

Obalamy prawa fizyki albo uczmy się pokory wobec przyrody

Doc. dr Jan GAJ

Nie do wiary, jak zarozumiały jest człowiek. Swoje nad wyraz skromne doświadczenia zdobyte na Ziemi — tym pyłku w Kosmosie — próbuje zastosować do całego świata nie bacząc, że zna tylko bardzo małą jego część, a wiedza ta jest daleka od doskonałości. Jednym z rezultatów tego zarozumiałstwa jest pewna maniera spotykana wśród fizyków, zarówno teoretyków, jak i eksperymentatorów, polegająca na utożsamianiu twórców myśli ludzkiej — modeli i teorii fizycznych — z rzeczywistością, którą te modele i teorie mają opisywać. Piszą: mają, bo nie wątpię że nasze teorie są ułomne i niekompletne, a ich liczne wady z pewnością będzie wymieniał z pamięci uczeń w szkole za kilkaset, a może już za kilkadziesiąt lat, jeżeli nasza zarozumiałość nie doprowadzi przedtem do katastrofy obecnej cywilizacji. Powtarzam: prawa Newtona, Maxwella i Einsteina to nie rzeczywistość, tylko nasze nieudolne próby jej opisu. Aby Cię, Czytelniku, przekonać do mojego spojrzenia na te sprawy i zachęcić do wspólnej nauki pokory wobec przyrody, przedstawiam Ci dzisiaj niezbity, dotychczas nigdzie nie publikowany dowód, że

Atom wodoru nie może istnieć (w stanie podstawowym).

Co wiemy o rzeczywistości?

Wodór rzadko wprawdzie obserwuje się w stanie atomowym (chętnie łączy się w cząsteczki H_2), ale jego własności w tym stanie są tak proste i ciekawe, że zostały dość szczegółowo zbadane. Stwierdzono, że elektron i proton, związane siłami przyciągania elektrostatycznego, nie mogą przyjmować dowolnych energii*, ale tylko ściśle określone wartości opisane wzorem Rydberga

$$E_n = -R/n^2 \quad n = 1, 2, \dots$$

R , czyli stała Rydberga, wynosi 13,6 eV i jest energią wiązania elektronu z protonem w najniższym stanie, zwanym podstawowym, opisanym liczbą n równą 1. Tę własność energii atomu wodoru po raz pierwszy opisał w swoim modelu Niels Bohr, a współczesna mechanika kwantowa również przewiduje skwantowanie energii atomu wodoru, wprowadzając do oryginalnego wzoru Rydberga szereg bardzo małych poprawek, o których tu nie będziemy mówić, oraz zwracając uwagę, że każdej energii E_n odpowiada $2n^2$ różnych stanów o różnych wartościach momentu pędu. Atomy wodoru o temperaturze na przykład pokojowej występują z reguły w stanie podstawowym ($n = 1$), co najłatwiej poznać po tym, że wodór nie świeci, chyba że go pobudzimy dostarczając mu w jakiś sposób energii (silnym podgrzaniem, wyładowaniem elektrycznym, światłem itd.). Pobudzony wraca szybko** do stanu podstawowego wysyłając światło o długościach fali układających się w serie Lymana, Balmera itd. Promienie orbit elektronowych w stanach opisanych kolejnymi wartościami n wynoszą na_0 , gdzie $a_0 = 0,53 \text{ \AA}$ jest promieniem Bohra, czyli zasięgiem elektronu w stanie podstawowym.

* Jeżeli atom jako całość pozostaje w spoczynku.

** W czasie rzędu 10^{-8} s (jest to czas, w którym światło przebywa odległość 3 m).

Atak: wodór nie może istnieć w stanie podstawowym

Przed przeprowadzeniem dowodu przypomnimy sobie podstawowe prawo fizyki statystycznej, które mówi, że jeżeli układ fizyczny może przebywać w stanach o różnych energiach, to dla równowagi termodynamicznej w temperaturze T prawdopodobieństwo znajdowania się układu w jakimś stanie jest proporcjonalne do $e^{-E/kT}$, gdzie E jest energią tego stanu. T oznacza temperaturę (w skali bezwzględnej), a k nosi nazwę stałej Boltzmanna i wynosi $8,6 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$. Na przykład w temperaturze pokojowej ($T \approx 290 \text{ K}$) $kT \approx 25 \text{ meV}$. Oczywiście jeżeli chcemy obliczyć wartość prawdopodobieństwa, musimy podzielić to wyrażenie przez sumę takich samych wyrażen obliczonych dla wszystkich stanów układu*. (Żeby nie skłaniać Cię, Czytelniku, do kierowania energii intelektualnej w niewłaściwą stronę, wyjaśniam od razu, że powyższe prawo i wynikający z niego wzór na prawdopodobieństwo obsadzenia stanu nie będą tu kwestionowane.) Dalsze rozumowanie jest proste. Zgodnie z tym, co powiedzieliśmy powyżej:

$$P_1 = e^{-E_1/kT} / \sum e^{-E_i/kT},$$

gdzie sumowanie odbywa się po wszystkich stanach atomu wodoru.

* W ten sposób zapewniamy, że suma wszystkich prawdopodobieństw wynosi 1.

Tych stanów jest nieskończenie wiele, a każdy wyraz sumy w mianowniku jest większy od jedności (bo wszystkie E_i są ujemne*). A więc suma jest nieskończona, czyli cały ułamek (to znaczy prawdopodobieństwo, że układ znajduje się w stanie podstawowym) równa się zeru.

* W zasadzie powinniśmy uwzględnić także stany o dodatnich energiach, ale uczyniłoby to sumę jeszcze większą.

Konsekwencja: nowa broń (kosmiczna?)

Każdy, kto słyszał kiedykolwiek o laserze i jego zasadzie działania, zawoła natychmiast w tym miejscu: Ależ to jest inwersja obsadzeń! Wodór w stanie równowagi termodynamicznej nadaje się do zbudowania lasera, w którym każdy atom w niezwykle krótkim czasie wypromieniuje energię 13,6 eV w postaci promieniowania nadfioletowego. Oznacza to, że kilogram wodoru, czyli około 1000 moli wyrzuci z siebie energię $1000 N_A \cdot 13,6 \text{ eV} = 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 13,6 \text{ eV} \approx 10^{28} \text{ eV} = 10^{28} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,6 \cdot 10^9 \text{ J}$. Gdyby impuls laserowy trwał na przykład 10^{-8} s , oznaczałoby to moc ponad 10^{16} W , a więc znacznie więcej niż moc wszystkich elektrowni na świecie łącznie z Czernobylem i Three Mile Island, a także więcej niż moc wszystkich samochodów, samolotów i statków. Nie życzyłbym żadnemu żołnierzowi armii zaprzyjaźnionej lub obcej, aby jego przeciwnik dysponował taką bronią!

Obrona: Wszechświat jest za mały

Suma, która występuje w mianowniku wyrażenia na prawdopodobieństwo obsadzenia stanów, nazywa się sumą statystyczną. Jest to bardzo ważna wielkość charakteryzująca układ fizyczny. Stwierdziliśmy powyżej, że jest ona nieskończona, to znaczy: dodając kolejne wyrazy tej sumy możemy osiągnąć dowolnie wielką liczbę — a więc w szczególności dowolnie dużą w porównaniu z członem pochodzącym od stanu podstawowego. Jakkolwiek beznadziejnie wyglądałoby sumowanie nieskończonej liczby wyrazów, spróbujmy się do niego zabrać. Niech nasz wodór ma temperaturę pokojową ($T \approx 290 \text{ K}$). Najniższą energię $E_1 = -13,6 \text{ eV}$ ($n = 1$) mają właściwie dwa stany o przeciwnych kierunkach momentu pędu (spinowego). Wyraz odpowiadający tej energii wyniesie więc $2 \cdot e^{13,6 \text{ eV}/0,025 \text{ eV}} = 2e^{544}$. Jak zauważyłeś, Czytelniku, zamiast rozważać wyrazy sumy statystycznej, odpowiadające pojedynczym stanom, grupuję je w człony odpowiadające kolejnym energiom.

Następnej energii $E_2 = -13,6 \text{ eV}/4 = -3,4 \text{ eV}$ ($n = 2$, czyli 8 stanów o różnych momentach pędu) odpowiada wyraz $8 \cdot e^{3,4/0,025} = 8e^{136}$. Jest on, oczywiście, $1/4e^{408}$, czyli $6,3 \cdot 10^{169}$ razy mniejszy od pierwszego. Jak wielka jest to liczba, trudno sobie wyobrazić. Ocenia się, że masa dostępnej naszym obserwacjom części Wszechświata jest rzędu 10^{51} kg^* , co w przeliczeniu na atomy wodoru daje liczbę rzędu 10^{78} . Gdybyśmy wzięli tyle Wszechświatów, ile atomów wodoru odpowiada masie całego Wszechświata, i wszystkie te Wszechświaty rozdrobiliśmy na atomy wodoru, to liczba tych ostatnich byłaby jeszcze kilkadziesiąt bilionów razy mniejsza od wyliczonego powyżej stosunku pierwszego do drugiego wyrazu sumy statystycznej. Jeżeli drugi wyraz sumy statystycznej jest tak niewiarygodnie mały w porównaniu z pierwszym — powiesz z pewnością — to jak ogromną liczbę wyrazów musimy wziąć, aby ich suma przewyższyła wartość pierwszego wyrazu, a choćby stała się z nim porównywalna!

Nie będę Cię zanudzał rachunkami: jeśli zechcesz, sprawdzisz, że aby suma kolejnych wyrazów, nie licząc pierwszego, dorównała jego wartości, trzeba dojść do wartości n rzędu 10^{79} , a więc większej niż liczba atomów wodoru, które złożyłyby się na masę Wszechświata.

Możesz jeszcze, Czytelniku, zapytać, jakie rozmiary miałyby orbita elektronu odpowiadająca tak wielkiej liczbie n ? Odpowiedź jest łatwa — trzeba promień stanu podstawowego $a_0 = 0,53 \text{ \AA} = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ pomnożyć przez wyliczoną liczbę n . Otrzymujemy atom wodoru wielkości rzędu $10^{69} \text{ m} = 10^{53}$ lat świetlnych, a więc monstrum o rozmiarach liniowych przewyższających 10^{43} razy promień dostępnego naszej obserwacji Wszechświata. Takiego atomu wodoru nikt nigdy nie widział i na pewno nieprędko zobaczy! Teraz już chyba widzisz, co miałem na myśli mówiąc o zarozumiałości fizyków — rozciągnięcie zakresu stosowania modelu poza wszelkie granice zdrowego rozsądku wykonujemy mimochodem, nawet tego nie zauważając. Przetestowałem opisany powyżej paradoks na wielu fizykach — przekonując się na ogół, że teoria zwyciężyła nad faktami w ich umysłach**. Ponieważ, jak wiadomo, zmienić cokolwiek w nauce można tylko czekając, aż wymrą zwolennicy starych poglądów, nie będę tracił energii na przekonywanie fizyków już ukształtowanych, lecz zwracam się do Ciebie, przyszły fizyku: spojrz ze mną z pokorą i szacunkiem na przyrodę, a z nieufnością na ludzką o niej wiedzę.

* *Struktura materii* — przewodnik encyklopedyczny, PWN Warszawa 1980, str. 809.

** Nie świadczy to wcale o niskim poziomie intelektualnym moich rozmówców. Nie kto inny niż Hegel odpowiadając na zarzut, że fakty przeczą jego teoriom, rzekł: „tym gorzej dla faktów”.