

Jak zajrzeć do wnętrza Słońca czyli co robi astronom w kopalni złota



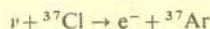
Dr Michał RÓŻYCZKA

Wszyscy wiemy, że Słońce świeci dzięki odbywającym się głęboko w jego wnętrzu reakcjom jądrowym (Patrz w niebo, „Delta” 11/1982). Jak jednak sądzę, większość Czytelników „Delt” miałaby kłopoty z objaśnieniem, skąd tę wiedzę czerpiemy: obserwujemy przecież tylko atmosferę Słońca, a w panujących w niej warunkach żadne reakcje jądrowe odbywać się nie mogą. Do takiego a nie innego opisu źródeł słonecznej energii dotarto dość zawiłą drogą kolejnych — miejmy nadzieję coraz lepszych — domysłów. W latach 30-tych naszego wieku okazało się, że w warunkach, jakich oczekiwano we wnętrzach gwiazd, może dochodzić do samorzutnej syntezy jąder atomów helu z protonów, który to proces niezbyt ściśle nazywa się w astrofizyce „spalaniem wodoru”. Z czysto formalnego punktu widzenia to, że energia wyświecana przez Słońce pochodzi z tak rozumianego spalania wodoru, trzeba było na początku po prostu założyć. Opierając się na tym i innych jeszcze założeniach (dla przykładu — jest wśród nich takie, które mówi o braku systematycznych ruchów materii we wnętrzu Słońca) otrzymano układ równań różniczkowych — tzw. układ równań budowy. Jego rozwiązaniem jest zbiór funkcji opisujących zmiany różnych parametrów (gęstości, ciśnienia itp.) z odległością od środka Słońca (Patrz w niebo w tym numerze „Delt”). Rozwiązania, które dla odległości równej promieniowi Słońca zgadzają się z parametrami znanymi z obserwacji jego powierzchni, noszą nazwę modeli Słońca. Dla niewielkich odległości od środka podają one tak duże wartości gęstości (ok. 150 g/cm^3) i temperatury (ok. 15 mln K), że wydajność reakcji jądrowych jest w tych warunkach zgodna z oczekiwaną, a wyjściowe założenie okazuje się wewnątrznie niesprzeczne. Oparte na nim modele mają inne jeszcze pożądane własności (np. „długowieczność” rzędu tej, jakiej wymaga od Słońca paleontologia); tak więc nie pozostaje nam nic innego, jak uznać, iż postulując swego czasu nuklearną naturę słonecznej energii odnaleźliśmy właściwy trop.

Tego, co nam o wnętrzu Słońca opowiadają rozwiązania równań budowy nie sposób jednak nazwać inaczej, niż domysłem. Jego rzetelna, tj. eksperymentalna, a nie logiczna, weryfikacja stała się możliwa dopiero na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Pamiętamy zapewne, że większość energii wydzielanej podczas spalania wodoru ma postać kwantów promieniowania gamma, które w swej wędrówce ku powierzchni Słońca wielokrotnie dzielą się w oddziaływaniach z różnymi atomami i jonami na kwanty o coraz to większej długości fali. Po ok. 100 000 lat takiej połączonej z rozdrabnianiem się podróży docierają do powierzchni Słońca jako światło widzialne, które samo w sobie nie jest oczywiście żadnym dowodem na to, iż we wnętrzu Słońca reakcje jądrowe rzeczywiście zachodzą (gdyby wewnątrz to było zupełnie martwe już od 99 999 lat, to i tak dowiedzielibyśmy się o tym nie wcześniej, niż za rok).

Na szczęście dla eksperymentatorów, spalaniu wodoru towarzyszy emisja uważanych do niedawna za bezmasowe neutrin, dla których wnętrze Słońca jest całkowicie przezroczyste i które już po 8 minutach od chwili wyprodukowania trafiają na Ziemię. Zaobserwowanie strumienia słonecznych neutrin byłoby więc równoważne tytułowemu „zajrzeniu do wnętrza Słońca” połączonemu z uzyskaniem najświeższych o tym wnętrzu informacji. Jako niesłychanie przenikliwe neutrina są, niestety, bardzo trudno wykrywalne (trudno się temu dziwić, skoro — jak powiedzieliśmy przed chwilą — mogą bez przeszkód przelatywać przez Słońce).

Przy konstruowaniu detektora neutrin słonecznych postanowiono wykorzystać reakcję



niezrównowagi rozpadu beta, w wyniku której jądro atomu chloru przekształca się w nietrawne jądro atomu argonu o okresie połowicznego rozpadu 35 dni. Na powierzchni Ziemi chlor może zamienić się w argon także pod wpływem promieniowania kosmicznego; na szczęście efekt ten można wyeliminować umieszczając detektor dostatecznie głęboko pod ziemią (objaśnia to drugą część tytułu). Jeszcze do niedawna umieszczenie obserwatorium głęboko pod ziemią byłoby tylko absurdem niezgodnym z „naturą” astronomii. Dotychczas starano się umieszczać instrumenty „jak najbliżej nieba” — na szczytach wysokich gór, na pokładzie satelitów itp. Uruchomiony w końcu lat sześćdziesiątych i działający do dziś detektor neutrinowy Davisa jest zbiornikiem o pojemności ok. 400 000 l wypełnionym perchloroetylenem (C_2Cl_4) i umieszczonym na głębokości ok. 1600 m w kopalni złota Homestack znajdującej się w Południowej Dakocie. W regularnych odstępach czasu jest on przedmuchiwany helem, który wynosi zeń cały wyprodukowany przez neutrina argon (zwykle ok. 100 atomów). Zaadsorbowany na filtrach węglowych argon trafia następnie pod liczniki proporcjonalne, gdzie rozpadające się jądra są





skrzętnie liczone (mimo iż wydaje się to nieprawdopodobne, błąd takich zliczeń nie przekracza 5%, co stwierdzono wpuszczając do zbiornika znaną liczbę atomów argonu).

Od kilku już lat wiemy, że neutrin słonecznych jest „za mało”: ponad trzykrotnie mniej, niż chcą tego modele Słońca. Rozbieżność tę próbowano usunąć na różne sposoby konstruując mniej lub bardziej „dziwnione”, lub jeśli ktoś woli „naciągane” modele, jednak w ramach astrofizyki nie osiągnięto właściwie niczego. Na obserwowany deficyt składa się prawdopodobnie kilka efektów, wśród których niebagatelną rolę mogą odgrywać hipotetyczne oscylacje stanu neutrin. Jeśli rzeczywiście mają one masę różną od zera (jak to się zdaje wynikać z przeprowadzonych ostatnio eksperymentów), to mogą w drodze ze Słońca na Ziemię zmieniać swój stan w sposób uniemożliwiający detekcję. Na ostateczne rozwiązanie problemu przyjdzie prawdopodobnie poczekać do chwili zainstalowania w kopalni złota lub w innym równie egzotycznym dla astronoma miejscu, nowego, dokładniejszego i czulszego detektora, w którym substancją czynną będzie prawdopodobnie lit lub gal.



Rozważmy płaską pętlę z prądem stałym umieszczoną w jednorodnym polu magnetycznym. Przewodniki niech będzie nieważki, jednorodny, giętki i nierozciągliwy. W położeniu równowagi energia zwoju

$$V = -p_m \cdot B, \quad p_m \text{ — moment magnetyczny zwoju,}$$

będzie minimalna. Wynika stąd, że zwój ustawi się tak, by p_m było równoległe do B , czyli w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku pola. W płaszczyźnie tej żaden kierunek nie jest wyróżniony, więc zwój przyjmie kształt okręgu. Ponieważ $p_m = S \cdot I$, gdzie S jest polem powierzchni obejmowanej przez zwój, więc

spośród figur płaskich o zadanym obwodzie największe pole ma koło.

Dwa nieważkie, naelektryzowane ładunkami o przeciwnych znakach koraliki nanizano na sztywne druty krzywoliniowe (bez załamań). W położeniu równowagi siły elektrostatyczne muszą działać wzdłuż normalnej do obu drutów, ponieważ jakiegokolwiek składowe styczne wyprowadzałyby układ z tego położenia. Stanowi równowagi odpowiada również minimalna energia, co wymaga najmniejszej odległości ładunków. Wynika stąd, że:

najkrótszy odcinek łączący dwie gładkie krzywe jest do nich prostopadły.

W wierzchołkach dowolnego czworokąta $ABCD$ umieszczono cztery jednakowe masy. Środek ciężkości takiego układu można wyznaczyć na trzy sposoby. Najpierw znajdujemy środek ciężkości X mas A i D . Dzieli on \overline{AD} na połowy. Podobnie środek ciężkości Y mas C i B jest środkiem odcinka \overline{CB} . Środek ciężkości całego układu leży więc w środku odcinka \overline{XY} . W taki sam sposób można znaleźć środek ciężkości mas $ABCD$ wyznaczając środki ciężkości par AB i CD albo BD i AC . Środek ciężkości układu jest jednak tylko jeden, zatem:

odcinki łączące środki przeciwległych krawędzi czworokąta przecinają się w jednym punkcie dzielącym te odcinki na połowy.



Zadania

Redaguje mgr Krzysztof S. NOWIŃSKI

M 316. Z ilu co najmniej czworokątów można złożyć sześcian?

Rozwiązanie na str. 16

M 317. Wykazać, że istnieje liczba podzielna przez 5^{1000} , której zapis dziesiętny nie zawiera zer.

Rozwiązanie na str. 16

M 318. Wykazać, że jeżeli liczby p i $8p^2 + 1$ są pierwsze, to $8p^2 - 1$ też jest pierwsza.

Rozwiązanie na str. 16

Redaguje mgr Tomasz TRATKIEWICZ

F 126. W ognisku soczewki skupiającej znajduje się punktowe źródło światła. Przyjmijmy, że soczewka nie odbija, nie rozprasza i nie pochłania padającego na nią światła oraz iż spełnione są ściśle prawa optyki geometrycznej. Wykazać, że soczewka przyciągana jest w kierunku źródła światła.

Rozwiązanie na str. 16

F 127. Małe kuleczki szklane można „zawiesić” w pionowej wiązce laserowej, podobnie jak piłki ping-pongowe w strumieniu powietrza. Wyjaśnić problem stabilności kuleczek.

Rozwiązanie na str. 16