

Każda stabilna gwiazda zawdzięcza swą stabilność tzw. równowadze hydrostatycznej, czyli temu, że w każdym miejscu gwiazdy ciężar elementu objętości równoważony jest przez wypór hydrostatyczny (pomijamy ciśnienie promieniowania). Ciśnienie gazu u podstawy elementu objętości jest zawsze odrobinę większe niż u jego szczytu i różnica ta to właśnie wypór równoważący ciężar. Z kolei ciśnienie to makroskopowy efekt tego, że cząstki gazu tworzącego gwiazdę nieustannie się zderzają, przekazują sobie wzajemnie pęd (oczywiście między innymi). Im więcej jest cząstek w jednostce objętości (większa gęstość ρ), albo im szybciej cząstki się poruszają (wyższa temperatura T), tym większe jest ciśnienie gazu P , czyli $P \sim \rho T$. Gaz, który podlega temu prawu, nazywa się gazem doskonałym, a powyższa zależność równaniem stanu gazu doskonałego lub równaniem Clapeyrona.

Czy to znaczy, że gaz może nie podlegać temu tak oczywistemu prawu? Otóż może! Jednym z takich dziwolągów jest gaz elektronowy, który ujawnia swoje istnienie i własności przy ogromnej gęstości materii. Przede wszystkim elektrony przestają wtedy trzymać się jąder atomowych, a ponadto dochodzi do głosu mechanika kwantowa, w szczególności zakaz Pauliego. Prawo to zabrania dwóm elektronom znaleźć się w tym samym stanie kwantowym. W dużym uproszczeniu chodzi o to, że według mechaniki kwantowej cała przestrzeń to ogromna liczba małych „komórek”, a każdej przypisana jest pewna energia. Zakaz Pauliego mówi, że w jednej komórce jest miejsce tylko dla jednej cząstki (elektronu). Dopóki każda cząstka ma do dyspozycji mnóstwo komórek, to wszystkie cząstki skaczą swobodnie między nimi i gaz jest gazem doskonałym. Gdy jednak zrobi się bardzo ciasno, to rosną szanse, że do tej samej komórki chciałoby wskoczyć kilka cząstek jednocześnie. W szczególności, skoro cząstki najchętniej obsadzają komórki o najniższych energiach, to głównie tam zaczyna brakować miejsca, przez co elektrony o dużych energiach nie mogą się swojej energii pozbyć. W takim gazie elektronowym powstaje nadwyżka cząstek szybkich i żadne chłodzenie gazu jej nie likwiduje. Ciśnienie gazu zależy wtedy tylko od jego gęstości – gaz taki nazywa się gazem zdegenerowanym.

Zdegenerowany gaz elektronowy jest odpowiedzialny za ciśnienie w bardzo gęstych centralnych częściach dostatecznie masywnych gwiazd. Gdy gwiazda taka odrzuca warstwy zewnętrzne (tworzące przez pewien czas mgławicę planetarną), odsłania się to właśnie jej zdegenerowane jądro, tzw. biały karzeł. Jest on obiektem stabilnym, czyli w nim również ciężar każdego elementu objętości równoważy wypór hydrostatyczny, ale w tym przypadku wypór określony jest przez równanie stanu gazu zdegenerowanego. Prowadzi to do zaskakujących konsekwencji. Gęstość takiej gwiazdy (centralna czy średnia – wszystko jedno) jest funkcją jej masy, podobnie jej promień, ale o ile większej masie odpowiada większa gęstość, to promień jest malejącą funkcją masy. Znaczący to, że gdyby na białego karła zrzucić dodatkową materię, to stawałby się coraz gęstszy, ale zarazem coraz mniejszy! Teoria budowy białych karłów, stworzona przez amerykańskiego astronoma (pochodzenia hinduskiego) Subrahmanyana Chandrasekhara (laureata Nagrody Nobla z 1983 r.), przewiduje, że przy masie równej $1,457M_{\odot}$ gwiazda taka miałaby nieskończoną gęstość i zerowy promień – masa ta zwana jest granicą Chandrasekhara.

Tyle mówi teoria. A co, gdyby (1) na białego karła naprawdę nadal spadała materia, albo gdyby (2) we wnętrzu masywnej gwiazdy miało dojść do degeneracji jądra o masie przekraczającej granicę Chandrasekhara? Z tym może być rozmaicie. W pierwszym przypadku biały karzeł co jakiś czas pozbywa się części materii spływającej nań z towarzyszącej mu gwiazdy – zjawisko takie to wybuch tzw. gwiazdy nowej. Jest to termojądrowa eksplozja w cienkiej warstwie materii na powierzchni białego karła, przy czym jemu samemu doraźnie nic złego przy tym się nie dzieje. Natomiast próba

przekroczenia granicy Chandrasekhara kończy się tragicznie. Jeżeli bowiem w wyniku długotrwałego gromadzenia się materii na białym karle niemal osiągnął on graniczną masę, to musi wreszcie eksplodować, a nazywa się to supernowa typu Ia. W drugim przypadku stabilny biały karzeł w ogóle nie ma prawa powstać, zatem struktura wnętrza masywnej gwiazdy musi ulec gruntownej i gwałtownej przebudowie. Zachodzi wtedy wybuch gwiazdy supernowej typu Ib lub II, a po eksplozji zostaje gwiazda neutronowa lub czarna dziura.

T. K.

