

## К ВОПРОСУ О ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ В НЕДРАХ СОЛНЦА И СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО

Г.Е.Кочаров, Ю.Н.Старбунов

Отрицательные результаты [1] по регистрации солнечных нейтрино привели к необходимости более критического рассмотрения теории строения и эволюции звезд. За последние два года появился ряд работ, в которых рассматривается вопрос о причинах расхождения между теорией и экспериментом.

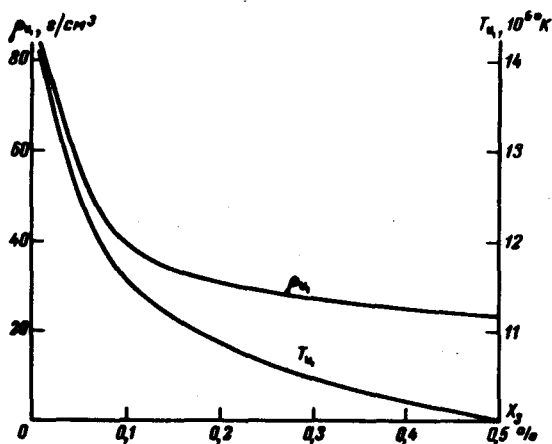


Рис. 1. Зависимость плотности  $\rho_{\text{ц}}$  и температуры  $T_{\text{ц}}$  в центре Солнца от весовой концентрации  $\text{He}^3$  ( $X_3$ )

В докладе [2] авторов настоящей работы на XI Международной конференции по космическим лучам была предложена и качественно рассмотрена новая возможность уменьшения потока высокоэнергичных солнечных нейтрино. В настоящей работе будут обсуждены количественные данные для конкретных моделей Солнца.

В основу рассмотрения [2] положено предположение о наличии на Солнце относительно большого количества  $\text{He}^3$ . Имеющиеся эксперимен-

тальные данные не только не исключают такую возможность, но даже указывают [3] на наличие нескольких процентов  $\text{He}^3$  на поверхности Солнца. Что же касается теории, то как показал Торн [4], в некоторых анизотропных моделях Вселенной может образоваться значительное количество ( $\gtrsim 20\%$ ) дейтерия и  $\text{He}^3$ . Качественное рассмотрение [2] показывает, что в удаленных от центра Солнца областях  $\text{He}^3$  должен был сохраниться до настоящего времени. Если теперь в недрах Солнца имеет место циркуляция, то из удаленных от центра областей в центральную область может регулярно поступать  $\text{He}^3$ , поэтому в области, где протекают термоядерные реакции концентрация  $\text{He}^3$  может быть больше, чем обычно считается. Это неизбежно приведет к уменьшению потока высокоэнергичных солнечных нейтрино. Для обеспечения наблюдаемой светимости Солнца в каждую секунду должно сгорать примерно  $10^{38}$  ядер  $\text{He}^3$ ,

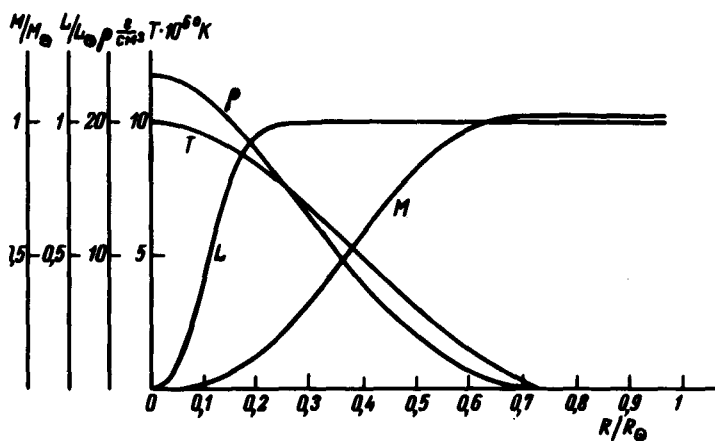


Рис. 2. Основные характеристики модели Солнца для весовой концентрации  $\text{He}^3$ ,  $X_3 = 0,5\%$

т. е. в область протекания термоядерных реакций должно поступать  $\sim 10^{38}$  ядер  $\text{He}^3$  в секунду. Если указанная область имеет размер  $\approx 0,2 R_{\odot}$ , то необходимая скорость притока  $\text{He}^3$  составит  $10^{-6} \div 10^{-7}$  см/сек, что легко осуществимо [2, 5], если в недрах Солнца имеет место дифференциальное вращение.

На рис. 1 представлены зависимости плотности и температуры в центре Солнца от весовой концентрации  $\text{He}^3$ . Модели Солнца строились в предположении равномерного распределения  $\text{He}^3$  вдоль радиуса Солнца. Естественно, в каждом случае для массы, светимости и радиуса

Солнца обеспечивались наблюдаемые на опыте значения. Видно, что с ростом концентрации  $\text{He}^3$  резко падает температура в центральной области Солнца, что приводит к сильному уменьшению потока нейтрино от распада  $\text{B}^8$  и реакции  $\text{Be}^7(e^-, \nu)\text{Li}^7$ .

На рис. 2 представлены основные характеристики модели Солнца для весовой концентрации  $\text{He}^3 - X_3 = 0,5\%$ . Центральная температура в этом случае равна  $T_{\text{ц}} = 10,02 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ , а плотность вещества  $\rho_{\text{ц}} = 23,5 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ , причем основным горючим является не водород, а  $\text{He}^3$ : реакция  $\text{He}^3 + \text{He}^3 \rightarrow \text{He}^4 + 2p$  обеспечивает 96% светимости Солнца, а остальные 4% — обычный протон-протонный цикл <sup>1)</sup>. В этой модели в центральной области Солнца образуется конвективное ядро радиусом  $0,23 R_{\odot}$ , содержащее 16% массы и обеспечивающее 98,4% энерговыделения.

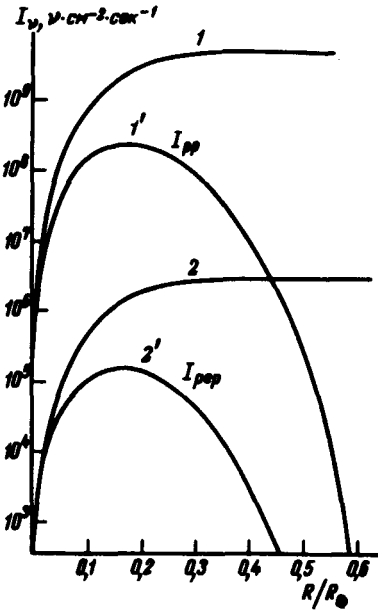


Рис. 3. Интенсивность генерации нейтрино в недрах Солнца для модели с  $X = 0,5\%$ : 1 — интегральный поток нейтрино  $I_{pp}$  от реакции  $p + p \rightarrow D^2 + e^+ + \nu$ , 1' — поток нейтрино  $I_{pp}$  от соответствующих областей Солнца толщиной  $0,01 R/R_{\odot}$ , 2 — интегральный поток нейтрино  $I_{pep}$  от реакции  $p + p + e^- \rightarrow D^2 + \nu$ , 2' — поток  $I_{pep}$  от соответствующих областей Солнца толщиной  $0,01 R/R_{\odot}$

На рис. 3 представлены интенсивности генерации солнечных нейтрино от реакции  $p + p \rightarrow D + e^+ + \nu$  ( $E_{\nu}^{\text{max}} = 0,42 \text{ Мэв}$ ) и  $p + p + e^- \rightarrow D + \nu$  ( $E_{\nu} = 1,44 \text{ Мэв}$ ) для указанной модели. Другие группы нейтрино практически отсутствуют из-за низких температур в недрах Солнца. Потоки нейт.

<sup>1)</sup> Следует заметить, что вклад  $\text{He}^3$  в энерговыделение может быть различным на разных этапах эволюции Солнца.

рино на поверхности Земли для модели с  $X_3 = 0,5\%$  следующие:  $I(pp) = 5,04 \cdot 10^9$  см<sup>-2</sup> · сек<sup>-1</sup>;  $I(p\bar{e}p) = 3,04 \cdot 10^6$  см<sup>-2</sup> · сек<sup>-1</sup>. Это означает, что скорость реакции  $Cl^{37}(\nu, e^-) Ag^{37}$  должна быть  $5 \cdot 10^{-39}$  сек<sup>-1</sup>, что в 60 раз ниже теоретического нижнего предела [6] в рамках обычных представлений об источниках энергии в недрах Солнца.

Таким образом, вопреки существующему мнению, если будет получен отрицательный результат даже после увеличения чувствительности метода, основанного на реакции  $Cl^{37}(\nu, e^-) Ag^{37}$  в десять раз по сравнению с достигнутой в настоящее время чувствительностью [1], то это еще не будет означать, что фундаментальная гипотеза — гипотеза о термоядерных источниках звездной энергии не справедлива. Приведенные выше данные показывают, что вывод, который может быть сделан в этом случае, заключается в том, что в недрах Солнца термоядерные реакции в обычном представлении не имеют места.

Характер работы не позволяет нам обсудить все за и против и возможные следствия гипотезы о наличии на Солнце относительно большого количества  $He^3$ . Главной целью статьи мы считаем указание на новую возможность генерации энергии и нейтрино в недрах Солнца, требующую детального рассмотрения с различных точек зрения.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
13 ноября 1969 г.  
После переработки  
17 декабря 1969 г.

### Литература

- [1] R.Davis, D.S.Harmer, K.C.Hoffman. Phys. Rev. Lett. 20, 1205, 1968.
- [2] G.E. Kocharov, Yu.N.Starbunov. Proc. XI Int. Conf. on Cosmic Rays, Budapest, 1969, in press.
- [3] O.A.Schaeffer, J.Zähringer. Phys. Rev. Lett., 3, 389, 1962.
- [4] K.S.Thorne. Ap. J., 148, 51, 1967.
- [5] С.С.Мандрыкин, Ю.Н.Старбунов. Труды VI Всесоюзной ежегодной зимней школы по космофизике, Изд. КФ АН СССР, г. Апатиты, 153, 1969.
- [6] J.N.Bahcall, N.A.Bahcall, G.Shaviv. Phys. Rev. Lett., 20, 1209, 1968.