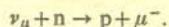


Teleskop neutrinowy, stanowi układ pojemników P, wypełnionych scyntylatorem tj. cieczą, która pobudzana jest do świecenia przez przechodzące miony. Każdy pojemnik ze scyntylatorem wyposażony jest w parę liczników fotonów L. Rejestrowane są wyłącznie miony, przychodzące pod małymi kątami do płaszczyzny horyzontu, tj. tylko takie, które uruchamiają jednocześnie dwie pary liczników (dowolną parę po lewej i dowolną parę po prawej).

Źródłem rozblysków neutrinowych mogą być również procesy gwałtownego zapadania się jąder galaktyk. Pierwsze neutrino wysokoenergetyczne, pochodzące prawdopodobnie od supernowych, zarejestrowali w roku 1965 fizycy amerykańscy w kopalni złota w Afryce Południowej na głębokości 3 km. Następnie doświadczenie to zostało powtórzone w Indiach. W obu przypadkach rejestrowano miony wyprodukowane w wyniku reakcji



Rejestrowane były tylko te cząstki, które trafiły do detektora pod małymi kątami do płaszczyzny horyzontu, tj. wyłącznie miony wyprodukowane przez neutrina, które przeszły przez grubą warstwę ziemi. W ten sposób pozbyto się mionów, wyprodukowanych w atmosferze przez promienie kosmiczne (bowiem takie miony wpadałyby do detektora pod kątami bliskimi 90°). Taki detektor pozwalał również na przybliżone ustalenie kierunku, z którego zostały wyemitowane neutrina, będąc tym samym rodzajem prymitywnego teleskopu. W roku 1978 dwa podobne teleskopy zostały uruchomione w Związku Radzieckim. Niestety, czułość wszystkich istniejących teleskopów neutrinowych jest ciągle jeszcze niewielka, a wyniki osiągnięte do tej pory — nadal skromne (od roku 1965 do 1979 zarejestrowano zaledwie kilkaset mionów). Istnieją również niezwykle ambitne (i kosztowne) projekty detektorów neutrin wysokich energii, które prawdopodobnie zostaną zrealizowane w najbliższej przyszłości. Jeden z takich projektów oparty jest na fackie, że wysokoenergetyczne cząstki naładowane, wyprodukowane przez neutrina, poruszając się w wodzie powinny wywołać gwałtowny wzrost temperatury w wąskich obszarach, przylegających do ich torów (i mających postać „rurek”), co z kolei powoduje powstanie fali akustycznej. Rolę detektora w omawianym doświadczeniu pełni woda morska wypełniająca obszar oceanu o objętości około 100 km³. Fale akustyczne rejestrowane są przez mikrofony umieszczone co 100 m w sześcianie o boku 4,5 km.

Najtrudniejszym i jednocześnie najbardziej interesującym zadaniem astronomii neutrinowej jest rejestracja neutrin reliktowych. Rejestrując te cząstki, zyskalibyśmy możliwość odtworzenia warunków, jakie panowały we Wszechświecie od chwili, gdy od „wielkiego wybuchu” upłynęła zaledwie sekunda, bowiem od tej chwili Wszechświat stał się całkowicie przezroczysty dla neutrin. Warto przy tym zdawać sobie sprawę z tego, że fotony reliktowe przestały oddziaływać z materią znacznie później, niż neutrina, bo dopiero po upływie około miliona lat od „wielkiego wybuchu”, gdy Wszechświat rozszerzył się na tyle, aby temperatura zmalała do 3000 K i elektrony (będące zresztą główną przyczyną nieprzezroczystości gwiazd) połączyły się z protonami, tworząc neutralny wodór. Niestety, niskoenergetyczne neutrina reliktowe tak słabo oddziałują ze zwykłą materią, że nikt nie jest w stanie wymyślić metody pozwalającej na rejestrowanie tych cząstek.

Widać z powyższego, że perspektywy badawcze otwierające się przed astronomią neutrinową przedstawiają się niezwykle kusząco — neutrina przeświatają bowiem „na wylot” niemal cały Wszechświat (mogłyby stanowić doskonałą falę nośną do przesyłania informacji na dowolnie wielkie odległości bez najmniejszych zakłóceń, jak słusznie zauważył Stanisław Lem w „Głosie Pana”). Jednak słabe oddziaływanie neutrin z materią — cecha, dla której wiążemy tak wielkie nadzieje z astronomią neutrinową — jest jednocześnie głównym źródłem jej kłopotów. Przezroczysty dla neutrin jest bowiem nie tylko Wszechświat, ale i nasze przyrządy pomiarowe.

Roman JUSZKIEWICZ

Jądra atomowe o egzotycznym składzie

Najtrwalsze są jądra atomowe o określonym stosunku liczby neutronów do liczby protonów. Jądra te tworzą na mapie nuklidów tzw. ścieżkę trwałości β . Jądro, które nie leży na tej ścieżce, ulega przemianom β i w rezultacie, poprzez zmianę składu, zostaje na nią sprowadzone. Jądra spoza ścieżki trwałości są w większości wytwarzane sztucznie w reakcjach jądrowych. Tylko stosunkowo mała ich część powstaje przez rozpad jąder ciężkich występujących w przyrodzie. Obecnie potrafimy wytwarzać i badać jądra położone daleko od ścieżki trwałości. Mają one od ok. 20 neutronów mniej (albo więcej) niż jądro tego samego pierwiastka położone na ścieżce. Stąd też i własności takiego jądra są często bardzo różne od własności odpowiedniego jądra na ścieżce, a czasy życia bardzo krótkie, rzędu drobnych części sekundy.

Ścieżka trwałości nie jest nieskończenie długa. Urywa się ona na jądrze $^{209}_{83}\text{Bi}$, które jest najcięższym jądrem trwałym. Wszystkie jądra cięższe rozpadają się przez rozszczepienie lub rozpad α . Przyczyną jest tu wzrost odpychania kulombowskiego naładowanych elektrycznie protonów, przy wzroście ich liczby (liczba atomowa Z) w jądrze. Jeszcze tylko trzy nuklidy: $^{232}_{90}\text{Th}$, $^{238}_{92}\text{U}$ i $^{244}_{98}\text{U}$ mają dostatecznie długie czasy życia, rzędu miliardów lat, by przetrwać na Ziemi od czasu jej powstania. Wszystkie inne jądra nietrwałe, występujące w sposób naturalny na Ziemi, są produktami rozpadu tych trzech. W sposób sztuczny udało się dokonać syntezy jąder aż do $Z = 106$, (wytworzone ostatnio pierwiastki nie mają jeszcze uzgodnionej, oficjalnej nazwy).

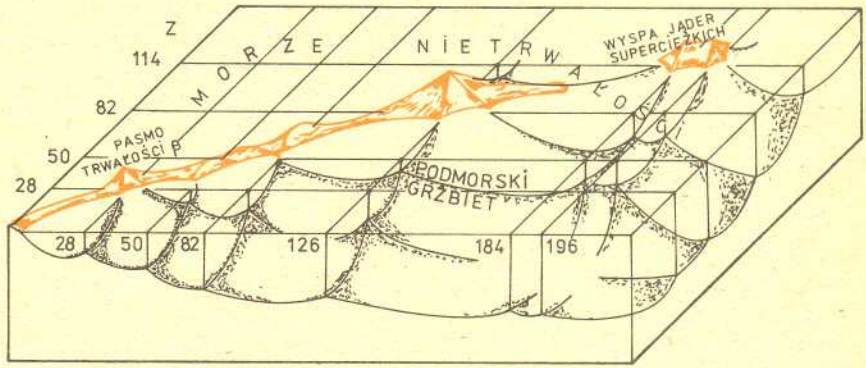
Rozwiązanie zadania F 92. Obraz rzeczywisty przedmiotu punktowego powstaje w punkcie przecięcia wiązki promieni zbieżnych. Jeśli na zwierciadło płaskie pada wiązka zbieżna, której punkt zbieżności leży za powierzchnią odbijającą (jest to wtedy, jak mówimy, przedmiot pozorny), wtedy po odbiciu powstaje obraz rzeczywisty. Sytuacja taka ma miejsce w układach optycznych. Chcąc potraktować problem bardziej formalnie zauważmy, że dla zwierciadła płaskiego obowiązuje równanie prostej przyrzędu optycznego: $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$, przy $f \rightarrow \infty$. Równanie zwierciadła płaskiego ma więc postać: $y = -x$. Gdy $y > 0$ (obraz rzeczywisty), to $x < 0$ (przedmiot pozorny).

Skala ilości poznanych dotychczas jąder: Trwałych jąder jest 264. Znamy je wszystkie. Razem z nietrwałymi, poznaliśmy dotychczas ok. 2000 różnych jąder. Liczbę wszystkich jąder (tj. układów nukleonów, które są w stanie związać się na czas dostatecznie długi, rzędu $10^{-19} - 10^{-16}$ s, by zdążyły stworzyć pewną całość o charakterystycznych dla niej własnościach), ocenia się na ok. 6000.

Synteza taka jest bardzo kosztowna i trudna. Jądra najcięższe wytwarzane są w niesłychanie małych ilościach, często rzędu jednego jądra na godzinę pracy akceleratora. Biorąc pod uwagę, że czasy ich życia są rzędu ułamka sekundy, widać, że badane są oddzielnie pojedyncze jądra. Z drugiej jednak strony, egzotyka aktualnych granic poznania jest na tyle pociągająca, że te kosztowne i trudne badania są prowadzone.

Jednym z głównych pytań jest tutaj kwestia, jak daleko możemy w ogóle dojść. Ekstrapolacja własności poznanych już jąder najcięższych prowadzi do wniosku, że możemy posunąć się już tylko bardzo niedaleko, dwa, może trzy pierwiastki dalej. Jeśli jednak uwzględnić strukturę powłokową jądra, to okazuje się, że jest szansa na istnienie jąder znacznie cięższych, tzw. jąder superciężkich.

Przy pewnych liczbach protonów Z lub neutronów N (zwanymi historycznie, z czasów, gdy nie potrafiliśmy ich jeszcze objaśnić, liczbami „magicznymi”) jądra są szczególnie trwałe. Odpowiada to zamkniętym powłokom jądrowym, podobnie do zamkniętych powłok atomowych (elektronowych), którym odpowiadają pierwiastki szczególnie trwałe chemicznie (gazy szlachetne). Otóż gdyby wśród jąder bardzo ciężkich wystąpiło jądro magiczne (a przewidywania teoretyczne wskazują na to), a szczególnie podwójnie magiczne (tzn. i Z , i N magiczne), to jądro takie i sąsiednie do niego mogłyby być dostatecznie trwałe, by je zaobserwować.



Ilustruje to zamieszczona poglądowa mapa. Jądra najtrwalsze odpowiadają punktom wznoszącym się najwyżej ponad poziom „morza nietrwałości”. Jądra ze ścieżki trwałości β tworzą półwysp, który po przejściu wierzchołka trwałego jądra podwójnie magicznego ${}_{82}^{208}\text{Pb}$ ($Z = 82$ i $N = 126$; jest to najcięższe znane jądro podwójnie magiczne) dosyć szybko zaczyna się pogrążyć (wskutek wzrostu odpychania kulombowskiego) w morzu nietrwałości.

Przewidywane jednak teoretycznie podwójnie magiczne jądro ${}_{114}^{298}\text{X}$ ($Z = 114$, $N = 184$) [lub, jak przewidują niektórzy, ${}_{114}^{312}\text{X}$ ($Z = 114$, $N = 196$)] pozwala wynurzyć się lądowi jeszcze raz ponad morze w postaci wyspy jąder stosunkowo trwałych. Jest to właśnie hipotetyczna wyspa jąder superciężkich. Przewidywania czasów życia tych jąder dają wartości w bardzo szerokim zakresie. Niektóre są tak duże, że jądra te można by znaleźć na Ziemi ($T \geq 5 \cdot 10^9$ lat, tzn. porównywalne lub większe od wieku Ziemi). Inne są mniejsze, ale wciąż wystarczające, by szukać ich wśród jąder przychodzących do nas z Kosmosu w postaci pierwotnego promieniowania kosmicznego ($T \geq 10^8$ lat). Jeszcze inne dają czasy znacznie mniejsze, które jednak wystarczają, by poszukiwać ich wśród produktów syntezy jądrowej dokonywanej w laboratoriach.

Poszukiwania jąder superciężkich prowadzone są od ok. 15 lat. Dokonywane są one w próbkach wydobytych z głębi Ziemi i oceanów, w śniegach Arktyki, starych szklach i witrażach, w meteorytach, próbkach księżycowych, pierwotnym promieniowaniu kosmicznym, a także w produktach zderzenia ciężkich jąder przyspieszanych w akceleratorach. Jak dotąd, są one negatywne. Nie oznacza to jeszcze, że jąder superciężkich nie ma. Mogą one zostać odkryte. Istnieje jednak i inna możliwość. Być może, ani astrofizyczny proces syntezy, w jakim powstały takie jądra ciężkie jak uran (proces szybkiego wychwytu neutronów przez jądra umieszczone w bardzo intensywnym ich strumieniu, np. przy wybuchu supernowej), ani proces syntezy prowadzony w laboratorium przez zderzenie dwóch jąder ciężkich, nie może doprowadzić do osiągnięcia wyspy jąder superciężkich. Jeśli rzeczywiście tak jest, to wyjaśnienie tego faktu będzie równie ciekawe, jak ewentualna synteza jąder superciężkich. Odkryje bowiem także ważną część prawdy.

Oprócz jąder o egzotycznym składzie jest obecnie w fizyce jądrowej wiele innej egzotyki. Stanowią ją jądra silnie zdeformowane, jądra szybko wirujące oraz egzotyczne procesy jądrowe. Należą do nich głęboko nieelastyczne reakcje jądrowe, które zachodzą przy dostatecznie silnym zderzeniu dwóch ciężkich jąder.