

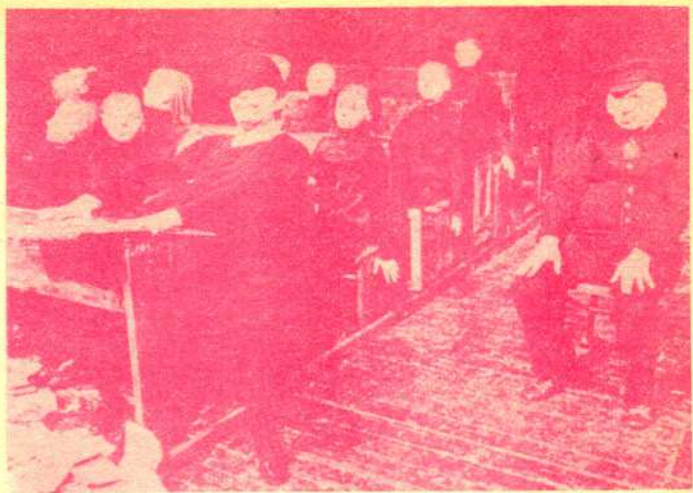
Energia jądrowa

16 lipca 1945 roku w Alamo Gordo (USA) dokonano pierwszej próbnego eksplozji jądrowej, a 6 i 9 sierpnia dwie bomby jądrowe zniszczyły Hiroszimę i Nagasaki. Źródłem energii wybuchów były reakcje rozszczepienia uranu (Hiroszima) lub plutonu (Nagasaki). W reakcjach tych jądra ^{235}U , ^{238}U i ^{239}Pu po przyłączeniu neutronu rozszczepiają się na dwa lżejsze fragmenty i kilka neutronów tzw. natychmiastowych — dla ^{235}U średnio 2,5 neutronu na jedno rozszczepienie. Powstałe fragmenty mogą po czasie rzędu sekund emitować dalsze neutrony — neutrony opóźnione. Jeżeli każdorazowo kilka wyemitowanych neutronów wywołuje dalsze rozszczepienia, to reakcja przebiega wybuchowo, można jednak zwalniać jej przebieg wprowadzając do materiału rozszczepialnego materiał pochłaniający neutrony. W reaktorach (pierwszy reaktor uruchomiono w Chicago w grudniu 1942 pod kierunkiem Fermiego) warunki pracy dobierane są tak, aby o prędkości przebiegu reakcji decydowały neutrony opóźnione — pozwala to w bezpieczny sposób kontrolować działanie reaktora.

Pierwszą elektrownię atomową o mocy 5 MW uruchomiono w 1954 roku w Związku Radzieckim (w 1951 roku w Arco, w USA uruchomiono urządzenie o mocy 150 kW), a obecnie w wielu krajach elektrownie jądrowe dostarczają już znacznego procentu produkowanej energii elektrycznej. Wbrew rozpowszechnionym opiniom elektrownie jądrowe są bezpieczniejsze od klasycznych i stanowią mniejsze zagrożenie dla środowiska.

Dużo większe energie można osiągnąć w reakcjach syntezy pierwiastków cięższych z deuteru i trytu (izotopów wodoru), w reakcjach zbliżonych do procesów będących źródłem energii w gwiazdach. Reakcje syntezy w warunkach ziemskich udało się dotychczas przeprowadzić tylko w sposób wybuchowy w eksplozjach termojądrowych — pierwszego wybuchu dokonano w listopadzie 1952 na atolu Eniwetok, a pierwsza radziecka bomba termojądrowa wybuchła w sierpniu 1953 roku.

„Rozpalenie” kontrolowanej syntezy termojądrowej wymaga osiągnięcia bardzo wysokich temperatur i ciśnień. W tych warunkach materia może istnieć tylko w postaci całkowicie zjonizowanego gazu — gorącej plazmy. W reakcjach z użyciem deuteru (^2H) i trytu (^3H): $^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n + 17,6 \text{ MeV}$ temperatura powinna przekraczać 45 milionów kelwinów, a w reakcjach $^2\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + n + 3,2 \text{ MeV}$ — 350 milionów kelwinów. Zgodnie z tzw. kryterium Lawsona rozpoczęcie reakcji termojądrowej z wydzielaniem energii może nastąpić, gdy iloczyn koncentracji cząstek n i czasu τ utrzymania gorącej plazmy przekracza wartość $n\tau = 10^{16}$ cząstek \cdot s/cm³ dla reakcji deuter-deuter i $3 \cdot 10^{14}$ cząstek \cdot s/cm³ dla reakcji deuter-trytu. Mimo wieloletnich wysiłków nie udało się otrzymać kontrolowanej syntezy termojądrowej. Jej uzyskanie rozwiązałoby ostatecznie kłopoty ze źródłami energii (przynajmniej w krajach, które byłoby stać na budowę elektrowni termojądrowych) — woda morską dostarczyłaby paliwa — deuteru — w ilości wystarczającej na miliardy lat.



Pulsary i gwiazdy neutronowe

Pod koniec 1967 roku grupa radioastronomów z Cambridge kierowana przez A. Hewisha zaobserwowała sygnały wykazujące periodyczność z okresem około 1,3 sekundy. Analiza tych sygnałów doprowadziła do wniosku, że ich źródłem jest obiekt o rozmiarach nie większych niż rozmiary Ziemi. Wkrótce odkryto więcej źródeł tego typu i nazwano je pulsarami. Zdecydowana większość pulsarów emituje wysoko spolaryzowane promieniowanie elektromagnetyczne głównie w zakresie fal radiowych, choć istnieje również kilka pulsarów rentgenowskich. Podstawową cechą pulsara jest jego okres. Okresy znanych pulsarów zawierają się w przedziale od 1,5 milisekundy do kilku sekund.

Ważność odkrycia pulsarów polegała na tym, że okazały się one potwierdzeniem istnienia gwiazd neutronowych, jednego z ostatnich stadiów życia gwiazd.

Istnienie gwiazd neutronowych postulowano już w latach trzydziestych, wkrótce po odkryciu neutronu. Gwiazda taka jest bardzo mała i bardzo gęsta, ma promień rzędu dziesięciu kilometrów przy masie porównywalnej z masą Słońca; daje to średnią gęstość rzędu $10^{14} - 10^{15} \text{ g/cm}^3$. Głównym składnikiem gwiazdy jest materia neutronowa, gdyż w takich warunkach fizycznych korzystna energetycznie jest reakcja $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$. W tak gęstej materii (nazywamy ją zdegenerowanym gazem neutronowym) wielką rolę odgrywa zakaz Pauliego mówiący, że dwa fermiony (a neutrony są fermionami) nie mogą znajdować się w jednym stanie kwantowym. Fakt ten ma decydujący wpływ na bardzo duże ciśnienie takiego gazu.

Wkrótce po odkryciu pulsarów Gold zaproponował jako ich model gwiazdę neutronową posiadającą bardzo duże dipolowe pole magnetyczne i obracającą się wokół osi nierównoległej do osi dipola. Okazało się, że wirująca gwiazda neutronowa jest jedynym modelem wyjaśniającym wszystkie cechy pulsarów.

Ważnym odkryciem ostatnich lat było zaobserwowanie w 1974 roku pierwszego pulsara radiowego w układzie podwójnym. Układ ten to dwie gwiazdy o masach równych około 1,4 masy Słońca, z których jedna jest pulsarem o okresie 0,059 s, zaś druga to zapewne również gwiazda neutronowa. Rozmiar układu jest niewiele większy od rozmiaru Słońca. Istnienie bardzo zwartej gwiazdy dwóch dużych mas, z których jedna jest bardzo dokładnym „zegarem” poruszającym się w silnym polu grawitacyjnym drugiej, stwarza możliwość zmiernienia efektów ogólnej teorii względności. Pomiar taki pozwala m.in. na wyznaczenie wszystkich parametrów orbitalnych oraz mas obydwu gwiazd, co nie jest możliwe dla układów, dla których efekty wynikające z ogólnej teorii względności są nieuchwytnie.

