

## Rozważania (i nie tylko) o przemianach energii

Przewodnik metodyczny i scenariusze lekcji tom 2

W. Dindorf, E. Krawczyk

*Wyszukaj dwa, trzy przykłady, które mogłyby świadczyć o słuszności tezy, że barwa ciała rozgrzanego nie zależy od materiału, a tylko od temperatury.*

**Odpowiedź:** Węgiel w piecu i ściany wewnętrzne pieca (np. cegła) świecą jednakowo. Szkło w hucie wyjęte z pieca ma kolor żaru w piecu.

Dodać należy, że prawo Wiena dotyczy ciał doskonale czarnych. W podręczniku nie jest to wyraźnie powiedziane, ale bardziej dociekliwym uczniom trzeba wyjaśnić, że nie ma tutaj sprzeczności między tym, co mówiliśmy o analizie widmowej, gdzie każdy pierwiastek miał inne, tylko jemu właściwe widmo (świecąc w stanie gazowym) a promieniowaniem ciała doskonale czarnego, którego barwa określona jest przez długość fali (zależną od temperatury) mającej największy udział w wypromieniowywanej energii.

*Wybierz na ślepo fragment jakiegokolwiek tekstu - powiedzmy 200 słów z jakiegokolwiek gazety, książki czy z własnych notatek i podkreśl w nim zdania lub fragmenty zdań określających czas lub miejsce zdarzenia. Wymień uwagi na temat swoich spostrzeżeń z kolegami.*

Jaki jest sens tego zadania? Uświadomienie sobie, że żyjemy w czterowymiarowej przestrzeni, że niemal każda informacja do tego faktu się odnosi, że wszystko dzieje się gdzieś i kiedyś. Jeśli za tą myślą pójdzie się dalej, to w naturalny sposób trafi się na potrzebę (lub rzadziej brak takiej) określenia błędu pomiaru czy niepewności pomiaru. Tak miejsce, jak i czas wydarzenia są obciążone dużym błędem. Można, upraszczając do nieprzyzwoitości sprawę, zrozumieć lepiej sens Heisenberga zasady nieoznaczoności. Wszystko jest w ruchu. Maksymalnie precyzyjnie określone miejsce musi zawierać bardzo rozmyte pojęcie związane z prędkością i - co też jest wyobrażalne - te nieścisłości muszą szczególnie być istotne dla bardzo małych obiektów, dla których określenie np. położenia jest tym trudniejsze, im mniejszy jest obiekt i im szybciej się porusza.

Będąc przy tym samym temacie, warto podkreślić brak sensu w zarzutach często przez laików wygłaszanych, że fizyka nie może być ścisłą nauką, gdy sam Heisenberg powiedział, że niczego nie wiemy ze stuprocentową pewnością.

Fałszywość tego zdania polega na tym, że fizyka stosuje metody matematyczne, w tym jest ścisła. Znać granice błędu, wiedzieć, jaki popełniamy błąd, umieć te granice określić - to wystarczy.

Przypomnijmy, jakie to błędy popełniamy na co dzień w pomiarze naszego wieku (18 lat!), naszych rozmiarów (buty 42!), odległości między miastami, szybkości jazdy samochodem... i co? Określmy granice błędu... policja nawet daje nam dziesięcioprocentową tolerancję i dopiero po przekroczeniu tej granicy wyznacza wysokość mandatu za przekroczenie prędkości.

*Człowiek, kiedy żyje, dzięki oddychaniu i odżywianiu utrzymuje w organizmie określoną ilość i proporcje składu izotopowego różnych pierwiastków. Kiedy życie przestaje, niektórych z tych pierwiastków po pewnym czasie ubywa. Ubywa m. in. węgla. W węglu spalonym w ludzkim organizmie znajduje się też izotop C-14 o czasie połowicznego rozpadu równym 5715 lat. Archeologowie odnotowali, że w ludzkich szczątkach wykopaliskowych znajdowało się około 12% izotopu C-14 w porównaniu z tym, ile posiada żyjący człowiek. Ile lat temu żył ten osobnik na Ziemi?*

**Odpowiedź:** Rozumujemy tak: po upływie czasu  $T_{1/2}$  pozostaje 50% oryginalnego izotopu. Po następnym zostaje 25%. Po kolejnym 12,5%. Jeśli stwierdzono 87% ubytek C-14 to znaczy, że minęło tyle czasu, ile wynosi potrójny czas połowicznego zaniku. Zatem mamy:  $3 \cdot 5715 = 17\ 000$  lat.

*Powtórzmy jeszcze raz to, co napisano wyżej: ogrzanie litra wody o jeden stopień Celsjusza zwiększa masę wody o  $4,7 \cdot 10^{-14}$  kg. Ani tego żadna waga nie wykryje, ani do niczego się to nie*

przyda.

I dalej: Weźmy jako przykład rad  $Ra-226$ . Pomiary spektrograficzne wykazują, że masa radonu  $Rn-222$  i cząstki  $\alpha$ , która po rozpadzie radu pozostaje, jest **wyraźnie mniejsza** niż masa atomu radu  $Ra-226$ . Ta różnica wynosi  $8,8 \cdot 10^{-30}$  kg.

Wykaż, że, rzeczywiście, pierwszą z dwóch przykładowych zmian masy słusznie można uznać za nieznaczną, a drugą za bardzo dużą.

**Rozwiązanie:** W pierwszym przypadku mowa była o zmianie masy kilograma wody o około  $10^{-14}$  kg.

W drugim była mowa o zmianie masy jednego atomu radu.

Aby porównanie miało sens, niech dotyczy w obu przypadkach albo tej samej masy - np. jednego kilograma - albo pojedynczego atomu (cząsteczki).

Najprościej policzyć zmianę masy przypadającą na cząsteczkę wody. W jednym kilogramie jest ich, z grubsza licząc,  $10^{24}$ . Zatem zmiana masy przypadająca na jedną cząsteczkę będzie wynosiła  $10^{-14}/10^{24} = 10^{-38}$ . Bardzo z grubsza licząc, reakcja jądrowa, jaką przeszedł atom radu, zmieniając się w radon i cząstkę alfa, daje około 100 milionów razy większy ubytek masy niż ta, jaka towarzyszy podwyższeniu temperatury cząsteczki wody o jeden stopień.

Szereg promieniotwórczy przedstawiony na rysunku 1 należy do najpowszechniejszych, jeśli się weźmie pod uwagę, że uran  $U-238$  stanowi wagowo ponad 99% naturalnego uranu. Tu jeszcze można dodać, że np. tor  $Th-234$  jest „dzieckiem” uranu  $U-238$  (a więc znajdowany jest tylko w rudzie uranowej, zaś naturalny tor to w 100% tor  $Th-232$  - „ojciec” własnej serii).

Ciekawą formą zadania — najlepiej klasowego — jest pytanie o kolejność procesów ( $\alpha$  czy  $\beta$ ) w tabeli obrazującej serię rozpadu promieniotwórczego naturalnego toru  $Th-232$ . (Poniższą tabelę, przedstawioną również w załączniku 1, proponujemy skopiować i dać każdemu uczniowi do wklejenia do zeszytu).

Hg-80	Tl-81	Pb-82	Bi-83	Po-84	At-85	Rn-86	Fr-87	Ra-88	Ac-89	Th-90	Z	A
											232	
											228	
											224	
											220	
											216	
											212	
											208	

Oto odpowiedź: alfa, beta, beta, alfa, alfa, alfa, alfa, beta,... i teraz albo alfa i beta, albo beta i alfa - obie drogi prowadzą do trwałego ołowiu - 208.

Jeśli jest zainteresowanie w klasie, można zaproponować, by w dostępnych źródłach (np. Internet) odnaleźć pozostałe dwie serie.

Korzystając z danych cytowanych w tym rozdziale, policz, ile energii (w dżulach) powinno się uzyskać (wydzielić) przy „zlepianiu” z wolnych protonów i neutronów jednego kilograma helu  $He-4$ .

Policzmy, ile atomów helu  $He-4$  „wchodzi” na jeden kilogram. Masa atomu helu wynosi  $4,0026$  u, zaś  $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg.

Zatem masa atomu helu wyraża się w kilogramach liczbą  $6,6 \cdot 10^{-27}$  kg/atom.

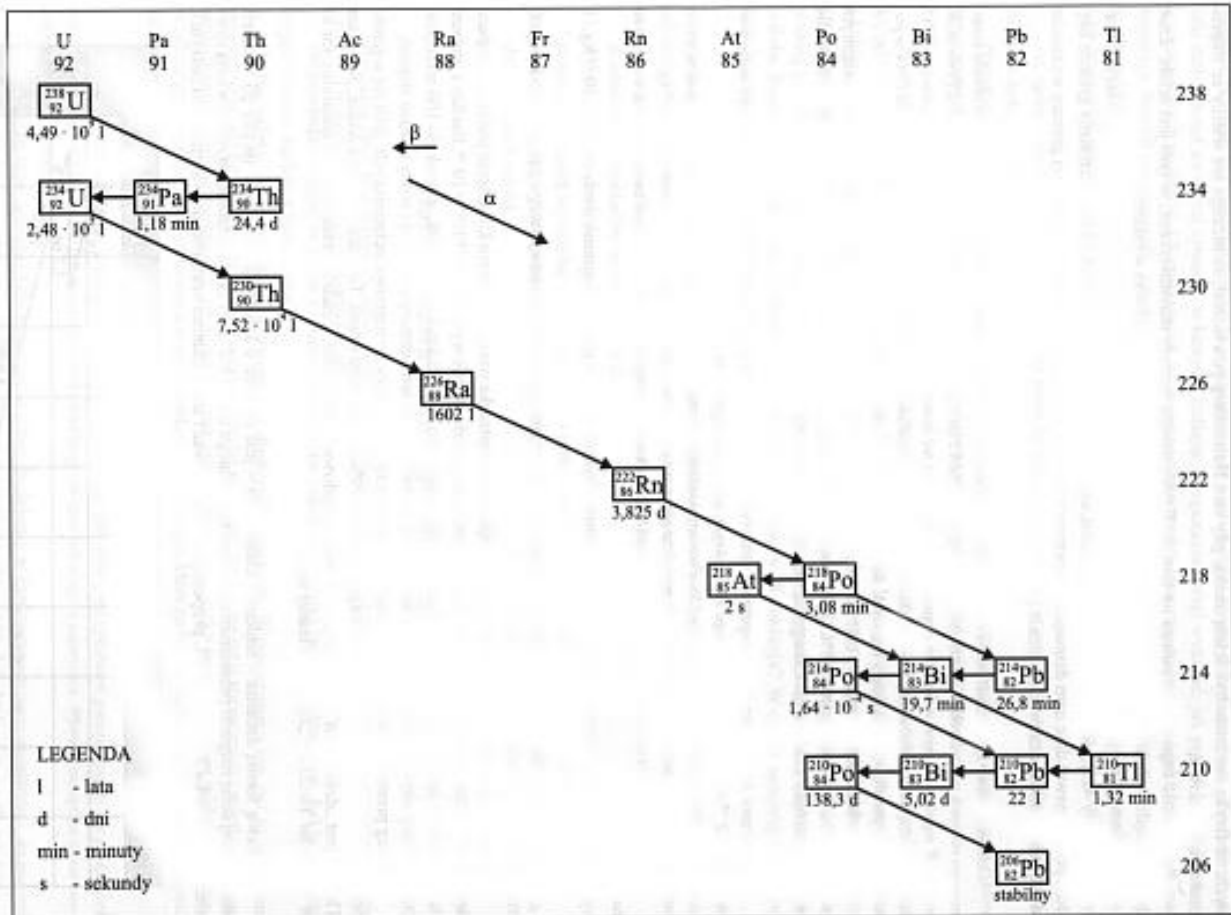
Stąd wynika, że jeden kilogram helu zawiera  $1/6,6 \cdot 10^{-27}$  kg/atom =  $1,5 \cdot 10^{26}$  atomów.

Powstanie każdego atomu wyzwala  $28,3$  MeV, czyli  $28,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}$  J. Jeśli tę wartość pomnożymy przez ilość atomów w kilogramie helu  $He-4$ , otrzymamy  $6,8 \cdot 10^{14}$  J/kg.

Taka energia wystarczy, by napędzać średniej wielkości samochód przez 40 lat bez przerwy.

A moc promieniowania Słońca wynosi około  $4 \cdot 10^{26}$  W.

Rys. 1



Korzystając z rozwiązania poprzedniego zadania, policz, ile z grubsza helu He-4 produkowane jest na Słońcu w każdej sekundzie, jeśli moc Słońca wynosi około  $10^{26}$  W.

$6,8 \cdot 10^{14}$  J wyzwala się przy „narodzinach” 1 kg helu He-4.  $10^{26}$  J/s podzielone przez  $6,8 \cdot 10^{14}$  J/kg daje  $1,5 \cdot 10^{11}$  kg, czyli 150 000 milionów kilogramów lub 150 milionów ton.

Jaką masę traci Słońce w każdej sekundzie?

Trzeba zapytać Einsteina.  $E = mc^2$ . Aby wyzwolić  $10^{26}$  J, potrzeba stracić  $E/c^2$  kilogramów, czyli  $10^{26}/(9 \cdot 10^{16}) = 10^9$  kg lub około milion ton. Oficjalne dane: 5,6 milionów ton.

Tu proponujemy proste rachunkowe ćwiczenie na potęgach. To pomaga w zrozumieniu „potęgi potęg”! Masa Słońca wynosi  $2 \cdot 10^{30}$  kg. Rocznie ubywa  $10^9$  razy liczba sekund w roku. Policzymy:

$$10^9 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 = 10^{16} \text{ kg.}$$

Ile zostaje po roku?

$$2 \times 10^{30} - 10^{16} = 10^{16}(2 \times 10^{14} - 1).$$

W nawiasie odjemna, to liczba większa, niż ilość włosów na głowach wszystkich ludzi na świecie, odjemnik, to jeden włos - można go sobie darować. Zostaje zatem:

$$10^{16} \times 2 \times 10^{14}, \text{ czyli } 2 \times 10^{30} \text{ kg.}$$

Możemy spać spokojnie, czekając na wschód Słońca.

*Naucz się, jak wiersza, na pamięć jednego ciągu równań „chemii jądrowej” ilustrujących proces syntezy zachodzącej w Słońcu. Przekonaj nauczyciela, że potrafiłeś komuś, nie posługując się kartką, wyjaśnić, skąd bierze się to, że Słońce jest gorące.*

Im prostsze rozmowanie, tym wyżej powinny być oceniane. Im więcej własnych słów, tym lepiej.

Coś musi się zużywać. Jakieś zmiany muszą zachodzić. Ogień to naturalny sposób „dawania” światła i ciepła. Ogień na Ziemi to prawie zawsze gwałtowne utlenianie substancji organicznych - inaczej łączenia się atomów węgla z atomami tlenu. W takich reakcjach chemicznych

(chemicznych, bo na poziomie elektronów, czyli na peryferiach atomów) wydziela się na zewnątrz energia, która może wystarczyć do wytwarzania plazmy (płomienia) i do pobudzania atomów do świecenia (emitowania fal elektromagnetycznych w szerokim zakresie częstotliwości).

Znacznie więcej energii (na jednostkowy proces) wydziela się przy reakcjach jądrowych - na poziomie jądra atomowego, gdzie już nie oddziaływania elektromagnetyczne, a oddziaływania sił jądrowych wchodzi w grę. Tu, jak i w chemicznych oddziaływaniach, spełnione jest Einsteina  $E = mc^2$ , jednak w oddziaływaniach jądrowych ubytek masy na koszt wydzielanej energii jest nieporównywalnie większy.

Tak mniej więcej mógłby wyglądać wstęp, zanim uczeń nie wypisze na tablicy (lub lepiej na kartce, siedząc w ławce naprzeciw drugiego, udającego zaciekawionego laika) wzorów, reakcji z objaśnieniem znaczenia symboli, wypisywanych z pamięci.

Niejeden już w takiej sytuacji powiedział na końcu: dopiero teraz wiem, o co chodzi, dopiero, gdy komuś usiłowałem wyjaśnić, sam zrozumiałem sens tych równań.

Za mało korzystamy (brak czasu!) z tej najlepszej metody uczenia się: ucz innych.

