

## ТАЖЕЛЬНЫЕ ЛЕПТОНЫ И НЕЙТРИННАЯ АСТРОНОМИЯ

Б. Понжекорво

В последнее время не раз обсуждался [1 – 6] вопрос о возможности существования тяжелых лептонов, т. е. существования, кроме заряженных лептонов  $e^\pm$ ,  $\mu^\pm$ , также и других более тяжелых заряженных лептонов и об осуществимости опытов, предназначенных для их обнаружения [4 – 6]. Поиски "тяжелого заряженного электрона  $e'$ " в реакции  $e\bar{p} \rightarrow e'\bar{p}$  проводились [7 – 9] на электронных ускорителях, при этом отрицательные результаты ничего не говорят относительно существования различных заряженных лептонов, которые не могут рождаться только благодаря электромагнитному взаимодействию. По аналогии с известными закономерностями, можно думать, что эти тяжелые заряженные лептоны, если они и существуют, будут участвовать совместно с нейтрино в слабых взаимодействиях. По любезному сообщению Ю.Д. Прокошкина и И.В. Чувило мне стало известно, что опыты по обнаружению образования тяжелых лептонов электронами высокой энергии начались группой Шварца на SLAC'е при помощи метода, предложенного независимо Шварцем [4] и автором [10] и состоящего в поисках событий, вызванных в нейтринном детекторе нейтриноподобными частицами, продуктами распада короткоживущих частиц (тяжелых лептонов), когда поток "обычных" нейтрино от распада долгоживущих частиц (пионов, каонов) намеренно подавлен.

Далее я буду предполагать, что тяжелые лептоны существуют, и буду обсуждать некоторые следствия этой гипотезы в области нейтринной астрономии.

Ранее [11] обращалось внимание на возможность существования осцилляций между различными нейтринными состояниями. Осцилляции могли бы возникать при некоторых условиях, если масса нейтрино не равна нулю и лептонный заряд не сохраняется точно. Существование осцилляций имело бы далеко идущие следствия, с одной стороны, для наблюдательной нейтринной астрономии и, с другой стороны, для экспериментального обнаружения важных свойств нейтрино [10]. Для случая, когда в природе имеются только четыре независимых нейтринных состояния, условия, необходимые для существования нейтринных осцилляций, и уравнения, их описывающие, приводятся в работе [12]. Диагональными состояниями являются два нейтрино Майорана с разными массами (всего четыре состояния, когда учитывается направление спина).

Ниже я ограничусь некоторыми замечаниями по проблеме нейтринных осцилляций для случая, когда существуют тяжелые лептоны. Рассмотрим три случая.

1. Каждому "новому" заряженному лептону  $\Lambda$  соответствует свое нейтрино  $\nu_\Lambda$ , причем все нейтрино скрото продольные [13].

У каждого нейтрино два состояния и, очевидно, никаких осцилляций не будет.

**2. Несмотря на существование множества заряженных лептонов, имеющихся только два, уже известных типа нейтрино (всего четыре состояния),** Нейтрино не строго продольны, их масса не равна нулю, и речь идет о теории четырехкомпонентного нейтрино с нарушением четности [14–16]. Эта схема особенно привлекательна и проста, если существует множество заряженных лептонов. В случае нарушения также и сохранения лептонного заряда возникают обсужденные в работе [12] осцилляции  $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$ . Здесь использованы обычные обозначения для "феноменологических" частиц ( $\nu_e$  и  $\nu_\mu$ ). Средний поток нейтрино от Солнца, которые могут быть зарегистрированы достаточно далеко от него, будет в два раза меньше потока детектируемых нейтрино при условии сохранения лептонного заряда [11–12] (здесь я не обсуждаю тонких опытов по наблюдению [10, 12, 16, 17] косинусоидального члена, связанного с осцилляциями).

**3. Имеются как  $N$  типов заряженных лептонов, так и  $N$  типов нейтрино,** но в отличие от случая (1) нейтрино не строго продольны, кроме того не строго и сохранение лептонных зарядов. В этом случае диагонализация состояний довольно сложна, но можно сразу видеть физические следствия такой схемы.

При достаточно больших расстояниях от источника существование осцилляций приводит к разбавлению нейтрино одного типа, скажем, электронных,  $N$  возможными. Низкоэнергетические нейтрино (какими являются по своей природе нейтрино от Солнца) выделяются по одному признаку: на достаточно больших расстояниях от Солнца большинство нейтрино, а именно  $(N - 1)/N$ , будут стерильными. И действительно, их энергия меньше массы всех заряженных лептонов, кроме электрона; так что невозможны процессы, типичные для их регистрации, кроме процесса  $\nu_e + p \rightarrow e^- + p$ . Итак, появляется важная для нейтринной астрономии Солнца возможность того, что нейтрино от Солнца на Земле будут регистрироваться крайне неэффективно. Поэтому даже если поток регистрируемых нейтрино от Солнца окажется крайне малым будет невозможно однозначно сделать революционные заключения с точки зрения астрофизики и космологии до выяснения свойств нейтрино, о которых шла речь в этой статье. (Здесь, конечно, не имеется в виду отрицательный результат опыта Дэвиса и др. [18], интерпретация которого, по моему мнению, пока находится в пределах известной астрофизики и физики элементарных частиц).

К счастью, теоретическая схема, которая могла привести к такому печальному для нейтринной наблюдательной астрономии следствию, эстетически непривлекательна, и можно надеяться на то, что она в природе не реализуется.

Мне приятно поблагодарить С.М.Биленского, С.С.Герштейна и М.А.Маркова за обсуждения.

## Литература

- [ 1] Э.Липманов. ЖЭТФ, 43, 893, 1962.
  - [ 2] Э.Липманов. ЖЭТФ, 46, 1917, 1964.
  - [ 3] F.Low. Phys. Rev. Lett., 14, 238, 1965.
  - [ 4] M.Schwartz. Reports on Progress in Physics, 28, 1965.
  - [ 5] С.Герштейн, В.Фоломешкин. ЯФ, 8, 768, 1968.
  - [ 6] В.Мокеев, В.Фоломешкин. Препринт ИФВЭ, СТФ, 68-6-К, 1968.
  - [ 7] C.Bétourne et al. Phys. Lett., 17, 70, 1966.
  - [ 8] R.Budmitz et al. Phys. Rev., 141, 1313, 1966.
  - [ 9] H.Behrend et al. Phys. Rev. Lett., 15, 900, 1965.
  - [10] Б.Понтекорво. Доклад на Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970; Препринт ОИЯИ, Е1-5439, 1970.
  - [11] Б.Понтекорво. ЖЭТФ, 53, 1717, 1967.
  - [12] B.Gribov, B.Pontecorvo. Phys. Lett., 28B, 493, 1969.
  - [13] Л.Ландау. ЖЭТФ, 32, 405, 1957; A.Salam. Nuovo Cim., 5, 299, 1957; T.Ø.Lee, C.N.Yang. Phys. Rev., 105, 1671, 1957.
  - [14] Я.Зельдович. ДАН СССР, 86, 505, 1952; F.Konopinski, H.Mahmoud. Phys. Rev., 92, 1045, 1953.
  - [15] I.Kowakani. Prog. Theor. Phys., 19, 459, 1958; E.Lipmanov. JETP37, 1054, 1959; A.Sokolov. Phys. Lett., 3, 22, 1963.
  - [16] J.Bahcall, S.Frantschi. Phys. Lett., 29B, 623, 1969.
  - [17] Г.Кочаров, Б.Ферберг. Препринт ФТИ им. А.Ф.Иоффе, №299, октябрь 1970 г.
  - [18] R.Davis, D.Harmer, K.Hoffman. Phys. Rev. Lett., 20, 1205, 1968.
-