

Kolejny iloraz to $\frac{\text{masa całej materii Wszechświata}}{\text{masa protonu}} =$

= całkowita liczba nukleonów $\equiv N_0$.

Astrofizycy szacują tę liczbę na 10^{78} .

(c) $N_0 \approx 10^{78} \approx t_0^2$.

Inny przykład to stosunek klasycznego promienia elektronu do długości Plancka l_p :

(d) $C_0 \equiv \frac{\text{kl. prom. elektronu}}{l_p} \approx 10^{20} \approx t_0^{1/2}$

$l_p \equiv (hG/c^3)^{1/2} \approx 10^{-33}$ cm.

Podobnych związków można znaleźć więcej.

Może to tylko przypadek, że udało nam się pewne bezwymiarowe wielkości prosto związać z t_0 , ale ciekawe byłoby założyć, że takie relacje są faktem i zbadać ich konsekwencje.

Tak właśnie zrobił wielki fizyk Paul Dirac. Zaproponował on następującą hipotezę:

HIPOTEZA WIELKICH LICZB

Wielkie bezwymiarowe liczby są proporcjonalne do czasu kosmicznego w pewnych prostych potęgach.

Zgodnie z tą hipotezą związki (a), (b), (c) i (d) są słuszne dla dowolnej chwili czasu kosmicznego t .

$$\begin{array}{ll} \text{(a')} & A = t \\ \text{(b')} & B = t \\ \text{(c')} & N = t^2 \\ \text{(d')} & C = t^{1/2} \end{array}$$

Dirac uczynił jeszcze jedno założenie. Przyjął, że stałe atomowe są istotnie stałe.

Popatrzmy teraz na związek (c'). Ponieważ wartość t rośnie, musi też rosnąć ilość nukleonów. Doszliśmy zatem do warunku ciągłej kreacji materii we Wszechświecie. Względny przyrost masy M dowolnego obiektu (np. pomieszczenia redakcyjnego Delt) w czasie Δt wynosiłby

$$\left(\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta M}{M} \right)_0 = \frac{2}{t_0} = 2 \cdot 10^{-10} / \text{rok}.$$

Niestety, jest to liczba zbyt mała, aby można było sprawdzić ją doświadczalnie.

Konsekwencją formuły (a') lub (d') jest zmiana stałej grawitacyjnej w czasie:

$$G \sim t^{-1}.$$

Zgodnie z tą formułą względna zmiana G w czasie Δt powinna wynosić

$$-\left(\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta G}{G} \right)_0 = \frac{1}{t_0} \approx 8,3 \cdot 10^{-11} / \text{rok}.$$

Zaczęto naturalnie szukać obserwacyjnego potwierdzenia tych zmian. Stwierdzona została względna zmiana G na poziomie $9(\pm 4) \cdot 10^{-11} / \text{rok}$. Jednak nie wszyscy są przekonani o dokładności przeprowadzonych pomiarów.

Należy podkreślić, że ewentualne zmiany stałej grawitacji G mają bardzo istotne konsekwencje astronomiczne i kosmologiczne. Przykładem niech będzie wpływ tych zmian na ewolucję gwiazdy (np. naszego Słońca). Całkowita ilość energii wypromieniowywanej przez gwiazdę w jednostce czasu silnie zależy od G ($\sim G^8$). Jeśli rzeczywiście w poprzednich epokach G było większe, to i ilość wypromieniowanej energii była większa niż obecnie. Reakcje termojądrowe we wnętrzu gwiazdy zachodziły szybciej, a tym samym szybsza była ewolucja gwiazdy. Obliczono, że w takiej sytuacji Słońce wyglądałoby w tej chwili zupełnie inaczej — byłoby tzw. czerwonym olbrzymem. A przecież tak nie jest. Przypomnijmy jeszcze jedną rzecz o kapitalnym znaczeniu. Teoria Einsteina wymaga istotnej stałości stałej grawitacji. Jak z tymi trudnościami poradził sobie Dirac, oraz o niektórych wnioskach z jego hipotezy napiszemy innym razem.

Masery kosmiczne



Dr Tomasz KWAST

Powszechnie przyjętą w fizyce metodą badawczą jest poznanie zjawisk czy obiektów fizycznych przez badanie własności ich modeli. Takimi modelami są np. ciecz nielepką, gaz doskonały, soczewka cienka, wahadło matematyczne i wiele innych. Jest nim również tzw. równowaga termodynamiczna (RT). Jest to model pewnego specyficznego stanu materii, mianowicie takiego, w którym dokładnie równoważą się wszelkie procesy zachodzące w tej materii. Jeżeli np. jakiś gaz znajduje się w RT, to znaczy, że w każdej chwili tyle samo cząstek porusza się w prawo co i w lewo, w jednostce czasu następuje tyle samo wzbudzeń atomów co i przejść na niższe poziomy energetyczne, tyle samo jonizacji co rekombinacji itd. Również promieniowanie przenikające ten gaz w stanie RT ma specjalny rozkład widmowy i w jednostce czasu zachodzi tyle samo pochłonięć fotonów co ich emisji. Dokładniej, stan RT charakteryzuje się tym, że prędkości cząstek podlegają rozkładowi Maxwella, obsadzenia poziomów energetycznych rozkładowi Boltzmanna, stan jonizacji równaniu Sahy, a rozkład widmowy promieniowania prawu Plancka, przy czym wszystkie te rozkłady obowiązują dla tej samej temperatury.

RT, jak każdy model, jest w przyrodzie realizowana jedynie w lepszym lub gorszym przybliżeniu. Np. w dzień w każdym pokoju prędkości cząstek w powietrzu odpowiadają temperaturze pokojowej, zaś rozkład widmowy promieniowania przenikającego pokój odpowiada temperaturze powierzchni Słońca. Mówimy, że temperatura kinetyczna nie jest równa temperaturze jasnościowej, a to już dowodzi braku RT.

Stan bliski RT panuje natomiast w ciemni fotograficznej przy wygaszonych wszystkich światłach lub w samym centrum gwiazdy.

Rozpatrzmy, co dzieje się z promieniowaniem o natężeniu I przechodzącym przez jakiś ośrodek. Przyjmijmy dla uproszczenia, że atomy ośrodka mają tylko dwa stany energetyczne. Gęstość atomów w stanie niższym o energii E_1 oznaczmy przez N_1 , zaś znajdujących się w stanie wyższym o energii E_2 przez N_2 . Naturalnie, część promieniowania zostanie pochłonięta przez niektóre z atomów znajdujących się akurat w stanie niższym, z kolei niektóre atomy znajdujące się w stanie wyższym wyświecą nieco tego promieniowania. Zjawisk to wygodnie jest opisać przy pomocy tzw. współczynników Einsteina A_{21} , B_{21} i B_{12} , które oblicza się metodami mechaniki kwantowej, a które są tak określone, że $N_1 B_{12} I$ jest liczbą atomów w jednostce objętości, które w jednostce czasu przechodzą na poziom wyższy (a więc pochłaniają część promieniowania), $N_2 A_{21}$ jest analogiczną liczbą atomów, które spontanicznie przechodzą z poziomu wyższego na niższy, wreszcie $N_2 B_{21} I$ liczbą atomów, które również dokonują przejścia „w dół”, ale przejścia wymuszonego pod wpływem promieniowania przenikającego ośrodek. W stanie RT oczywiście liczba przejść w dół musi być równa liczbie przejść w górę. Inaczej można też powiedzieć, że ilość energii wyświeconej musi być równa ilości energii pochłoniętej. Zatem skoro przy każdym przejściu jest pochłaniany lub wyświecany kwant o energii $E_2 - E_1 = h\nu$, to

$$N_2 A_{21} h\nu + N_2 B_{21} I h\nu = N_1 B_{12} I h\nu.$$

Stan RT, jak mówiliśmy, jest tylko fizycznym modelem, zatem ostatnia równość na ogół nie jest spełniona. Zawsze natomiast jest prawdą, że przyrost natężenia promieniowa ΔI po przebyciu jednostkowej drogi jest równy nadwyżce energii wyswieconej nad pochłoniętą, czyli

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{\Delta s} &= N_2 A_{21} h\nu + N_2 B_{21} I h\nu - N_1 B_{12} I h\nu = \\ &= N_2 A_{21} h\nu - N_1 B_{12} \left(1 - \frac{N_2 B_{21}}{N_1 B_{12}} \right) I h\nu. \end{aligned}$$

I teraz widać ciekawą rzecz. W stanie RT obsadzeniem poziomów rządzi rozkład Boltzmanna, według którego

$$N_2 B_{21} / N_1 B_{12} = \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{kT}\right) < 1. \text{ Jeżeli natomiast}$$

dałoby się w ośrodku zrealizować taką sytuację, że $N_2 B_{21} / N_1 B_{12}$ stałoby się większe od jedności (czyli jak gdyby temperatura wzbudzeniowa T stała się „ujemna”), to całe wyrażenie po prawej stronie równości stałoby się dodatnie, a w konsekwencji ΔI stałoby się dodatnie, czyli ośrodek wzmacniałby promieniowanie. Powstałby w ten sposób tzw. laser lub maser — słowa te składają się z początkowych liter angielskiej nazwy tego zjawiska: *Light* (albo *Microwave*) *Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, w zależności od tego, czy zjawisko dotyczy światła widzialnego czy mikrofal.

W jaki sposób wywołuje się zjawisko maserowe? Najczęściej robi się w ten sposób, że atomy ośrodka wzbudza się (przez oświetlenie silnym promieniowaniem lub przez przepuszczenie iskry elektrycznej) na jakiś trzeci poziom wyższy od obu poziomów maserowych. Proces ten nazywa się „pompowaniem”. Następnie atomy „spadają” z niego na wyższy poziom maserowy powodując jego obsadzenie obfitsze, niż wynika z rozkładu Boltzmanna. Tym samym powstają warunki sprzyjające wystąpieniu zjawiska maserowego i ośrodek jest gotów wzmacniać promieniowanie.

Okazało się, że zjawisko maserowe, którego opanowaniem tak się chlubi, przyroda wykorzystuje już od dawna. Mianowicie w 1963 r. radioastronomowie amerykańscy zidentyfikowali w pasmie 18 cm cztery linie radiowe (o częstościach 1612, 1665, 1667 i 1720 MHz) pochodzące od międzygwiazdowych cząsteczek OH. Po bliższym badaniu stwierdzono, że każda z tych czterech linii składa się z licznych blisko siebie leżących i bardzo ostrych maksimów. Zinterpretowano to w ten sposób, że każde maksimum jest promieniowane przez inny obłok cząstek OH, zaś same obłoki widocznie poruszają się względem siebie. Ostrość maksimów świadczyłaby o niskiej temperaturze obłoków, gdyż wtedy ruch cząsteczek jest stosunkowo powolny i dopplerowskie rozmycie linii jest niewielkie. Z drugiej strony, duże natężenie tych linii świadczyłoby, przeciwnie,

o temperaturze niezwykle wysokiej. Dowodzi to natychmiast braku RT w tych obłokach, a obserwowana sytuacja daje się wytłumaczyć hipotezą, że wspomniane cztery linie radiowe powstają w wyniku zjawiska maserowego. Powstaje pytanie, w jaki sposób pompowane są owe kosmiczne masery. Nie mamy możliwości przesłania tu dość żmudnej analizy danych obserwacyjnych, która dałaby jasną odpowiedź na to pytanie. W skrócie, okazało się, że w dobrej zgodzie z obserwacjami jest hipoteza wysunięta przez radzieckiego astronoma J. Szklowskiego. Według niej pompowanie maserów kosmicznych odbywa się przy pomocy podczerwonego promieniowania przenikającego obłoki OH. Znalazienie tego rozwiązania nie było proste, gdyż radioźródła maserowe nie stanowią jednorodnej grupy obiektów. Wyróżniono wśród nich trzy typy różniące się względnymi natężeniami poszczególnych linii i dwa z nich, poza wspólnym mechanizmem pompowania, mają jeszcze jedną cechę wspólną, o której powiemy na końcu.

Otóż radioźródła typu I o silnych liniach 1665 i 1667 MHz obserwuje się w zwartych strefach zjonizowanego wodoru międzygwiazdowego, zaś typu II z silną linią 1612 MHz utożsamiane są z punktowymi źródłami podczerwieni. Strefa wodoru zjonizowanego może istnieć wtedy, gdy w jej wnętrzu znajduje się dostatecznie gorąca gwiazda, zdolna swoim krótkofalowym promieniowaniem jonizować otaczający ją wodór międzygwiazdowy. Tych gwiazd jednak się w źródłach maserowych nie obserwuje, czego przyczyną może być ogromna warstwa pyłu pochłaniającego światło, a emitującego następnie podczerwone promieniowanie pompujące. Lecz wewnątrz takiego obłoku będzie wtedy panować ciśnienie powodujące szybkie jego rozproszenie. Zatem każde tego rodzaju źródło maserowe stowarzyszone ze strefą zjonizowanego wodoru jest obiektem młodym, jak również młoda musi być centralna gorąca gwiazda. Z kolei obiektami pompującymi źródła maserowe II typu okazały się obłoki materii międzygwiazdowej o temperaturze zaledwie rzędu setek kelwinów. Sądząc po obserwowanej mocy, obłok taki powinien mieć rozmiary rzędu nawet setek jednostek astronomicznych i dostatecznie dużą masę, aby w ogóle mógł istnieć przez rozsądny czas. Wtedy okazuje się jednak, że nie może on być tworem stabilnym, lecz musi znajdować się w stadium zapadania się pod wpływem własnej grawitacji. Jest to zatem tzw. protogwiazda, czyli obiekt, który dopiero

w przyszłości stanie się gwiazdą. I tu dochodzimy do niezwykle ważnego wniosku. Tą drugą cechą wspólną maserowych źródeł typu I i II jest ich młodość. Ich promieniowanie maserowe jest sygnałem dla astronomów, że gdzieś niemal na naszych oczach lub bardzo niedawno powstała gwiazda. I chyba godne uwagi jest, że o swoich narodzinach gwiazdy sygnalizują nam przy pomocy tego, co w technice nazwalibyśmy „najnowszym osiągnięciem optyki kwantowej”, czyli przy pomocy naturalnego masera.



Ramiona spiralne



Doc. dr Jerzy STODÓŁKIEWICZ

Jest paradoksem, że łatwiej poznać wygląd odległych galaktyk niż tej, w której żyjemy. Podobnie, znajdując się w lesie, w gęstwinie drzew i krzewów, nie jesteśmy w stanie ogarnąć wzrokiem jego ogólnych zarysów, rozmieszczenia w nim polan i zagajników, przecinających go dróg i ścieżek. Dopiero gdy wzniesiemy się w górę i okiem ptaka spojrzymy na rozciągający się pod nami teren, możemy dostrzec całe jego bogactwo: kształt lasów i pól, piaszczyste wydmy, rzeki, łąki i jeziora. Uwięzieni w płaszczyźnie Drogi Mlecznej, otoczeni przez nieprzezroczystą materię międzygwiazdową, z trudem zdobywamy wiadomość