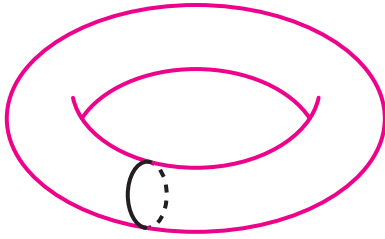


Rys. 14



Rys. 15

Dla każdego $k \geq 4$ rozmaitość k -wymiarowa

$$S^2 \times S^{k-2} = \{(x_1, \dots, x_{k+2}) \in R^{k+2} : x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = 1 = x_4^2 + \dots + x_{k+2}^2\}$$

jest zwarta, spójna, jednospójna, ale nie jest homeomorficzna z S^k . Stąd próba uogólnienia Hipotezy Poincarégo przez po prostu zastąpienie w jej sformułowaniu liczby 3 przez k jest fałszywa. Istnieje jednak uogólnienie Hipotezy Poincarégo, które jest prawdziwe. Powiemy, że rozmaitość M jest m -spójna jeśli dla każdego naturalnego $i \leq m$ i dla każdego przekształcenia ciągłego $s : S^i \rightarrow M$ istnieje takie przekształcenie ciągłe

$$\bar{s} : \overline{D^{i+1}} = \{(x_1, \dots, x_{i+1}) \in R^{i+1} : x_1^2 + \dots + x_{i+1}^2 \leq 1\} \rightarrow M,$$

że $\bar{s}(x) = s(x)$ dla każdego $x \in S^i$.

Uogólniona Hipoteza Poincarégo: Każda zwarta, spójna, $(k-1)$ -spójna rozmaitość k -wymiarowa jest homeomorficzna ze sferą k -wymiarową S^k .

Hipoteza ta została udowodniona dla $k \geq 5$ przez S. Smale'a, J. Stallingsa i M. Newmana w latach 1960-1966 oraz dla $k = 4$ przez M. Freedmana w 1982 roku. Zwarta, spójna rozmaitość 3-wymiarowa jest 2-spójna wtedy i tylko wtedy, gdy jest jednospójna, więc dla $k = 3$ Uogólniona Hipoteza Poincarégo to zwykła Hipoteza Poincarégo.

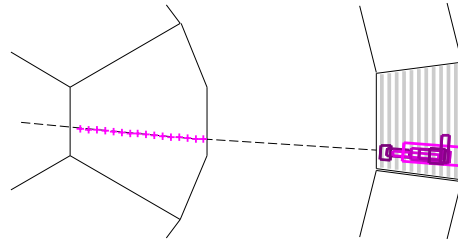
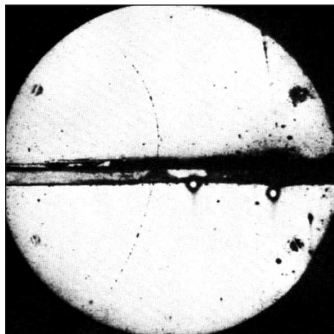
Czy można zobaczyć elektron?

To zależy od tego, co rozumiemy przez „zobaczyć”. Jeżeli ma to oznaczać „zaobserwowanie” kształtu za pomocą światła, to nie można, bo elektron na pewno nie ma „szczegółów” większych niż 10^{-18} metra, a długość fali świetlnej to co najmniej $4 \cdot 10^{-7}$ metra, więc światło ma prawie bilion razy za dużą długość fali.

Jeżeli przyjmiemy, że „zobaczyć” możemy nie tylko za pomocą światła, ale używając fali o dowolnie małej długości, to powyższe ograniczenie zniknie. W ten sposób elektrony bada fizyka cząstek elementarnych. Okazuje się, że nawet przy najwyższych dostępnych energiach elektron pozostaje punktowy – nie widzimy żadnych szczegółów. Z tego, jaka była największa energia, za pomocą której badano elektrony, wynika właśnie, że ich ewentualne „szczegóły” muszą mieć rozmiar mniejszy od 10^{-18} m, bo długość fali jest odwrotnie proporcjonalna do energii.

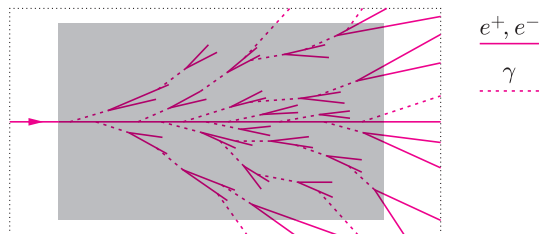
Można jednak obserwować ślad elektronu. Elektron ma ładunek elektryczny. Za jego pomocą oddziałuje z materialnym ośrodkiem. Dzięki temu w ośrodku pozostaje ślad utworzony ze zjonizowanych molekuł. Taki ślad można po prostu zobaczyć, zamieniając jonizację na kropelki przechłodzonej pary, jak robiono to w komorach mgłowych (rys. 1), na pęcherzyki pary przegrzanej cieczy (komory pęcherzykowe) lub na sygnały elektroniczne we współczesnych detektorach, które później można przetworzyć na ich komputerową wizualizację (rys. 2).

Rys. 1. Półkolisty ślad na tym zdjęciu to pierwszy przypadek zarejestrowania antymaterialnej cząstki – pozytonu, czyli antycząstki elektronu. Za pomocą komory mgłowej dokonał tego Carl Anderson w 1932 roku. Źródłem cząstki było promieniowanie kosmiczne.



Rys. 2. Rysunek przedstawia rekonstrukcję przejścia elektronu przez detektor DELPHI. Pokazane są tylko fragmenty dwóch poddetektorów. Elektron pojawia się z lewej strony i przechodzi najpierw przez wypełnioną mieszkanką gazową komorę projekcji czasowej. Jego przejście zarejestrowane zostało w postaci punktów zaznaczonych krzyżykami. Następnie elektron przelatuje do kalorymetru elektromagnetycznego wypełnionego warstwami ołowiu, gdzie inicjuje kaskadę elektromagnetyczną (zobacz rys. 3), zaznaczoną w postaci kolorowych prostokątów. Tam, „rozmienny na drobne”, kończy swoją podróż.

Jeżeli elektron ma dużą energię, to, wpadając do gęstego ośrodka, inicjuje kaskadę fotonowo-elektronową (rys. 3), którą można uznać za najbardziej spektakularne zjawisko towarzyszące omawianej cząstce.



Rys. 3

Podobne lawiny wtórnych cząstek wywołują fotony i oczywiście pozytony. Pozytony i elektrony świecą w silnych polach elektrycznych jąder

fotony, które w tych samych polach zamieniają się na pary elektron – pozyton.

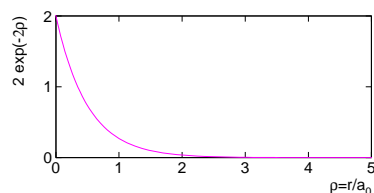
Wszystkie powyższe sposoby nie spełniają jednak warunków normalnego „zobaczania” elektronu. Rejestrujemy obecność elektronu, ale jego samego

Dlaczego elektron nie spada na jądro?

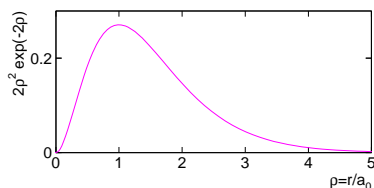
Za samo zadanie takiego pytania można, niesłusznie, dostać pałę na lekcji fizyki. Postawienie go „dowodzi”, że nie zna się choćby modelu atomu Bohra, który, jako historycznie pierwszy, wprowadził dyskretne orbity dostępne dla elektronu. Elektron nie spada, bo nie może promieniować energii w sposób ciągły, a jedynie przeskakując z wyższej na niższą orbitę. W sposób spójny tłumaczy to mechanika kwantowa, której jednak w szkole się nie wprowadza.

Z takiego przedstawienia budowy atomu wynika jednak co najmniej jedna nieprawdziwa intuicja. Nawet jeżeli wiemy (np. z lekcji chemii), że elektrony w atomie występują nie na orbitach, tylko w orbitalach, to dla każdego stanu elektronowego można wyznaczyć bohrowski promień takiej orbity i wynik nie zależy od tego, czy użyjemy tylko modelu Bohra, czy pełnego formalizmu mechaniki kwantowej. Wygląda więc, że elektrony, nawet te na najniższej orbicie, jakosć krążą wokół jądra.

A to właśnie nie jest prawda. Elektrony związane w najniższym stanie kwantowym mają orbitalny moment pędu równy zero (taki zerowy moment mogą mieć również na wyższych orbitach, ale nie komplikujmy sprawy). Jeżeli tak, to nie mogą krążyć. Kształt odpowiadającego im orbitalu jest sferycznie-symetryczny, a największe prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w danym miejscu przypada na środek orbitalu, czyli miejsce gdzie znajduje się jądro! Wartość gęstości tego prawdopodobieństwa dla półprostej wychodzącej z jądra jest pokazana na rysunku 4. Czym jest w takim razie promień orbity Bohra w tym przypadku? Jest to najbardziej prawdopodobna odległość elektronu od jądra. Żeby ją obliczyć, trzeba najpierw znać gęstość prawdopodobieństwa znalezienia elektronu w danej odległości od jądra. Wyznacza się ją, mnożąc wartość tej gęstości dla danego r przez powierzchnię sfery o promieniu r . Wynik przedstawiony jest na rysunku 5.



Rys. 4. Warunkowa gęstość prawdopodobieństwa znalezienia elektronu znajdującego się na danej półprostej wychodzącej ze środka jądra.



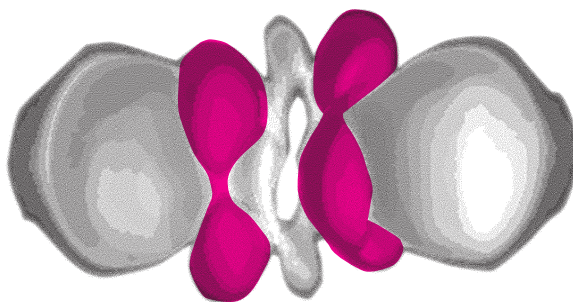
Rys. 5. Gęstość prawdopodobieństwa znalezienia elektronu w danej odległości od jądra $\rho = r/a_0$, gdzie a_0 jest promieniem Bohra.

nie widzimy. Sprawa nie jest wszakże zupełnie beznadziejna. Jeżeli tylko nie będziemy się upierać przy świetle, to elektron można zobaczyć, o ile uda nam się zobaczyć atom. Dlaczego? Zobacz odpowiedź na kolejne pytanie.

To, że najbardziej prawdopodobna odległość od jądra jest skończona nie oznacza, że elektron wokół tego jądra krąży. Co w takim razie robi? W zasadzie nie wiadomo. Gdybyśmy chcieli to sprawdzić dla związanego w atomie elektronu, musielibyśmy go obserwować za pomocą czegoś, czego długość fali byłaby istotnie mniejsza od rozmiarów atomu. Przekaz energii w takim oddziaływaniu byłby tak duży, że elektron zostałby oderwany od jądra, czyli przestałby być związany.

Jeżeli już koniecznie chcemy mieć jakąś intuicję co do „zachowania” elektronu w tym stanie, to według mnie możemy przyjąć, że elektron jest „spadnięty” na jądro. Rozmiar orbitalu jest rzędu długości fali de Broglie’a elektronu i determinuje rozmiar atomu, który jest tak duży w porównaniu z jądrem atomowym, ponieważ elektron jest bardzo lekki (i dość lekko związany). Gdyby elektron był cięższy, to atomy byłyby mniejsze. Elektron traktowany jako fala materii jest tożsamy ze swoim orbitalem. Pozwala to zrozumieć budowę ciał stałych. Atomy muszą zajmować trochę przestrzeni, bo nie są „puste w środku”, jak czasem się mówi, tylko wypełnione orbitalami elektronowymi.

Taki elektron można zobaczyć, jeżeli tylko uda nam się zobaczyć atom, bo to tak naprawdę to samo. Przykładem może być rysunek 6.



Rys. 6. Obraz orbitali elektronowych tlenku miedzi (I) Cu_2O (tlenku miedziawego według starej nomenklatury). Zuo i inni, *Nature*, 2 września 1999 roku.

P. Z.