

Pierwsza hipoteza atomistyczna sformułowana przez J.J. Thomsona (MT 06/07) otworzyła nowe drzwi w fizyce, które już nigdy nie zostały zamknięte. Skoro pojawił się śmiałek, który twierdził, że atomy nie są tylko jednorodnymi kulkami bez wewnętrznej struktury, to musieli się oczywiście pojawić inni, którzy tę strukturę chcieli zbadać. I choć była to droga po omacku – nikt z nich nigdy bowiem nie widział atomu na własne oczy – okazało się, że wielkością swojego umysłu potrafili odkryć, jak zbudowany jest atom, i przekonać do tego innych.

MODEL THOMSONA

Pierwszy model budowy atomu (tak jak już to wspominaliśmy) zaproponowany przez Thomsona był jedynie pomysłem koncepcyjnym. Tłumaczył jakoś wiele zjawisk, takich jak jonizowanie atomów czy zmianę ich własności pod wpływem zewnętrznych pól. Jednak jakiegokolwiek próby wyciągnięcia ilościowych wniosków z tej hipotezy zawsze kończyły się fiaskiem. Można powiedzieć, że działo się to z dwóch powodów. Po pierwsze, model ten z samego swojego założenia miał służyć jedynie poglądowemu opisaniu



Tomasz Sowiński w 2005 roku skończył z wyróżnieniem studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w zakresie fizyki teoretycznej. Obecnie jest asystentem w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN. Z zamiłowaniem zajmuje się popularyzacją nauki. W roku 2005 był nominowany do nagrody w konkursie Popularyzator Nauki organizowanym przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji oraz Polską Agencję Prasową.



Tomasz Sowiński

Atom to praktycznie pustka

atomu i nikt nie spodziewał się, że przyniesie on jakieś wyliczalne wyniki. Po drugie, co okazało się dość szybko, model okazał się weryfikowalny doświadczalnie. Odpowiedni eksperyment wykonał młody fizyk w laboratorium profesora Ernesta Rutherforda.

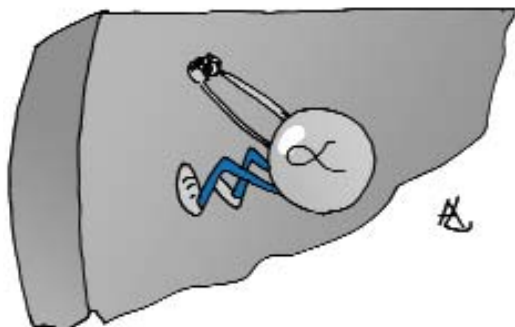
LABORATORIUM SUKCESU

Laboratorium Rutherforda było wtedy bardzo znane w świecie nauki. Przeprowadzano w nim bardzo wiele doświadczeń nad oddziaływaniem różnych materiałów z promieniowaniem X oraz promieniami

beta i cząstkami alfa, które powstają przy rozpadach radioaktywnych. Były to badania pionierskie i ich głównym celem było nie tylko zbadanie, jaki charakter mają takie oddziaływania, ale również wypracowanie pewnych metod doświadczalnych dla następnych pokoleń fizyków. Dlatego właśnie Rutherford miał w swoim zakładzie bardzo wielu asystentów i studentów, którzy wykonywali różne eksperymenty.

Najbliższymi współpracownikami profesora byli Roysds i Geiger – kilka lat młodszy od niego doktorzy. Roysds jest najbardziej znany ze wspólnej pracy z Rutherfordem, w której wykazali, że cząstki α (czytaj: al-

fa) to nic innego jak atomy helu pozbawione elektronów. Zrobili to w dość cwany sposób. Łapali do specjalnej komory te cząstki, a następnie wyrafinowanymi metodami badali, co znajduje się w owej komorze. Okazało się, że cząstki α przechodzą jakąś dziwną metamorfozę, gdyż po złapaniu w komorze zamiast nich znajdują się tylko atomy helu. Rozwiązanie tej zagadki było dość proste. Cząstki α po złapaniu łączą się po prostu z wolnymi elektronami znajdującymi się na ściankach i w ten sposób tworzą atomy helu.



Hans Geiger dziś znany jest powszechnie dzięki urządzeniu, które skonstruował wspólnie ze swoim pierwszym doktorantem Walterem Müllerem w 1928 roku. Mowa oczywiście o liczniku Geigera-Müllera, który pozwala mierzyć stopień radioaktywności różnych materiałów dzięki rejestrowaniu powstających podczas rozpadów cząstek.

ZADANIE DLA STUDENTA

Hans Geiger był człowiekiem bardzo otwartym i potrafiącym docenić zaangażowanie i pomysły drzeмиące w młodych umysłach. Dlatego studenci bardzo chętnie podejmowali prace przy jego boku, chcąc pod jego okiem wykonać ciekawe eksperymenty i równocześnie napisać dobrą pracę dyplomową. W taki właśnie sposób trafił do niego sir Ernest Marsden, student ostatniego roku fizyki na uniwersytecie w Manchesterze. Geiger, tak jak zawsze to robił, bardzo sumiennie przykładał się do pracy z Marsdenem. Zawsze zadawał mu różne problemy do rozwiązania i każdego ranka miał przygotowane jakieś zadanie doświadczone dla tego ambitnego studenta. Równole-

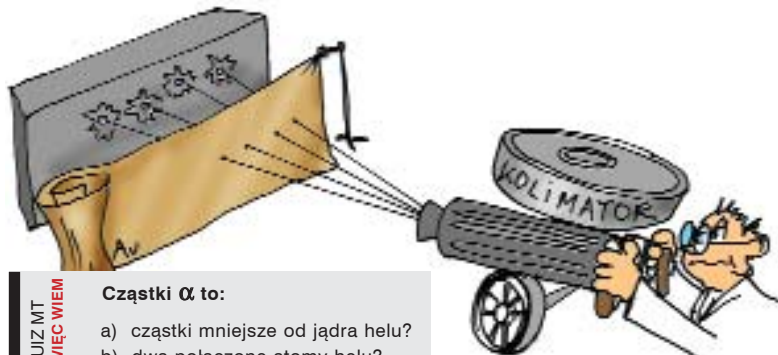
gle prowadził on badania z profesorem Rutherfordem nad rozpraszaniem cząstek α na foli wykonanej ze złota. Cząstki były wystrzeliwane z tzw. kolimatora i uderzały w folię, której grubość była nie większa niż 0,01 mm. Za folią znajdował się bardzo czuły ekran, na którym było można rejestrować miejsca, do których docierały cząstki. Tym sposobem badali oni, jak zależy kąt odchylenia cząstek od różnych parametrów eksperymentu. To, co było dla nich zaskakujące, to fakt, że zdecydowana większość cząstek przechodziła przez folię, tak jakby w ogóle jej nie było (cząstki przelatywały po prostu po linii prostej). Jedynie niewielka część odchodziła się i to pod bardzo niewielkimi kątami. Sam fakt, dlaczego tak się dzieje, był dla nich, pewną zagadką, gdyż wydawałoby się, że przeczy to budowie atomu zaproponowanej przez Thomsona. Gdyby bowiem atomy złota były jak ciasto z rodzynkami, to oddziaływanie z cząstkami α powinno być dużo silniejsze i tym samym powinny się odchyłać one dużo bardziej.

Jak wspomina w swoich pamiętnikach Rutherford, pewnego dnia przyszedł do niego Geiger i zapytał, czy może dopuścić swojego młodego studenta Marsdena do poważniejszego eksperymentu. Tak aby mógł wykonać „jakąś niewielką pracę badawczą”. Rutherford niewiele się zastanawiając, oczywiście się zgodził i zaproponował dopuszczenie go do eksperymentu ze złotą folią. W ten oto sposób mało znaczący wtedy student otrzymał od losu szansę, której, jak się okazuje, nie zmarnował. Jego zadaniem było sprawdzenie, czy są jakieś cząstki α , które ulegają odchyleniu pod dużymi kątami. Rutherford dzięki swojemu dużemu doświadczeniu dydaktycznemu chciał w ten sposób zapewnić, że studentowi uda się wykonać eksperyment dość szybko i tym samym skończyć studia w terminie. A ponieważ spodziewał się wyniku całkowicie negatywnego, tzn. braku zarejestrowania cząstek odchylanych pod dużymi kątami, miał pewność, że doświadczenie przebiegnie bez większych problemów.

STUDENCKA SKRUPULATNOŚĆ

Marsden, otrzymując zadanie od samego profesora Rutherforda, bardzo się zaangażował w wykonywany eksperyment. Pod okiem Geigera zapoznał się ze sztuką wykonywania doświadczeń radioaktywnych, zachowywaniu zasad bezpieczeństwa i sposobu działania układu doświadczonego. Geiger śladem

swojego nauczyciela wiedział, że studenta trzeba z jednej strony pilnować, aby nie zniszczył przypadkiem cennego projektu lub co gorsza nie zrobił sobie krzywdy. Ale z drugiej strony miał świadomość, że nie tak nie uczy bycia dobrym doświadczeniakiem jak samodzielność w formułowaniu problemów i pomysłów na ich rozwiązanie. Po trzech dniach Marsden miał dokładnie opracowane i potwierdzone wyniki doświad-



Cząstki α to:

- cząstki mniejsze od jądra helu?
- dwa połączone atomy helu?
- atomy helu pozbawione elektronów?

czenia: **istnieją cząstki rozproszone pod dużymi kątami, a nawet takie, które rozpraszają się wstecz!!** Takiego wyniku eksperymentu nikt się nie spodziewał. Młody Marsden początkowo był nawet załamany, że coś źle zrobił i dlatego otrzymał taki egzotyczny wynik. Geiger, który bezpośrednio uczestniczył przy eks-

NOWA TEORIA BUDOWY ATOMU

Rozwiązaniem problemu okazało się zupełnie inne spojrzenie na budowę atomu. Spojrzenie, do którego Rutherford doszedł zapewne po wielu nieprzespanych nocach. Nie będziemy tutaj przytaczali pełnej argumentacji profesora, a skupimy się jedynie na wnioskach, które są najbardziej interesujące. Otóż Rutherford doszedł do wniosku, że owszem, możliwe jest takie zachowanie strumienia cząstek α podczas przechodzenia przez złotą blaszkę, jak opisane wcześniej, ale tylko wtedy, gdy atomy **będą w rzeczywistości dużo, dużo, dużo mniejsze, niż do tej pory uważano**. Takie jednak postawienie sprawy nie było zbyt fortunne. Jest to bowiem niemożliwe, bo z innych eksperymentów fizycznych już wtedy było wiadomo, jakiej wielkości są atomy i gdyby były mniejsze, to znowu tamte doświadczenia przestałyby być wytłumaczalne. Jak zatem pogodzić te dwie, wykluczające, jakby się zdawało, przesłanki doświadczalne?

Próbując rozwiązać ten kolejny problem, jaki pojawił się w wyniku rozwiązania poprzedniego, Rutherford ostentacyjnie zdęcydował się zaproponować

perymentu, wykluczył według swojej wiedzy jakąkolwiek pomyłkę, ale również nie potrafił zrozumieć, skąd się wzięł taki wynik. Pobiegli więc szybko do swojego mentora, aby zapytać, jak można wytłumaczyć tak dziwny rezultat. Jak wspomina Rutherford, chwila, w której przyszedł do niego bardzo podniecony dr Geiger, była dla niego najbardziej niewiarygodną rzeczą, jaka go spotkała w życiu.

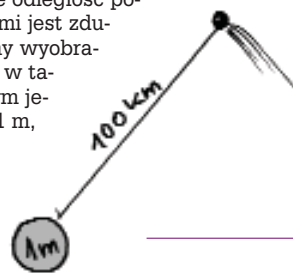
RUTHERFORDA DWAGACJE MYŚLOWE

Rutherford przez długi czas nie mógł zrozumieć, jak to się dzieje, że oddziaływanie cząstek α ze złotą folią jest takie dziwne. Z jednej strony wiedział, że znaczna część cząstek przelatuje na drugą stronę, tak jakby praktycznie folii nie było lub była podziurawiona niczym szwajcarski ser. Badając jednak ową folię nawet pod najlepszym mikroskopem, żadnych dziur nie widział. Wiadomo też, że np. woda nie przelatuje na wylot złotej folii co musiałoby mieć miejsce, gdyby była ona niczym sitko. Z drugiej strony doświadczenie jego uczniów pokazywało, że skoro możliwe jest odbicie pojedynczej cząstki α od folii to atom – jeśli tylko istnieje – musi być bardzo sztywny. Tylko wtedy możliwe jest bowiem odbicie od niego rozpródnzonego pocisku. No ale jeśli atomy są sztywne i zdają się przylegać jeden do drugiego, to jakim cudem cząstki mogą również przechodzić na drugą stronę? I tak w koło Macieju. Rozwiązaniem tej zagadki było całkiem dobrą łamigłówką nawet dla tak doświadczzonego profesora.

Przyjmując za prawdziwą koncepcję budowy atomu Thomsona, Rutherford zdawał sobie sprawę, że cząstka α tak naprawdę oddziałuje tylko z dodatnio naładowaną częścią atomu (ciastem). Elektrony (rodzynki), które są zanurzone w atomie, mają zbyt małą masę (ok. 8000 razy mniejszą od masy cząstki α), aby oddziaływanie z nimi mogło zaburzyć ruch tego niewielkiego, ale dość masywnego pocisku. Skoro zatem cząstki mogą oddziaływać tylko z dodatnim ładunkiem atomu, to sposób, w jaki one się rozpraszają, jest bezpośrednio związany z rozkładem tego ładunku w przestrzeni.



zupełnie nową hipotezę o budowie atomu. Według tej hipotezy atom składa się jak dotychczas z dwóch rodzajów ładunków – dodatnio naładowanej części, która stanowi praktycznie całą masę atomu i niewielkich, ujemnie naładowanych elektronów. Tym razem jednak ta masywna i naładowana dodatnio część jest skupiona w bardzo małym obszarze przestrzeni. Obszar ten jest tak mały, że gęstość materii w tym miejscu jest rzędu 100 000 000 000 000 g/cm³. Dla porównania dodajmy: gęstość wody to zaledwie 1 g/cm³. Ze względu na tak ogromną gęstość tę dodatnio naładowaną część nazwał Rutherford **JADREM**. Następnie w pewnej odległości od jądra krążą wokół niego ujemnie naładowane elektrony. To właśnie orbity tych elektronów określają wielkość atomu, jaką daje się oszacować w innych eksperymentach. Warto dodać w tym miejscu, że odległość pomiędzy jądrem a elektronami jest zdumiewająco duża. Gdybyśmy wyobraźli sobie np. atom wodoru w takim powiększeniu, w którym jego jądro miałoby promień 1 m, to elektron krążyłby wokół niego w odległości 100 km!!! To porównanie pokazuje, jak wielka



puszka panuje wewnątrz atomów. Atomy to nie jest żadne ciasto! Atom to praktycznie puszka z malutką, ale bardzo masywną pestką w środku i jeszcze mniejszymi i leciutkimi ziarenkami, które krążą w niebotycznej odległości od niej.

WNIOSKI PŁYNĄCE Z HIPOTEZY

Hipoteza Rutherforda wydaje się prawidłowo tłumaczyć dziwne wyniki eksperymentów, które jako pierwsi wykonali Marsden z Geigerem. Po pierwsze, tłumaczy ona, dlaczego tak wiele cząstek α przechodzi na drugą stronę złotej przeszkody praktycznie bez oddziaływania. Jak wynika z opisanych wcześniej doświadczeń Rutherforda i Roydsa, cząstki te to nic innego jak obdarte z elektronów atomy helu, które również powinny mieć budowę zgodną z przyjętym modelem. Cząstki α są zatem jądrami helu i w związku z tym, co wcześniej powiedzieliśmy, są bardzo małe w porównaniu z rozmiarami pełnych atomów. Warto sobie uświadomić, że jeśli weźmiemy atom dowolnego pierwiastka i pozbedzimy się jego wszystkich elektronów, to natychmiast dostaniemy obiekt, który jest kilkaset tysięcy razy mniejszy! Cząstka α (jądro helu) nie ma zatem większego problemu, aby przelecieć niezauważona przez złotą folię. Przechodzi ona po prostu swobodnie przez puste atomy, a szansa na to, że trafi po drodze na jądro, jest bardzo mała. Jeśli już jednak zdarzy się tak, że lecąca cząstka α napotka na swojej drodze jądro atomu złota, to ze względu na bardzo duże skupienie ładunku w małym obszarze przestrzeni oddziaływanie z takim jądrem będzie olbrzymie. A ponieważ cząstka α i jądro złota mają ładunek takiego samego znaku (dodatni), to będą się odpychać z olbrzymią wręcz siłą. W ten sposób cząstka bez problemów może zostać wypchnięta dokładnie w przeciwną stronę, niż się początkowo poruszała.

Model Rutherforda w odróżnieniu od modelu Thomsona, który był czysto jakościowy, daje możliwość przeprowadzenia dość dokładnych rachunków i ilościowego przewidzenia ruchu cząstek α . Teoretycznie można nawet przewidzieć trajektorię ruchu takiej cząstki w pobliżu jądra i dokładnie wyliczyć kąt odchylenia w zależności od tego, jaka jest początkowa prędkość cząstki. Ostatecznie można nawet wyliczyć stosunek liczby cząstek rozpraszających się w danym kierunku do liczby wszystkich cząstek wystrzelonych w kierunku złotej przeszkody. Takie obliczenia jako pierwszy wykonał sam Rutherford, a ich doświadczalne potwierdzenie przypadło jego asystentowi Geigerowi. Doświadczenia te całkowicie potwierdziły teoretyczne przewidywania płynące z rachunków profesora i tym samym na zawsze odesłały koncepcję Thomsona na emeryturę. Od tej pory nikt nie miał wątpliwości, że atom to raczej mały układ planetarny z małym i masywnym jądrem (Słońcem) i krążącymi wokół niego elektronami (planetami), a nie jakieś ciasto z rodzynkami.

NOWA TEORIA - NOWE KŁOPOTY

Oczywiście hipoteza o planetarnej budowie atomu (jak się czasami nazywa hipotezę Rutherforda) jak każda nowa teoria musiała przejść kolejne testy – zarówno doświadczalne, jak i teoretyczne. Okazało się bardzo szybko, że największe trudności są z tymi drugimi. Problemem okazały się znów (już kilka razy tak było) prawa elektrodynamiki. Tym razem nie do przejścia stało się prawo promieniowania, które mówi, że jeśli tylko naładowana cząstka porusza się ruchem niejednostajnym, to wypromieniowuje swoją energię w postaci fali elektromagnetycznej.

A elektron, który zgodnie z hipotezą Rutherforda krąży wokół jądra na pewno nie porusza się jednostajnie, tylko jest ciągle przyspieszany siłą oddziaływania z jądrem (jego tor jest ciągle zakrzywiany). Tym samym elektron musi ciągle wypromieniowywać swoją energię i nieuchronnie zbliżać się do jądra. To koniec końców prowadzi do zniszczenia atomu. W tak dramatycznym scenariuszu nie byłoby może nic niepokojącego, gdyby nie fakt, że czas takiego spadania daje się dokładnie wyliczyć z teorii Rutherforda i wynosi on „aż” **1/100000 milisekundy**. To oczywiście jest nonsensowny wynik. Wiemy, że atomy istnieją zdecydowanie dłużej. Ale niestety wynika on, z tej jakby się na pierwszy rzut oka wydawało, dość dobrej hipotezy Rutherforda. Niewątpliwie mamy problem! Czas więc na lekką rewolucję... ●

