

ГАЛЛИЙ – ГЕРМАНИЕВЫЙ НЕЙТРИННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

О.В.Бычук, В.Н.Гаврин

Приведен предел на время жизни ^{71}Ga относительно распада с нарушением закона сохранения электрического заряда, который может быть получен в галлий-германиевом нейтринном эксперименте. Показана связь времени жизни ядер, для которых возможен такой распад, с возможным дефицитом электронов во Вселенной.

В работе ¹ было впервые отмечено, что если два ядра A_z и A_{z+1} имеют разность масс $M_{\text{яд}}(A_z) - M_{\text{яд}}(A_{z+1})$, меньшую массы электрона, то нуклид A_z может быть использован для проверки закона сохранения электрического заряда, т. к. распад такого ядра



где X^0 – электрически нейтральная частица или группа частиц с массой меньшей разности масс ядер A_z и A_{z+1} (например, γ или $\nu + \bar{\nu}$), не запрещен ничем кроме закона сохранения электрического заряда.

Одним из таких ядер является ^{71}Ga , который представляет особый интерес в связи с готовящимися в настоящее время двумя галлий-германиевыми экспериментами по регистрации солнечных нейтрино ^{3, 4}. Результаты этих экспериментов позволят существенно улучшить предел на период полураспада ^{71}Ga относительно реакции (1), полученный в работе ⁵. Так, если измеренный эффект составит величину, предсказываемую стандартной солнечной моделью ⁶ без борных нейтрино, не наблюдаемых в хлор-аргонном эксперименте ⁷, указанный предел составит

$$T_{1/2}(^{71}\text{Ga}) \gtrsim 2 \cdot 10^{26} \text{ лет.}$$

Ядро A_{z+1} , образующееся в реакции (1), распадается обратно в A_z :



и совокупность процессов (1) и (2) должна приводить к накоплению избытка числа протонов над числом электронов. За время жизни Вселенной ($\sim 2 \cdot 10^{10}$ лет) этот избыток составил бы

$$\delta q = \frac{N_p - N_e}{N_p} \approx 10^{10} \frac{\epsilon(A_z)}{\mu(A_z)} \frac{1}{T_{1/2}(A_z)} \quad (3)$$

(при условии, что период полураспада нуклида A_{z+1} много меньше времени жизни Вселенной). В выражении (3) N_p и N_e – концентрации протонов и электронов в веществе Вселенной, $\epsilon(A_z)$ – весовое содержание нуклида A_z , $\mu(A_z)$ – его молярный вес в граммах, $T_{1/2}(A_z)$ – период полураспада ядра A_z относительно реакции (1). Если бы независимым образом удалось определить верхнюю границу дефицита электронов во Вселенной $\overline{\delta q}$, можно было бы установить следующий предел на период полураспада ^{71}Ga ;

$$T_{1/2}(^{71}\text{Ga}) \gtrsim \frac{0,1}{\overline{\delta q}} \text{ лет} \quad (4)$$

(здесь и далее содержание нуклидов бралось из работы ⁸).

Сделав определенные предположения, можно получить более жесткий, чем (4), предел на $T_{1/2}(^{71}\text{Ga})$. Предположим, что ядерный матричный элемент процесса (1) представим в виде

произведения обычного матричного элемента β -распада и матричного элемента, несохраняющего электрический заряд, и член, нарушающий закон сохранения заряда, входит в гамилтониан слабого взаимодействия в виде $\alpha J_{\mu}^{(+)} \bar{\nu}_e O^{\mu} \nu_e (J_{\mu}^{(+)}$ — заряженный ток нуклонов)⁹. Тогда, просуммировав правую часть (3) по всем нуклидам, для которых возможны реакции (1) и (2), можно получить ограничение на α^2 (ср. формулу (5а) работы⁹). Как показал анализ, из более чем двадцати таких нуклидов (^{41}K , ^{55}Mn , ^{71}Ga , ^{73}Ge , ^{87}Rb , ^{93}Nb , ^{97}Mo , ^{109}Ag , ^{125}Te , ^{131}Xe , ^{139}La , ^{145}Nd , ^{151}Eu , ^{153}Eu , ^{157}Gd , ^{159}Tb , ^{170}Er , ^{165}Ho , ^{179}Hf , ^{181}Ta , ^{189}Os , ^{193}Ir , ^{197}Au , ^{201}Hg , ^{204}Hg , ^{205}Tl) основной вклад в δq дает ^{55}Mn . Примерно на порядок меньше вклад ^{71}Ga . Вклады остальных нуклидов пренебрежимо малы. В результате на α^2 накладывается следующее ограничение:

$$\alpha^2 \lesssim 0,5 \overline{\delta q},$$

что для периода полураспада ^{71}Ga означает:

$$T_{1/2} (^{71}\text{Ga}) \gtrsim 4/\overline{\delta q}. \quad (5)$$

Из ограничения (5) следует, что фон, создаваемый в галлий-германиевом эксперименте за счет несохранения электрического заряда не должен превышать $\sim 6 \cdot 10^{27} \overline{\delta q}$ солнечных нейтринных единиц, что для 60-тонного детектора соответствует образованию $\sim 10^{26} \overline{\delta q}$ атомов ^{71}Ge в сутки.

На сегодняшний день работа⁵ дает лучшее ограничение на время жизни ^{71}Ga относительно распада (1), что позволяет поставить верхний предел на дефицит электронов, вызванный процессами (1) и (2):

$$\overline{\delta q} \lesssim 2 \cdot 10^{-23}.$$

Авторы выражают благодарность Г.Т.Зацепину за постоянный стимулирующий интерес к работе, В.А.Рубакову и А.М.Пшукову за полезные обсуждения.

Литература

1. *Feinberg G., Goldhaber M.* Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1959, 45, 1301.
2. *Kuzmin V.A.* Preprint A-62, Lebedev Physical Inst., 1964.
3. *Hampel W.* The Gallium Solar Neutrino Detector. In Proceedings of AIP Conference: Solar Neutrino and Neutrino Astronomy. Homestake, 1984, ed. Cherry M.L., Lande K., Fowler W.A., New York: AIP, 1985, 126, 162.
4. *Barabanov I.R., Veretenkin E.P., Gavrin V.N. et al.* Pilot Installation of the Gallium-Germanium Solar Neutrino Telescope. Ibid., p. 175.
5. *Барабанов И.Р., Веретенкин Е.П., Гагрин В.Н. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, 384.
6. *Bahcall J.N., Ulrich R.K.* Inst. for Advanced Study Preprint IASSNS-AST 87/1, 1987.
7. *Rowley J.K., Cleveland B.T., Davis R. Jr.* Astroph. J. Lett., 1985, 292, L79.
8. *Каммерон А.Дж.У.* Содержание химических элементов и нуклидов в Солнечной системе. Ядерная астрофизика, ред. Барнс Ч., Клейтон Д., Шрамм Д., М.: Мир, 1986.
9. *Bahcall J.N.* Rev. Mod. Phys., 1978, 50, 881.