

Л. ЛАНДАУ

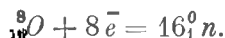
ОБ ИСТОЧНИКАХ ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ

(Представлено академиком Л. И. Мандельштамом 16 XI 1937)

В обычных условиях всякое вещество состоит, как известно, из ядер и электронов. Можно однако показать, что у тел достаточно большой массы это «обычное» состояние оказывается неустойчивым. Дело в том, что это состояние не допускает больших сжатий, поскольку при таком сжатии электроны образуют газ Ферми, обладающий огромным давлением, противодействующим сжатию. Между тем легко видеть, что вещество может находиться и в другом состоянии, способном к гораздо большему сжатию. Это состояние, в котором все ядра и электроны превратились в нейтроны. Даже если мы предположим, что нейтроны отталкиваются друг от друга, их отталкивание может сказаться лишь при плотностях порядка ядерных плотностей ( $10^{14} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ ), а давление газа Ферми, составленного из нейтронов, в виду их гораздо большей массы во много раз меньше давления электронного газа.

Поэтому, несмотря на то, что нейтронное состояние материи при обычных условиях энергетически невыгодно, поскольку реакция образования нейтронов из ядер и электронов сильно эндотермична, оно должно стать устойчивым, если масса тела настолько велика, что выгадываемая при переходе в нейтронное состояние гравитационная энергия исчерпывает потерю энергии при образовании нейтронов.

Легко подсчитать величину той критической массы тела, при которой нейтронное состояние вещества будет устойчивым. Для этого прежде всего вычислим энергию, необходимую для образования одного нейтрона; рассмотрим например реакцию:



Из дефектов масс легко получаем, что на образование одного нейтрона расходуется около 0.008 массовых единиц энергии или  $1.2 \cdot 10^{-5}$  эргов (7.5 MV). На грамм вещества расходуется  $7 \cdot 10^{18}$  эрг.

Определим теперь выигрыш гравитационной энергии при переходе в нейтронную фазу. При этом гравитационной энергией обычного состояния вещества можно пренебречь по сравнению с гравитационной энергией нейтронной фазы, поскольку последняя во много раз более плотна.

Произведем подсчет, исходя из постоянной плотности  $10^{14} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Для гравитационной энергии однородного шара массы  $M$  легко получаем

$$3 \cdot 10^{-3} M^{3/2} \text{ эргов.}$$

Для того чтобы нейтронная фаза была устойчивой, необходимо, чтобы

$$3 \cdot 10^{-3} M^{3/2} > 7 \cdot 10^{18} M, \\ M > 10^{32} \text{ г} = 0.05 \odot.$$

Вычисление с помощью теории газа Ферми для нейтронов дает для гравитационной энергии

$$4 \cdot 10^{-22} M^{7/3},$$

откуда получаем

$$M > 1.5 \cdot 10^{30} \text{ г} = 10^{-3} \odot.$$

При переходе в нейтронную фазу тела, масса которого больше критической, выделяется дополнительная энергия.

Изложенное представление о нейтронной фазе дает непосредственную возможность разрешить вопрос об источниках звездной энергии.

В самом деле, для того чтобы поддерживать солнечное излучение на постоянном уровне в течение двух миллиардов лет (предположительного времени существования солнца, согласно общей теории относительности), требовалось всего около  $2.5 \cdot 10^{50}$  эргов, т. е. достаточно было конденсации всего около  $3 \cdot 10^{-3} \odot$ , т. е. порядка процента солнечной массы. Даже для очень яркой звезды  $\beta$ -Ориона масса нейтронного ядра оказывается равной всего  $0.1 \odot$ .

Изложенное представление показывает, что всякая звезда в своей центральной части содержит нейтронное ядро, при непосредственном увеличении которого и выделяется энергия, поддерживающая звезду в накаленном состоянии.

Граничные условия на границах обеих фаз, как условия фазового равновесия, состоят из равенства химических потенциалов обеих фаз. Можно рассчитывать, что исследование свойств такой системы сделает возможным построение полной теории звезд.

Что касается вопроса об образовании первоначального ядра, то, как было показано автором\*, такое образование для тел с массой, больше  $1.5 \odot$ , неизбежно, что же касается звезд меньшей массы, то здесь еще надлежит выяснить условия, способствующие образованию такого ядра.

Академия наук СССР.  
Институт физических проблем.  
Москва.

Поступило  
16 XI 1937.

\* Sow. Phys., 1, 285 (1932).