

Rozdział III. Fizyka jądrowa i cząstki elementarne

3.1. W poszukiwaniu elementarnego składnika

Koniec XIX wieku obfitował w odkrycia fizyczne. W listopadzie 1895 roku Wilhelm Röntgen odkrył „niewidzialne” promienie, które w rzeczywistości są falami elektromagnetycznymi, tylko że o małej długości fali (rzędu Å), czyli o energii fotonów rzędu keV. Promienie Röntgena mają wszechstronne zastosowania – od medycyny i stomatologii, do badania materiałów, sprawdzania bagaży na lotniskach i prześwietlania egipskich mumii. W szczególności, jak to pokazaliśmy na fot. 2.35 promienie Röntgena mogą służyć do obrazowania pojedynczych atomów, a nawet orbitali elektronów w tych atomach.

W 1897 roku „oficjalnie” przez J. J. Thompsona został odkryty elektron, a dokładniej zmierzony stosunek e/m jego ładunku e do masy m . Zastosowana przez Thompsona metoda, odchyłania wiązki elektronów przez pole elektryczne i magnetyczne jest stosowana w kineskopach telewizyjnych (tj. odbiornikach TV starszego typu). Metoda Thompsona stosowana jest nadal w spektrometrach masowych, zob. fot. 2.17, elektron zaś pozostaje jedną z niewielu cząstek naprawdę niepodzielnych. Nie są takimi niepodzielnymi cząstkami atomy¹, z których potrafimy odłączyć elektrony.

W tym samym czasie, gdy odkrywano elektron i promienie Röntgena, w lutym 1896 roku Henri Becquerel zauważył, że papier fotograficzny leżący w pobliżu soli uranu uległ częściowemu zaczernieniu. Zaczernienie to nie było spowodowane światłem, jako że papier fotograficzny był od światła osłonięty. Zainteresowania naukowe Henri Becquerela były bardzo szerokie; po kilku latach prace nad nowymi promieniami, jako mało obiecujące zlecił swojej doktorantce, Marii Skłodowskiej.

3.2. Pracowita doktorantka

Maria Skłodowska (1867-1934) w wieku 10 lat straciła matkę, co nie przeszkodziło jej skończyć szkołę średnią ze złotym medalem. Do wieku 24 lat pracowała jako prywatna nauczycielka w bogatych rodzinach (w Warszawie, Lublinie, Sopocie). W tamtych czasach kobiety nie mogły studiować na Uniwersytecie Warszawskim (pod zaborem rosyjskim) wyjechała więc do siostry Broni do Paryża i tam podjęła studia na Sorbonie. W ciągu dwóch lat ukończyła, jako pierwsza ze swego rocznika licencjat z fizyki, rok później z matematyki. Wróciła do Warszawy, ale latem 1895 roku przyjęła oświadczyzny Pierre’a Curie i wyszła za niego za mąż, zob. fot. 3.1. Pierre, profesor w Szkole miejskiej Fizyki i Chemii Przemysłowej w Paryżu był już w tym czasie uznanym naukowcem².

Maria w 1897 urodziła córkę i podjęła studia doktoranckie. W odróżnieniu od innych badaczy zajmujących się promieniami Becquerela podjęła prace ilościowe, nie tylko jakościowe nad tym zjawiskiem. Aby ocenić „intensywność” promieniowania, mierzyła bardzo małe prądy elektryczne, przepływające w gazie w obecności związków uranu; korzystała z elektrometru skonstruowanego przez męża. Już w marcu 1898 roku zauważyła³, że rudy uranu są bardziej aktywne niż czysty uran, zob. ryc. 3.2. Pracując dalej z mężem i

¹ Grecki *a-tomos*, czyli nie-podzielny.

² Pierre Curie odkrył m.in. że ścisłany kwarc elektryzuje się i że substancje magnetyczne (tzw. ferromagnetyki) jak nikiel i żelazo tracą swe własności w temperaturach kilkuset stopni Celsjusza. Pierwsze zjawisko, tzw. efekt piezoelektryczny zapewnia stabilizację częstości pracy komputerów, telefonów komórkowych itd.

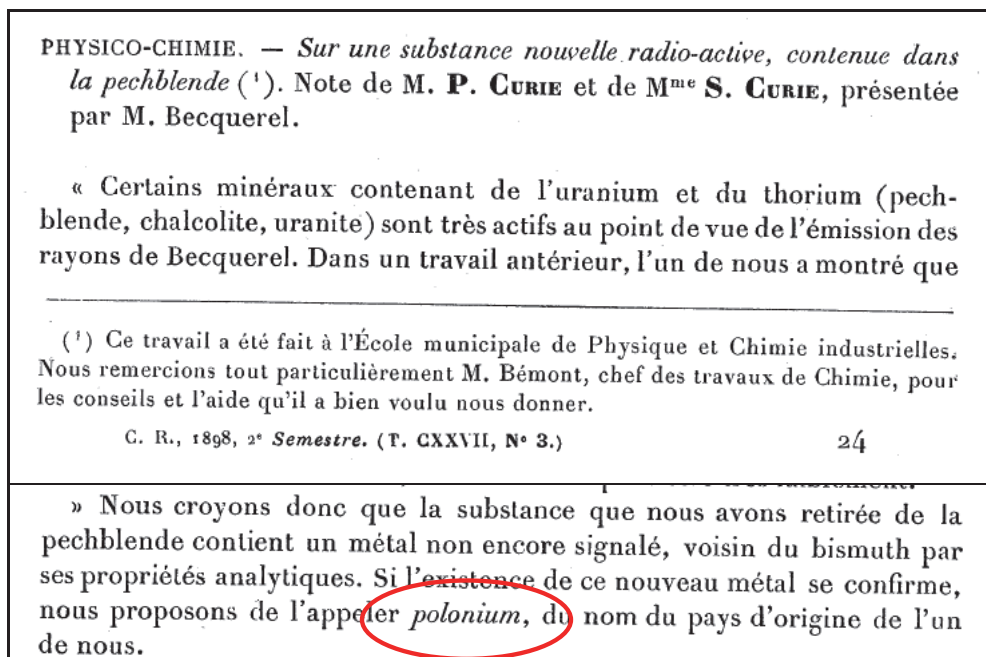
³ *Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium*, Note de M. Curie. Académie des sciences (France), Comptes Rendus, T. 126 (1898) 1101-03
http://www.academie-sciences.fr/activite/archive/dossiers/Curie/Curie_publi.htm

wykorzystując tak metody fizyki jak chemii, jeszcze w lipcu tego samego roku stwierdziła, że w rudach uranu musi znajdować się nowy, nieznany metal, przypominający chemicznie bizmut ale 400 razy bardziej „radio-aktywny” niż uran. „-Jeżeli istnienie tego nowego metalu zostanie potwierdzone, proponujemy nazwać go *polonium*, od imienia kraju pochodzenia jednej z nas”, ryc. 3.2. Kolejny odkryty przez Państwa Curie pierwiastek radioaktywny przypomina chemicznie bar i został przez nich nazwany *radem*.



Fot. 3.1. Dwa zdjęcia, wystawione w 2005 roku w Instytucie Curie w Paryżu: **a)** podróż poślubna rowerami, po Normandii, 1895 rok; **b)** Maria z córkami po śmierci męża w 1906 roku (foto GK)

Za odkrycie „radio-aktywności”, jak promieniowanie Becquerela nazwała Pani S. Curie, ona z mężem ($\frac{1}{2}$) i Becquerel otrzymali nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 1903 roku. W 1911 roku, już jako wdowa, Marie Skłodowska-Curie odbierała Nagrodę w dziedzinie chemii, za odkrycie polonu i radu i „właściwości tych niezwykłych pierwiastków”.



Fot. 3.2. Fragmenty artykułu, w którym ogłoszono odkrycie polonu, Académie des sciences (France), *Comptes Rendus*, T. 127 (1898) 175-178

Jeszcze w 1902 roku Państwo Curie poddawali krytyce myśl, że energia wydzielana przez rad może pochodzić ze zmian w strukturze atomu; żadnych zmian nie obserwowali. Nikt wówczas nie wiedział, że zmiany zachodzą nie w całym atomie ale w jego centralnym jądrze i że źródłem energii jest znikająca *masa*. Potrzebny był nowy pomysł (1905 r.), niejakiego Alberta Einsteina.

3.3. Einstein i równoważność energii i masy

Kolejna romantyczna historia z przełomu XIX i XX wieku to małżeństwo Alberta i Milewy. Albert Einstein miał młodość pełną zmian: urodzony w Ulm, chodził do liceum w Monachium ale za rodzicami przeniósł się do Pawii we Włoszech. W konsekwencji nie miał matury, którą kończył dopiero w Szwajcarii. Jego narzeczona, studentka matematyki w Zurychu, Mileva Marić była Serbką, obywatelką Cesarstwa Austriacko – Węgierskiego a w Szwajcarii emigrantką. Po zakończeniu studiów z fizyki, a nie inżynierii elektrycznej jak chciał ojciec, Albert nie otrzymał obiecanej pracy na uniwersytecie i został urzędnikiem biura patentowego w Bernie. Dopiero w 1903 roku żeni się z Milewą a w 1905 roku rodzi mu się syn. W tym samym roku pisze cztery artykuły, które zrewolucjonizowały całą fizykę⁴. Jest wśród tych artykułów słynne równanie równoważności masy m i energii E

$$E = mc^2 \quad (3.1)$$

Równanie to mówi np., że jeżeli w atomie elektron przechodzi na wyższy poziom energetyczny (tzn. rośnie energia atomu), to rośnie również jego masa. Obliczmy, o ile rośnie masa atomu wodoru przy przejściu elektronu na wyższy poziom energetyczny.

Zadanie 3.1:

Atom wodoru pochłoniął kwant światła o energii 10,2 eV i pozostaje w tym stanie wzbudzonym. O ile wzrosła jego masa?

Dane: $\Delta E = 10,2 \text{ eV}$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Szukane: $\Delta m = ?$

Rozwiązanie:

Po pierwsze przeliczmy jednostki energii eV na dżule, wg zależności $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

$$\Delta E = 10,2 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 16,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Ta zmiana energii obawia się jako zmiana masy o

$$\Delta m = \Delta E / c^2 = 16,3 \cdot 10^{-19} / (3 \cdot 10^8)^2 = 5,4 \cdot 10^{-35} \text{ kg}$$

Masa atomu wodoru to $m_H = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ więc zmiana masy to mniej więcej o 0,000003%, absolutnie nie do zmierzenia.

Zadanie 3.2. Elektron w spotkaniu z anty-elektronem (zob. ryc. 1.10b) *anihiluje*, to znaczy masa tych dwóch cząstek zamienia się w energię pola elektromagnetycznego (w dwa kwanty „światła”). Jaką energię ma każdy z tych kwantów (w eV)? Masa elektronu (i antyelektronu) wynosi $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Dane: $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Szukane: $E = ?$

⁴ Zob. też artykuły GK „Albert i Milewa” i „Cztery rękopisy, co zmieniły świat”
http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/annalen.html
http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/einst5.ppt