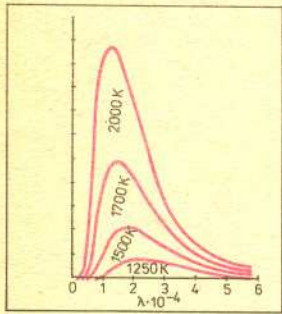


Czy Słońce jest ciałem doskonale czarnym?

Dr Tomasz KWAST



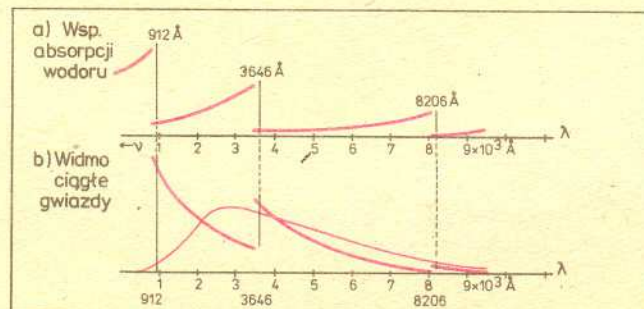
Rys. 1. Rozkład energii (widmo) ciała doskonale czarnego dla różnych temperatur. Dokładniej: każda krzywa przedstawia moc emitowaną z jednostki powierzchni ciała w jednostkowym przedziale długości fali. Zwracamy uwagę na znane cechy tych krzywych: im wyższa temperatura, na tym krótszej fali wypada maksimum widma (prawo Wiena) i tym większe jest pole powierzchni pod krzywą, czyli całkowita moc jednostki powierzchni ciała (proporcjonalna zresztą do czwartej potęgi temperatury — prawo Stefana-Boltzmann).

Na lekcjach fizyki w szkole słyszeliśmy o pewnym fikcyjnym obiekcie zwanym „ciało doskonale czarne”. Mówiło się, że (z definicji) pochłania całe padające nań promieniowanie, promieniowanie zaś przezeń wyświecane ma specjalny rozkład widmowy określony prawem Plancka (rys. 1). Własności te były przypisywane różnym świecącym ciałom, w tym Słońcu i gwiazdom. Później, na studiach fizyki temat ten był omawiany dokładniej i dowiadaliśmy się, że ciało doskonale czarne to takie, w którym panuje „równowaga termodynamiczna” (r.t.). Oznacza to, że w każdej chwili tyle samo (średnio) cząstek czy fotonów leci w lewo co w prawo, w górę co w dół, tyle samo zachodzi pochłonięć kwantów co ich emisji, tyle samo jonizacji co rekombinacji itd., krótko mówiąc — wszelkie procesy mikroskopowe są dokładnie „zrównoważone”. W takim obiekcie ruchy cząstek rządzone są prawem Maxwella, obsadzenie poziomów energetycznych prawem Boltzmann, stan jonizacji prawem Sahy, a rozkład widmowy wypełniającego ten obiekt promieniowania — jak się rzekło — prawem Plancka. Ponadto, i jest to ogromnie ważne, występująca w tych prawach temperatura jest w stanie r.t. jednakowa dla nich wszystkich.

Tu można zaraz zauważyć, że stan r.t., jeżeli nawet jest gdzieś realizowany, to nie może być widzialny. Zobaczenie bowiem takiego obiektu jest możliwe tylko wtedy, gdy część jego promieniowania wydostanie się na zewnątrz, a wtedy nie ma już doskonałego „równoważenia się” procesów mikroskopowych. W szczególności zatem Słońce nie może być ciałem doskonale czarnym, z banalnego powodu: bo świeci. I nie chodzi tu o potoczny sens tych słów: skoro świeci, to nie jest czarne. Chodzi o to, że przy powierzchni Słońca fotony w większości wylatują na zewnątrz, a więc nie ma pełnej równowagi, a więc ciało takie z definicji nie jest ciałem doskonale czarne w sensie fizycznym. Wobec tego może przynajmniej jego promieniowanie jest w przybliżeniu zgodne z prawem Plancka? Spróbujmy to rozważyć.

W najprostszym modelu zewnętrznych warstw gwiazdy przyjmujemy, że gwiazda ma „powierzchnię”, tzw. fotosferę, a wszystko co jest ponad nią to atmosfera. Fotosferę Słońca po prostu widać — na niej są granule, plamy i ona daje wrażenie ostrego brzegu tarczy naszej gwiazdy. Część promieniowania wybiegającego z fotosfery (niechby nawet o widmie planckowskim) zostaje przechwycona przez gaz atmosfery — głównie, jak wiadomo, wodór, mianowicie w tych miejscach widma ciągłego, gdzie energia kwantu jest równa różnicy energii jakichś dwóch poziomów energetycznych atomu wodoru. Inaczej mówiąc, wskutek przejść między poziomami energetycznymi współczynnik absorpcji wodoru ma przy pewnych częstościach (długościach fali) ostre maksima, a zatem widmo promieniowania przenikającego warstwę wodoru musi mieć w tych samych miejscach ostre minima — są to linie absorpcyjne.

Ale możliwe są również przejścia elektronów w atomach wodoru z rozmaitych poziomów do stanu niezwiązanego, czyli jonizacje. Domyślamy się, że promieniowanie o długiej fali (czyli niskoenergetyczne) praktycznie nie jest w stanie atomu zjonizować, a jeśli już, to z poziomów odpowiednio wysokich. Promieniowanie coraz bardziej krótkofalowe może jonizować wodór z poziomów coraz niższych, wreszcie promieniowanie o fali równej 912 Å i krótszej może jonizować wodór nawet z poziomu podstawowego. Dlatego wykres współczynnika absorpcji ciągłej wodoru ma tak charakterystyczną zębatą postać (rys. 2a). Rzecz jasna, widmo ciągłe



Rys. 2. Schematyczny przebieg zależności współczynnika absorpcji ciągłej dla wodoru (a) i wynikający z tego kształt widma ciągłego gwiazdy z atmosferą wodorową (b) i o typie zbliżonym do A0. Cienka linia to widmo ciała doskonale czarnego o tej samej temperaturze (10 500 K).

gwiazdy wodorowej również musi być zębata, z tą różnicą, że odpowiednie zęby będą skierowane w.dół (rys. 2b). Na rysunku tym zaznaczono cieńszą linią rozkład Plancka dla temperatury 10 500 K (taką temperaturę powierzchniową mają gwiazdy typu A0), obie krzywe zaś są tak wyskalowane, by pola pod nimi były jednakowe. W ten sposób mamy zapewnione, że jednostka powierzchni gwiazdy i powierzchni ciała doskonale czarnego o tej samej temperaturze mają jednakową moc całkowitą.

Zgodzimy się więc chyba, że nazywanie gwiazd ciałami doskonale czarnymi jest małą przesadą, albo — jak kto woli — pobożnym życzeniem. Założenie takie przyjmuje się, jeżeli naprawdę nic lepszego nie można zrobić, np. gdy trzeba coś szybko oszacować. Dlatego w dokładniejszych obliczeniach zakłada się, że wprowadzie ruchy cząstek, obsadzenie poziomów i stan jonizacji są takie jak w r.t., lecz rozkład promieniowania niekoniecznie. Mówimy wtedy, że w atmosferze gwiazdy panuje lokalna równowaga termodynamiczna. Oczywiście i to jest przybliżeniem i całe zagadnienie w zależności od potrzeb można dalej uściślać. W ogóle w przyrodzie występują prawie wyłącznie stany odległe od r.t. Np. pokój o temperaturze powietrza 300 K jest przeniknięty albo promieniowaniem słonecznym o temperaturze 6000 K, albo światłem żarówki o temperaturze 2000 K, korona słoneczna o temperaturze gazów około miliona kelwinów jest przeniknięta też promieniowaniem słonecznym, ośrodek międzygwiazdowy może być bardzo gorący (szybkie ruchy cząstek), a praktycznie wcale nie świeci (wskutek wysokiego rozrzedzenia), laser w temperaturze pokojowej może mieć ujemną temperaturę obsadzeń poziomów energetycznych (tzw. inwersja obsadzeń), Księżyc pozornie świeci światłem słonecznym (w każdym razie ma słoneczne widmo optyczne), ale temperatura jego powierzchni jest rzędu 400 K itd. Przykładów takich można by podawać bez liku, a dowodzą one znanego skądinąd faktu, że przyroda jest bardziej skomplikowana, niż nam się z początku wydaje.



Zadania

Redaguje dr Rafał SZTENCEL

M 502. Udowodnić następującą cechę podzielności przez 19. Odrzucamy ostatnią cyfrę i podwojoną dodajemy do otrzymanej w ten sposób liczby. Operację tę powtarzamy, dopóki nie otrzymamy liczby dwucyfrowej. Otrzymana liczba jest podzielna przez 19 wtedy i tylko wtedy, gdy badana liczba jest podzielna przez 19.

Rozwiązanie na str. 6

M 503. Niech h_1 i h_2 będą wysokościami trójkąta, a r promieniem okręgu wpisanego. Wykazać, że

$$\frac{1}{2r} < \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} < \frac{1}{r}.$$

Rozwiązanie na str. 6

M 504. Należy zmierzyć długość dwóch kijów (jeden z nich jest wyraźnie dłuższy od drugiego). Można wykonać dwa pomiary. Błąd pomiaru jest zmienną losową X o wartości oczekiwanej $EX = 0$ i odchyleniu standardowym $\sqrt{D^2X} = \sigma$. Czy istnieje lepsze wyjście, niż pomiar długości każdego kija z osobna?

Rozwiązanie na str. 13

Redaguje dr Rafał STAROŃSKI

F 242. Wyznaczyć moc spirali elektrycznej suszarki do włosów przyjmując, że suszarka daje 72 kg/godz powietrza ogrzanego o 50°C.

Rozwiązanie na str. 7

F 243. Ogrzane w pobliżu powierzchni Ziemi powietrze unosi się do góry, rozszerzając się przy tym z powodu spadku ciśnienia. Rozszerzaniu towarzyszy ochłodzenie, ponieważ proces jest w przybliżeniu adiabatyczny (można zaniedbać wymianę ciepła z otoczeniem). Zjawisko to jest przyczyną powstawania chmur. Wyznaczyć spadek temperatury powietrza na każde 100 m wysokości.

Rozwiązanie na str. 6

W obu zadaniach należy przyjąć: średnią masę molową powietrza równą 29 g/mol, molowe ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu równe 29,3 J/mol · K, a także założyć, że powietrze jest gazem doskonałym.