśmy w stanie mierzyć z dokładnością 10% ilości fosforu  $P^{32}$  wynoszące 10<sup>-15</sup> grama! Możemy zaś wykrywać jakościowo jeszcze mniejsze ilości tego izotopu. Ten przykład najlepiej charakteryzuje nam czułość omawianej metody.

Badanie różnych procesów przy pomocy wskaźników promieniotwórczych może być przeprowadzane dwójako. Albo do materiału, który ma być badany, dodajemy izotop promieniotwórczy danego pierwiastka, albo też badany materiał bombardujemy neutronami, wzbudzając w nim w ten sposób izotopy promieniotwórcze. Następnie badamy, najczęściej przy pomocy licznika G. M. jak w danym procesie zachowuje się dany izotop promieniotwórczy.

Możliwości technicznych zastosowań izotopów promieniotwórczych, zwanych inaczej izotopami wskaźnikowymi, albo po prostu wskaźnikami promieniotwórczymi, są tak różnorodne, że trudno byłoby je wszystkie wymieniać. Poprzestaniemy na podaniu szeregu najbardziej typowych przykładów.

\* Ta sama metoda jest stosowana do wykrywania pól diamentowych, nad którymi obserwuje się wyraźne minima natężenia promieni.



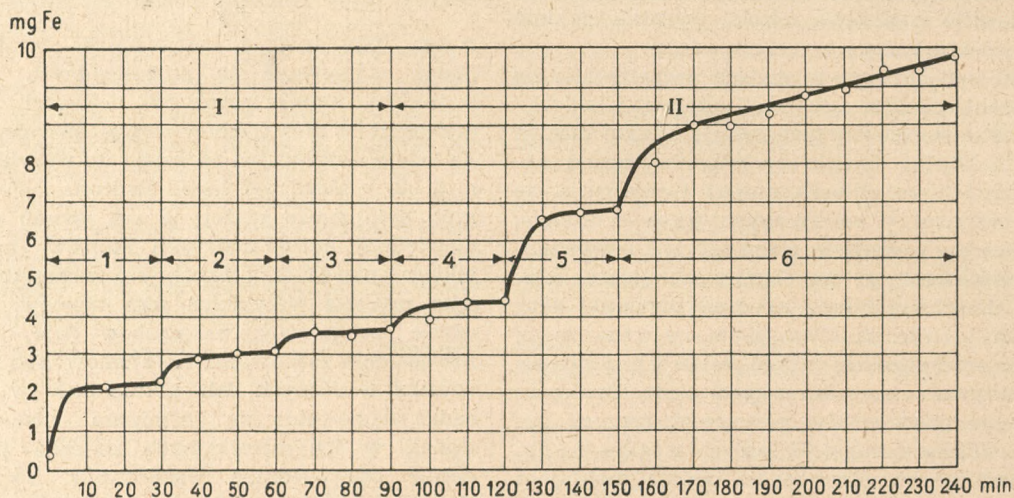
Używamy ich np. przy produkcji, gdzie zachodzi konieczność dokładnego wymieszania dwu substancji sproszkowanych. Chcąc mieć kontrolę równomiernego wymieszania dwu substancji, np. przy produkcji preparatów leczniczych, dodajemy do jednego z nich pewną niewielką ilość izotopu promieniotwórczego pierwiastka wchodzącego w jej skład. Izotop ten zdradzi nam stan wymieszania interesujących nas substancji.

Izotopy  $A^{41}$  i  $Xe^{133}$  są używane w zagadnieniach związanych z opracowaniem wentylacji hal fabrycznych i kopalń. Przez dodatek odpowiednich izotopów wskaźnikowych do różnych gazów szkodliwych dla zdrowia robotników można badać skuteczność rozmaitych urządzeń wentylacyjnych przy rozmaitych procesach fabrykacyjnych.

za pomocą liczników G.-M. lub też metodą autoradiografii. Izotop wskaźnikowy nanosi się na jedną powierzchnię trącą i bada się szybkość przenoszenia się go na drugą powierzchnię.

Ta sama metoda pozwala nam śledzić zużywanie się tarcz z kalibrowanymi otworami do przeciągania drutów dla uzyskania ich określonej średnicy. Bombardujemy tarczę w stosie atomowym neutronami i badamy ścieranie się jej metodą autoradiograficzną, umieszczając drut bezpośrednio na kliszy fotograficznej. Jesteśmy w ten sposób w stanie wykrywać  $10^{-10}$  grama materiału tarczy na długości 1 cm drutu. Można w ten sposób badać, czy ścieranie zachodzi równomiernie na całym obwodzie otworu, czy zachodzi w sposób ciągły, czy też skokami.

Metoda ta daje możliwość dobierania najodpowiedniej-



Ryc. 9. Krzywa ścierania się pierścienia uszczelniającego tłok w jednocylindrowym motorze, w zależności od czasu w różnych warunkach pracy. I bieg luzem, II bieg z obciążeniem. 1)  $l-n = 1000$  obr/min., 2)  $-n = 1500$  obr/min., 3)  $n = 2000$  obr/min., 4)  $M = 2,9$  KM,  $n = 2000$  obr/min., 6)  $M = 3,0$  KM,  $n = 2000$  obr/min.

W technologii budowy maszyn i obróbki metali bada się przy pomocy izotopów promieniotwórczych ścieranie się powierzchni ślizgających się po sobie (ryc. 8), bada się zużycie różnych części w motorach, np. tłoków, pierścieni uszczelniających tłoki (ryc. 9), cylindrów, łożysk, bada się ścieranie się noży tokarskich itp. Dotychczasowe metody badania zużycia się tych części przy pomocy mikrometrów i dokładnego ważenia są bardzo kłopotliwe, zajmują dużo czasu, wymagają zużycia dużych ilości materiałów i prowadzą w rezultacie do wyników bardzo niepewnych. Dopiero zastosowanie wskaźników izotopowych daje szybkie i jednoznaczne rezultaty. Zaletami tej metody są:

1. Wysoka dokładność oceny zużycia się,
2. możliwość pomiaru zużycia się równocześnie kilku części podczas ich pracy, bez potrzeby rozbierania maszyn, co umożliwia badanie wpływu na ścieranie rozmaitych czynników.

Możemy w ten sposób badać dla maszyn, w zależności od ich obciążenia, temperatury pomieszczenia itp. najkorzystniejszy skład smaru przy danym materiale użytym na osie i łożyska itp. Badania przeprowadzamy

szczych materiałów na trące się części maszyn dla danych warunków pracy i na odwrót, pozwala ona dla danych maszyn ustalić najkorzystniejsze warunki pracy, by przedłużyć ich żywot.

Przy wyborze wskaźników promieniotwórczych należy pamiętać, by były spełnione następujące warunki:

1. W większości wypadków ważne jest, by wprowadzony izotop nie różnił się swymi własnościami chemicznymi od jednego z pierwiastków wchodzących w skład trących się części (najlepiej, by był to izotop jednego z tych pierwiastków), by był rozdzielony równomiernie z głębokością i nie tworzył niepożądanych związków chemicznych z metalami trących się powierzchni.

2. Najkorzystniej jest używać izotopów o okresie połowicznego rozpadu nie krótszym od 10 dni. W koniecznych wypadkach, gdy dobrze jest zorganizowana dostawa izotopów, mogą być używane również metale radioaktywne o okresie połowicznym ok. 1 dnia.

3. Dany izotop wskaźnikowy winien dawać odpowiedni typ promieniowania, by w przeprowadzanej



próbie mogło ono być mierzone z jak największą wydajnością.

Metoda izotopów promieniotwórczych znalazła duże zastosowanie w metalurgii. Wprowadzając izotopy promieniotwórcze fosforu, siarki, manganu itp. do szlaki, można badać szybkość przechodzenia tych pierwiastków do metalu stopionego. Daje to możliwość badania szybkości ustalania się równowagi dla tych pierwiastków między metal i szlakę, oraz ich rozkład między metal i szlakę w stanie równowagi przy różnych temperaturach pieca. Pozwala to w ten sposób dobrać najkorzystniejsze warunki do wytopu stali o najwyższej jakości.

Na tej drodze możemy badać rozpuszczalność wapnia, miedzi i innych metali w żelazie, możemy badać przechodzenie do żelaza zanieczyszczeń ze szlaki i z obmurowania wewnętrznego pieca hutniczego. Pozwala to na opracowanie metod uzyskiwania najczystszych metali, często potrzebnych dla zastosowań w nowoczesnej technice.

Przy pomocy izotopów promieniotwórczych bada się przemiany fazowe różnych metali, prowadzi się obserwacje nad wzrostem kryształów, nad procesem hartowania, spalania się metalu przy jego obróbce cieplnej itp. Przeprowadza się, nie dające się przeprowadzić na innej drodze, badanie szybkości samodyfuzji metalu w metal, która zasadniczo wpływa na szybkość i charakter zmian strukturalnych przy obróbce cieplnej stopów. Zbadano np. że w temperaturze 700 °C szybkość samodyfuzji w żelazie  $\alpha$  jest 660 razy większa niż w żelazie  $\gamma$ .

Wyjaśnione zostało, że przy produkcji koksu jednako zachowuje się siarka pochodzenia organicznego i nieorganicznego. Przez dodatek do węgla izotopu  $C^{14}$  można było przestudiować najkorzystniejsze warunki otrzymywania produktów suchej destylacji węgla. Węgiel  $C^{14}$  znalazł też ważne zastosowanie przy badaniu procesu cementacji żelaza dla uzyskania odpowiedniej jego twardości na powierzchni.

Metoda ta może się poszczycić ciekawymi rezultatami w dziedzinie badań nad wzbogacaniem minerałów i rud na drodze tzw. flotacji. Ciekawe też są wyniki w przemyśle włókien sztucznych, przy badaniu procesu wulkanizacji kauczuku itp.

Duże zastosowania znajduje ta metoda w agrotechnice. Bada się przy jej pomocy przyswajanie przez rośliny nawozów sztucznych w zależności od ich koncentracji, składu chemicznego, sposobu wprowadzenia do gleby, własności tej gleby, nasłonecznienia itp. Badania te przeprowadza się na ogół metodą autoradiografii przez przykładanie sprasowanych roślin do klisz fotograficznych. Zastosowanie znajduje ta metoda w studiach nad dobraniem właściwej paszy dla zwierząt domowych, w szczególności interesujące są tu badania nad koniecznymi dodatkami do pasz rozmaitych śladowych pierwiastków, jak J, Cu, Co, Fe i innych.

Metoda ta święci tryumfy w dziedzinie chemii. Wymienimy tylko najważniejsze zagadnienia, które są rozwiązywane przy jej pomocy, jak:

1. Badanie równowagi w reakcjach chemicznych,
2. Badania nad reakcjami katalitycznymi,
3. Badania odnoszące się do studiów nad budową molekuł złożonych z większej liczby atomów.
4. Badania w dziedzinie analizy chemicznej, np. badania rozpuszczalności trudno rozpuszczalnych soli w wodzie, wody w węglowodorach i w tłuszczach, badania zupełności rozdziału substancji przy analizach chemicznych, wykrywanie śladowych domieszek w różnych ciałach, jak fosforu i siarki w tkaninach i papierze, miedzi w srebrze, irydu w platynie itp.

Przytoczone wyżej przykłady w dostatecznej mierze dowodzą, jak ważną dziedziną wiedzy jest nauka o promieniotwórczości, której rozwój zapoczątkowały prace odkrywcy naszej wielkiej rodaczki Marii Skłodowskiej-Curie. Potwierdzają też one dobitnie słusność dobrze znanego powiedzenia, że fizyka dzisiaj jest techniką jutra.

## TADEUSZ GODLEWSKI — ODKRYWCA AKTYNU X

Tadeusz Godlewski urodził się we Lwowie 4. stycznia 1878 jako najmłodszy syn wielkiego fizjologa Emila Godlewskiego (Starszego), jednego z najwybitniejszych polskich przyrodników, ówczesnie profesora Akademii Rolniczej w Dublinach. Studia gimnazjalne odbył w Krakowie, po czym zapisał się na wydział filozoficzny Uniwersytetu Jagiellońskiego, poświęcając się studiom fizyki i chemii, ze szczególnym uwzględnieniem rozwijającej się dziedziny elektrochemii. Pierwszą jego pracą drukowaną była rozprawa zamieszczona we *Wszechświecie* pt. *O unoszeniu elektryczności przez parę* (*Wszechświat* XVIII, 1899, str. 789—792, 805—807). Stopień doktora filozofii uzyskał w r. 1903 na podstawie pracy *O ciśnieniu osmotycznym niektórych roztworów obliczonym na podstawie sił elektromotorycznych ogniw koncentracyjnych*, która została zamieszczona w *Rozprawach Akademii Umiejętności*.

Po uzyskaniu doktoratu udaje się Tadeusz Godlew-

ski (1903) do Szwecji, do Instytutu Svante Arrheniusa, znakomitego chemika i fizyka, twórcy teorii dysocjacji elektrolitycznej, stanowiącej jedną z podstaw nowoczesnej chemii fizycznej. Wynikiem rocznego pobytu w Sztokholmie jest praca o dysocjacji elektrolitów alkoholowych.

Badania ciał promieniotwórczych, zapoczątkowane przez Bequerela, a następnie rozwinięte przez Marię Skłodowską-Curie i jej męża Piotra Curie, stały się podstawą rewolucyjnej teorii rozpadu atomowego, ogłoszonej w r. 1903 przez badaczy angielskich Rutherforda i Soddego. Nowa teoria otwierała dla rozwoju chemii i fizyki niezmiernie horyzonty, pociągając wielu młodych badaczy, którzy poświęcili się tej dziedzinie wiedzy. Należał do nich i Godlewski, którego pełen entuzjazmu temperament zdecydował o wyjeździe za ocean, by w Montrealu pod kierownictwem Ernesta Rutherforda rozpocząć twórczy okres pracy naukowej.

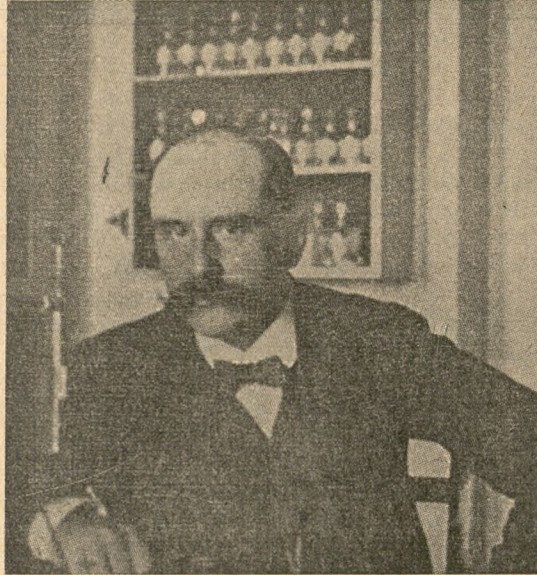


Prace Godlewskiego w Kanadzie obejmują badania szeregu aktywnego, którym zajął się na propozycję Rutherforda. Badania Debierna'a i Giessla wykazały, że blenda uranowa zawiera ciało promieniotwórcze, które posiada własność wytwarzania emanacji o bardzo krótkim okresie życia. Ciało to zostało nazwane przez Debierna'a aktywnem, a przez Giessla — emanium. Badania Godlewskiego wykazały, że emanacja nie zostaje wytwarzana przez sam aktywn, lecz przez krótkowieczny pierwiastek, który nazwał aktywnem X (AcX). Ten właśnie aktywn X jest głównym źródłem promieniowania aktywnu. Z badań tych wynika także analogia zachowania się szeregu toru i aktywnu. W zakres pracy Godlewskiego weszło oznaczenie okresu połowicznego zaniku nowego pierwiastka, zbadał on również naturę jego promieniowania. Praca ta została ogłoszona w r. 1905 w Sprawozdaniach Akademii Umiejętności pt. *Aktywn i jego produkta*. Druga praca, wykonana również w pracowni Rutherforda, odnosiła się do rozdziałania uranu i uranu X drogą frakcyjnej krystalizacji; w pracy tej Godlewski wyjaśnił pewną anomalie zaobserwowaną przez Meyera i Schweidlera. Praca ta została ogłoszona również w Sprawozdaniach Akademii Umiejętności pt. *O niektórych własnościach promieniotwórczych uranu*. W tym samym roku (1905) ogłosił w *Kosmosie* artykuł pt. *O budowie i rozpadaniu się atomów*, a w czasopiśmie „*Philosophical Magazine*“ *O aktywnie i jego promieniowaniu*.

Po powrocie do kraju i habilitacji z fizyki zostaje powołany w r. 1906 na katedrę fizyki w Politechnice Lwowskiej. Niestety, w pracowniach pozbawionych nowoczesnych urządzeń nie znalazł warunków dla kontynuowania swych tak świetnie rozpoczętych prac. Parę lat ubiegło, zanim ze szczupłych dotacji potrafił przystosować pracownię do badań promieniotwórczości i zdobyć konieczny materiał wyjściowy do badań. Pracownia prof. Tadeusza Godlewskiego była pierwszą

na ziemiach polskich placówką dla badania zjawisk promieniotwórczych.

Wynikiem tych badań, wykonanych we Lwowie, były prace ogłoszone w r. 1913 i 1914 *O roztworach produktów promieniotwórczych i O działaniu koloidów na produkta promieniotwórcze w roztworach*. Prace te zostały przerwane wskutek wojny. W czasie pobytu w Wiedniu przeprowadził w tamtejszym Instytucie Radiologicznym badania nad wnikaniem cząstek aktywnego depozytu w płyty aktywowane w emanacji.



Prof. Tadeusz Godlewski (Wiedeń 1916)

W przełomowym roku 1918/19 zajmuje stanowisko rektora Politechniki, w której poprzednio przez dwa lata pełnił funkcje dziekana wydziału chemicznego. Zmarł przedwcześnie, w pełni sił jako ofiara nauki wskutek chronicznego zatrucia się w swym laboratorium w czasie badań katodowego rozpylania metali promieniotwórczych, których już nie było Mu danym doprowadzić do końca.

Spuścizna prof. Tadeusza Godlewskiego obejmuje ok. 30 prac i referatów naukowych. Nazwisko jego weszło

trwale do literatury naukowej w dziedzinie promieniotwórczości. W r. 1916 otrzymał nagrodę Akademii Umiejętności za prace z dziedziny fizyki, w r. 1920 został członkiem Tow. Naukowego we Lwowie i członkiem Akademii Nauk Technicznych w Warszawie, w r. 1921 członkiem Polskiej Akademii Umiejętności.

Prof. Godlewski odznaczał się wielkim entuzjazmem do pracy naukowej i dużym urokiem osobistym, co podkreślał m. in. jeden z badaczy zagranicznych, który w angielskiej „*Nature*“ (1922, 361) zamieścił wspomnienie pośmiertne, stawiając nazwisko Tadeusza Godlewskiego obok nazwisk Olszewskiego, Rudzkiego, Danysza i Smoluchowskiego. Polska nauka utraciła w nim — jak się wyraził jeden z jego następców na stanowisku rektora Politechniki — „Człowieka miary zgoła niepowszedniej“.

KAZIMIERZ MAŚLANKIEWICZ (Kraków)

#### KOMUNIKAT KOMISJI SŁOWNICTWA BIOLOGICZNEGO

Powołana przez Sekretariat Naukowy Prezydium Polskiej Akademii Nauk Komisja Słownictwa Biologicznego rozpoczyna prace przygotowawcze do wydania

#### Polskiego ogólnobologicznego słownika terminologicznego.

W związku z powyższym Komisja zwraca się do wszystkich osób i placówek naukowych, będących w posiadaniu jakichkolwiek materiałów, opracowań i informacji, odnoszących się do słownictwa biologicznego, z uprzejmą prośbą o przekazanie ich do dyspozycji Komisji, która je wykorzysta przy redagowaniu słownika.

Autorstwo materiałów i opracowań zostanie uwidocznione, a materiały i opracowania przyjęte przez Komitet Redakcyjny będą honorowane. Osoby, które nadały materiały, mogą być powoływane do zespołów redakcyjnych.

Wszelkie materiały jak: hasła, instrukcje, regulaminy, notatki metodyczne, wzory itp., należy nadsyłać — bez uprzedniego uporządkowania ich, przepisywania itp. — pod adresem: Polska Akademia Nauk, Ośrodek Bibliografii i Dokumentacji Naukowej. Warszawa, Nowy Świat 72 — Pałac Staszica.

Z-ca Sekretarza Naukowego  
Wydziału Nauk Biologicznych

(—) Prof. dr Włodzimierz Michajłow





Tom XXIX. Nr 10

1910 r.

### O Polonie

Wiadomo, że w szeregu ciał nowych, silnie promieniotwórczych polon był najpierw odkryty. Dużo usiłowań już poniesiono, ażeby wydzielić to ciało i scharakteryzować je jako pierwiastek chemiczny, ale jakkolwiek otrzymywane produkty posiadały bardzo wysoką aktywność, rezultat ostateczny nie został jeszcze osiągnięty. Teoria przemian radioaktywnych przewiduje, że w minerałach promieniotwórczych zawarta ilość polonu musi być bardzo znaczna. Według tej teorii polon jest pochodną radu i stosunek wzajemnych ilości tych ciał do siebie w stanie równowagi radioaktywnej jest równy stosunkowi pomiędzy średnimi czasami trwania ich życia. Ponieważ czas średni życia radu jest około 5300 razy dłuższy od życia polonu, a rad jest zawarty w uranie smolistym w ilości mniej więcej 0,2 g na tonę, minerał ten zatem nie może zawierać w tonie więcej niż 0,04 mg polonu.

Wiele zagadnień nadzwyczaj ważnych w dziedzinie promieniotwórczości wiąże się z wydzielaniem polonu w stanie czystym. Ciało to jest pierwiastkiem nietrwałym, przedstawiającym ostatni wyraz promieniotwórczy w szeregu pochodnych radu, można więc oczekiwać, że, wychodząc z polonu, będziemy mogli wykazać tworzenie się pierwiastka nieczynnego. Oprócz tego, ponieważ polon wysyła promienie  $\alpha$  powinien więc być źródłem powstawania helu; ale tworzenie się helu z polonu dotychczas nie mogło być zauważone i ważną rzeczą byłoby stwierdzić, czy tutaj rzeczywiście zachodzi fakt niezgodny z teorią.

Świeżo podjęliśmy robotę chemiczną, mającą na celu przygotowanie preparatu polonowego w stanie bardzo wielkiego stężenia. Użyliśmy do tego kilka ton pozostałości po wydobyciu uranu, którymi mieliśmy możliwość rozporządzać. Masa mineralna była traktowana gorącym, dość stężonym roztworem chlorowodoru, czego następstwem było rozpuszczenie prawie całkowitej zawartości polonu. Roztwór nie zawierający w sobie radu był w fabryce poddany postępowaniu prowadzącemu do wydzielania ciała czynnego. Postępowanie to przeprowadzone pod naszym kierunkiem, i którego opis znajduje się w innej, obszerniejszej rozprawie, dostarczyło około 200 g substancji z promieniotwórczością przewyższającą 3500 razy aktywność uranu. Substancja ta zawierała przeważnie miedź, bizmut, uran, ołów, arsen; aktywność swoją zawdzięczała polonowi. Usiłowaliśmy oczyścić tę substancję przez postępowanie wykonane już w pracowni.

W tym celu roztwór w kwasie chlorowodorowym został strącony amoniakiem, ażeby uwolnić mieszaninę od miedzi. Osad wodorotlenków był gotowany z roztworem  $\text{NaHO}$  w celu rozpuszczenia ołowiu. Pozostałość wytrawiono gorącym roztworem węgla amonowego dla rozpuszczenia uranu. Wszystkie te czynności powtarzano kilkakrotnie. Otrzymane w końcu węglany nierozpuszczalne w wodzie rozpuszczono w kwasie solnym, a roztwór traktowano chlorkiem cynawym. Całość tego postępowania okazała się bardzo skuteczna, gdyż aktywność pierwotną odznaleźliśmy w osadzie ostatecznym w ilości wystarczającej zupełnej, o czym upewniliśmy się za pomocą odpowiednich oznaczeń.

Osad ważący około 1 g rozpuszczono na nowo w kwa-

sie solnym, a roztwór strącono za pomocą siarkowodoru; otrzymaną mieszaninę siarczków przemywano siarczkami sodu; pozostałość rozpuszczono ponownie i znowu traktowano chlorkiem cynawym; otrzymano osad, ważący kilka miligramów. Rozbiór widmowy, dokonany z tym osadem, wykazał w nim obecność różnych pierwiastków: rtęci, srebra, cyny, złota, palladu, rodu, platyny, ołowiu, cynku, baru, wapnia, glinu. Źródłem niektórych z nich musiał być materiał naczyń użytych. Próbując oczywiście materię aktywną spotkaliśmy się z wielkimi trudnościami i przckonaliliśmy się, że jest rzeczą bardzo trudną otrzymać substancję złożoną bez straty. Podobnie, usiłując oddalić ołów za pomocą alkaliów, stwierdziliśmy, że polon w znacznej części przechodzi także do roztworu, gdy te same metody oddzielania można używać bez niebezpieczeństwa w obecności ciał nierozpuszczalnych w tych warunkach. Z roztworu alkalicznego polon można wydzielić tylko za pomocą siarczku potasowca. Reakcjami, które nigdy nie zawodzą, okazały się jedynie: strącenie w postaci siarczku czy to z roztworu kwaśnego, czy też zasadowego i strącenie za pomocą chlorku cynawego. Poznaliśmy także, że polon osadza się bardzo łatwo przez elektrolizę i że sposób ten może być użyty w celu wydzielenia ilościowego polonu z roztworu kwaśnego. Lecz jednocześnie osadzają się też i metale takie, jak złoto, platyna, rtęć itd. Po licznych próbach aktywność pierwotna została skoncentrowana na dwu mniej więcej miligramach substancji.

Aktywność była mierzona za pomocą metody elektrycznej. W tym celu bardzo mała, lecz znana część roztworu była odparowana na blasze szklanej; oznaczano w wartości absolutnej prąd nasycenia, otrzymany z tą blaszką w odpowiednim przyrządzie mierzniczym. Znając wartości ładunku jednego jonu gazowego ( $4,7 \cdot 10^{-10}$  jednostki E. S.) i liczbę jonów, wytworzonych przez cząstkę  $\alpha$  polonu w ciągu całkowitego jej przebiegu (około  $1,6 \cdot 10^5$ ), możemy obliczyć ilość cząstek  $\alpha$  wysyłanych w ciągu sekundy. Znając oprócz tego szybkość rozpadania się polonu (zmniejszenie do połowy po dniach 140) oraz liczbę cząsteczek, zawartą w granocząsteczce (około  $6 \cdot 10^{23}$ ), można obliczyć ilość polonu, którego ciężar atomowy przyjmujemy za bliski 200. Można także obliczyć objętość helu tworzącą się w danym czasie, przyjmując, że każda cząstka  $\alpha$  jest jednym atomem helu.

Znaleźliśmy takim sposobem, że otrzymana ilość polonu wynosiła około 0,1 mg, to jest tyle, ile według teorii znajdować się powinno w dwu mniej więcej tonach dobrego uranu smolistego. Nasz preparat promieniotwórczy mógł tedy zawierać w sobie kilka odsetek polonu czystego, tak że rozbiór widmowy mógł być z nim przedsięwzięty z pewnymi widokami powodzenia. Otrzymaliśmy i odfotografowaliśmy kilka widm iskrowych; niestety, każde takie doświadczenie pociąga za sobą znaczną stratę substancji.

Widma mają widok skomplikowany — widoczna jest w nich obecność wielu pierwiastków: złota, platyny, rtęci, palladu, rodu, irydu. W niektórych stwierdzono metale z gromady wapniowców, pochodzące zapewne z materiału naczyń i dające się usunąć przez elektrolizę. Po uważnym rozpatrzeniu rozmaitych widm i najściślej jak można identyfikacji linii, których długość fali jest znana (z tablic Exnera i Hascheka oraz Watta), a także na zasadzie porównania z widmami, otrzymanymi w tym samym spektrografie, znaleźliśmy kilka linii, które z pewnym prawdopodobieństwem mogą być przypisane polonowi. Długości fal tych linii są następujące:

Słabej — 4642,0; dość mocnej — 4170,5; słabej — 3913,6; bardzo słabej — 3652,1.

Inne linie są wątpliwe, a mianowicie:

Średnia, być może przypadkowa (parasite) — 4651,5; średnia, może identyczna z linią 3961,7 glinową — 3961,5; słaba może identyczna z 3668,6 platynową — 3668,5.

Ścisłość pomiarów była dość dobra; błąd nie przewyższa zapewne 0,3 jednostki Ångstroema. W identy-



fikacji linii opieraliśmy się nie tylko na długości fali, ale i na względnym natężeniu.

Zamierzamy zbadać widmo ponownie, kiedy polon ulegnie już rozpadowi, co pozwoli nam powziąć mniemanie ostateczne o przynależności wyżej wymienionych linii. Mamy też nadzieję, że wtedy ukaże się widmo pierwiastka powstałego z polonu. Według teorii pierwiastkiem tym mógł być ołów; ołów nie jest całkowicie nieobecny w naszym preparacie, ale widmo jego jest w nim bardzo słabe.

Stwierdziliśmy, że otrzymana przez nas substancja aktywna nie daje początku promieniotwórczości indukowanej ani dającej się ocenić emisji promieni przenikliwych. Zauważyliśmy nadzwyczaj minimalne wydzielanie emanacji radowej.

Część roztworu została zużyta na poszukiwania nad wydzielanymi gazami. Roztwór ten był umieszczony w rurce kwarcowej, a z nią razem — w przyrządzie, który można było całkowicie opróżnić z powietrza. Roztwór wydziela dużo gazu; łatwo zauważyć w nim nieprzerwane wytwarzanie się pęcherzyków gazowych, dowodzących rozkładu wody; rozkład ten przypisać należy działaniu promieni  $\alpha$  polonowych. Wytworzone gazy są prawie całkowicie pochłaniane przez potaż gryzący i bezwodnik fosforowy po przeprowadzeniu przez warstwę rozżarzonej miedzi i tlenku miedziowego. Drobną pozostałość gazowa została zebrana i zbadana (przez p. Debiernę'a) z użyciem metody używanej do badania gazów wydzielanych przez rad i aktywny. Pozostałość ta była helem, o ile się zdaje, czy-

stym, którego widmo całkowicie było rozpatrzone i objętość zmierzona. Objętość po 100 dniach zbierania się gazu wynosiła 1,3 mm<sup>3</sup> pod ciśnieniem atmosferycznym, była więc bardzo bliska przewidywanej przez teorię i obliczonej na 1,6 mm<sup>3</sup>. A zatem fakt wytwarzania helu z polonu w granicach przewidywanej ilości został ustalony. Mamy zamiar najściślej jak można oznaczyć tę objętość w związku z liczeniem wysyłanych cząstek  $\alpha$  tak ażeby można było otrzymać liczbę molekuł zawartą w granocząsteczce. Ta metoda bezpośrednio wydaje się szczególnie odpowiednia w razie użycia roztworu polonu, gdyż cząstki  $\alpha$  w tym przypadku mogą być bardzo kompletnie przez ciecz pochłaniane.

Podczas tych doświadczeń zauważyliśmy pewne ciekawe działanie promieni. Otóż kiedy preparat polonowy był przechowywany w stanie suchym w naczyniach kwarcowych, na ściankach tych naczyń okazywały się liczne spękania w sąsiedztwie samej substancji. Przyczyny tych szczelinek szukać należy w wyładowaniach elektrycznych.

W sąsiedztwie preparatu zauważyć można obfite wytwarzanie się ozonu.

Komunikat p. Curie i p. Debiernę'a, przedstawiony na posiedzeniu Akademii nauk ścisłych w Paryżu 14 lutego r. b. przez p. Lippmanna.  
(podał Ka-Mar)

## RECENZJE

KOSMOS — Seria B: *Przyroda Nieożywiona*. Rok I. Zeszyt 1. Warszawa 1955, PWN.

Pierwszy zeszyt tego nowego wydawnictwa Pol. Tow. Przyrodników im. Kopernika, pozostającego pod redakcją prof. L. Infelda, poświęcony został XX rocznicy śmierci Marii Skłodowskiej-Curie. Artykuły do tego zeszytu zostały zaczerpnięte głównie z sesji naukowej Polskiej Akademii Nauk, która odbyła się w dniach 6, 7 i 8 października 1954 r. w Warszawie.

Na treść I zeszytu *Kosmos* złożyły się artykuły: J. Dembowskiego *Przemówienie inauguracyjne Sesję Naukową PAN, Ireny Joliot-Curie* *Życie i dzieło Marii Skłodowskiej-Curie*, E. Cotton *Moje wspomnienia o Marii Skłodowskiej-Curie*, I. Joliot-Curie *Co wnosi promieniotwórczość do poznania świata*, M. Danysza *Promieniowanie kosmiczne w badaniach cząstek elementarnych*, L. Rosenfelda *O modelach jądrowych*, J. Rayskiego *Zagadnienie systematyzacji cząstek elementarnych*, E. Brody *Nowe prace nad otrzymywaniem i zastosowaniami promieniotwórczych związków węgla*, W. Baranowa *Odkrycie promieniotwórczości przez Marię Skłodowską-Curie i rozwój radiogeologii w ZSRR*, A. Lacasagne *Zastosowanie radu w biologii i medycynie*, F. Łukaśzczyka *Znaczenie prac Marii Skłodowskiej-Curie dla medycyny*.

Ponadto I zeszyt nowego pisma poświęconego przyrodzie nieożywionej, którego celem jest przedstawienie zagadnień nauki współczesnej od matematyki i fizyki poprzez chemię, mineralogię do nauk o Ziemi oraz stworzenie terenu dla dyskusji ideologicznej podstawowych zagadnień nauki, zawiera kronikę naukową i recenzję oraz artykuł K. Maślankiewicza *Ura-nowe minerały curit, skłodowskit i kuproskłodowskit*.

Luise Marie Schmied: *Die magischen Strahlen*. Lebensweg einer Forscherin. Verlag Neues Leben, Berlin 1955 (str. 111).

Jest to niewielka książeczka o życiu Marii Skłodowskiej-Curie oraz jej osiągnięciach w dziedzinie promieniotwórczości. Autorka oparła się na pracach źródłowych, w pierwszym rzędzie niewątpliwie na biografii pióra Ewy Curie, córki Marii Skłodowskiej-Curie. Liczne dialogi, wtrącone w opowiadanie o życiu Marii Skłodowskiej-Curie, ożywiają zarys życia przedstawiony w wierny i przystępny sposób. Zamieszczone na osobnych kredowych tablicach fotografie stanowią cenne uzupełnienie tej pierwszej w języku niemieckim książki biograficznej o Marii Skłodowskiej-Curie.

m.

# WSZECHŚWIAT

Redaktor naczelny: Stanisław Skowron, z-ca nac. red.: Kazimierz Maślankiewicz, redaktorzy działów: Franciszek Górski i Józef Hurwic, sekretarz redakcji: Kazimierz Maroń

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE, DZIAŁ CZASOPISM, Warszawa 1, Krakowskie Przedmieście 79. Nakład 10.101+017 egz. Format A4, 61×86, ark. wyd. 5,1, druk. 5,0 papier ilustrac. 70 g kl. V, 0,5 papier kredowy 90 g. Cena zł 8.— Otrzymano do składania 16. VIII. 1955. Podpisano do druku 28. X. 1955. Zamówienie 343. M-6-3308 Druk. ukończ. w listopadzie 1955. KRAKOWSKA DRUKARNIA NAUKOWA, KRAKÓW, ul. CZAPSKICH 4.