

ОБРАТНЫЙ БЕТА-РАСПАД РАДИОНУКЛИДОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОТОКОВ НЕЙТРИНО УЛЬТРАНИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

А.А. Шульгинов

Проведено экспериментальное исследование процесса бета-распада ^{90}Y с целью обнаружения признаков влияния потоков нейтрино ультранизких энергий на скорость распада. Для концентрации потоков нейтрино использовалась свинцовая линза. Исследование показало: с вероятностью около 90 % можно утверждать, что имеются признаки такого процесса.

Ключевые слова: бета-распад; нейтрино ультранизких энергий; статистический анализ, критерий Роснера.

Реакция обратного бета-распада используется специалистами по физике нейтрино для исследования процессов, происходящих внутри Солнца. При термоядерных реакциях возникает поток нейтрино, способных произвести обратный бета-распад: $^{37}\text{Cl} + \nu_e = ^{37}\text{Ar} + e^-$ или $^{71}\text{Ga} + \nu_e = ^{71}\text{Ge} + e^-$ [1]. Этот процесс крайне маловероятен. Так, в галлий-германиевом эксперименте, проводимом в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН, в 50 т галлия под воздействием солнечных нейтрино возникает всего около 2 атомов германия в сутки! Это обусловлено тем, что сечение рассеяния нейтрино на ядрах при энергиях сотни кэВ исключительно мало – $\sigma \sim 10^{-43} \text{ см}^2$. Причём, эта реакция пороговая, т.е. минимальная энергия нейтрино, необходимая для неё – 233 кэВ. Главный вопрос о природе нейтрино остаётся открытым: массивны ли эти частицы? Тем не менее, исследователи склоняются к тому, что масса нейтрино не равна нулю. По последним данным сумма масс всех трёх типов нейтрино не более 0,28 эВ [2].

А.Г. Пархомов предложил для исследования космических нейтрино беспороговую реакцию: $^{90}\text{Y} + \nu_e = ^{90}\text{Zr} + e^-$ [3–5]. Иттрий-90 – дочерний изотоп, образующийся при бета-распаде стронция-90. Чтобы отделить электроны, образующиеся при возможных обратных бета-распадах, от тех электронов, которые образуются при спонтанных распадах иттрия-90 и стронция-90, было предложено ослаблять поток бета-частиц с помощью металлических пластинок. Максимальная энергия бета-спектра при распаде ^{90}Sr составляет 0,546 МэВ, а при распаде ^{90}Y – 2,28 МэВ. Поскольку при обратном бета-распаде практически всю энергию распада уносит электрон, то максимальную энергию в спектре бета-частиц будут иметь электроны, возникшие при обратном бета-распаде иттрия. Это позволяет их относительно легко выделить на фоне остальных электронов. К достоинствам этого метода обнаружения обратного бета-распада относится и то, что ^{90}Sr – ^{90}Y – чистый бета-источник, который не даёт гамма-фона. Другим

преимуществом предложенного метода является отсутствие энергетического порога, а значит, она может протекать даже при нулевой энергии нейтрино. Сечение взаимодействия частиц с ядрами $\sigma \sim 1/V^2$ в нерелятивистском случае, где V – скорость частицы. Значит, следует ожидать, что при ультранизких энергиях нейтрино (менее 1 эВ) их сечение взаимодействия с ядром возрастёт на много порядков и может достичь значений, при которых эта реакция станет доступной для обнаружения даже несложными детекторами. Кроме того, при малых скоростях движения нейтрино их длина волны де Бройля становится гораздо больше, чем межатомное расстояние в твёрдых веществах. Это приводит к тому, что взаимодействие нейтрино с твёрдыми веществами должно носить макроскопический характер. Следовательно, можно ввести понятие «показатель преломления» для нейтринных волн n . Как показали исследования А.Г. Пархомова [3], для стекла $n=0,95$, а для свинцово-оловянного сплава $n=0,80-0,85$. Так как $n < 1$, то плосковогнутая линза из металла должна фокусировать потоки нейтрино ультранизких энергий. Таким образом, на скорость бета-распада могут влиять внешние условия, например, изменяющиеся потоки нейтрино ультранизких энергий, которые могут составлять часть скрытой материи. В работах других исследователей [6–8] было также доказано, что скорость бета-распада некоторых радионуклидов подвержена вариациям различной длительности.

В данной работе поставлена цель – исследовать обратный бета-распад радионуклидов ^{90}Y под воздействием космических потоков нейтрино ультранизких энергий. Согласно гипотезе А.Г. Пархомова вокруг центра Галактики, вокруг Солнца и планет существует нейтриносфера из частиц, движущихся со скоростью от нескольких км/с до нескольких сотен км/с. Потоки этих частиц попадают на Землю и могут быть сфокусированы с помощью параболических зеркал, специальных дифракционных решёток, или фокусирующих металлических линз. Астрофизик Н.А. Козырев для фокусировки потоков частиц использовал зеркало телескопа-рефлектора Крымской астрофизической обсерватории [9]. В данной работе для фокусировки использована свинцовая плосковогнутая линза диаметром $d = 82$ мм и радиусом кривизны вогнутой поверхности $R = 62$ мм. Если предположить, что показатель преломления потоков нейтрино для свинца $n = 0,8$, то фокусное расстояние линзы составляет $f = R/(n-1) = 310$ мм. Бета-источник – $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ был помещён в предполагаемом главном фокусе свинцовой линзы. Главная оптическая ось линзы была направлена в окно на восток под углом 27° к горизонту и, её ориентация не изменялась в течение всего эксперимента. Поток электронов, образующийся при бета-распаде, проходил через несколько алюминиевых пластин толщиной 0,3 мм. Число пластин было выбрано 4 и 5, исходя из того, чтобы через них проходили только самые высокоэнергетические частицы. Они регистриро-

вались с помощью трубки Гейгера СБМ-20, соединённой с компьютером. Длительность измерений составляла 2–3 суток. Этот детектор чувствителен также и на гамма-частицы, которые создают изменяющийся фон. Исследованию особенностей гамма-фона была посвящена работа [10]. Средний поток бета-частиц, регистрируемых детектором, был примерно равен среднему уровню гамма-фона. Если повысить поток регистрируемых электронов путём уменьшения числа пластин, то детектор будет регистрировать не только электроны, возникающие в результате обратного бета-распада, но и те электроны, которые возникли в результате спонтанного бета-распада иттрия.

Компьютер круглосуточно в автоматическом режиме регистрировал сигналы от трубки Гейгера и обрабатывал их, а также производил запись результатов в файл. Длительность одного измерения составляла 30 с. За каждый i -ый промежуток времени определялось количество сигналов, средний промежуток времени между сигналами Δt_i и коэффициент вариации $v_i = \sigma_i / \Delta t_i$, где σ_i – стандартное отклонение промежутков времени от среднего значения за время i -го промежутка времени. Измерения проводились при наличии линзы и без неё. В качестве исследуемых параметров были выбраны: средняя частота сигналов $f_i = 1/\Delta t_i$ и коэффициент вариации v_i . Число таких измерений за время одной серии составляло 5000–7000. Далее каждая серия разделялась на отдельные выборки по 100 измерений. С помощью критерия Роснера в каждой выборке выделялись выбросы по массивам f_i и v_i . Такой критерий успешно использовался для выделения выбросов флуктуаций проводимости различных металлов [11]. Средняя частота сигналов это энергетическая характеристика процесса, коэффициент вариации это его информационная характеристика, которая показывает быстроту изменения процесса. Если внешнего воздействия нет, то средний коэффициент вариации должен быть равен 1. В этих исследованиях необходимо проверить статистику именно положительных выбросов f_i и v_i в каждой выборке. Если обратный бета-распад происходит в течение коротких промежутков времени (гораздо меньше времени измерения 30 с), то это может вызвать положительный скачок коэффициента вариации v_i , а если этот процесс имеет длительность, соизмеримую с временем измерения, то могут наблюдаться скачки f_i .

Критерий Роснера, использованный для выделения скачков [12 с.557], применяется, когда количество выбросов m заранее неизвестно. Алгоритм критерия Роснера состоит в следующем. По начальной выборке x_1, x_2, \dots, x_n

вычисляют \bar{x} , σ_x и параметр $\tau_1 = \max \left(\frac{|x_j - \bar{x}|}{\sigma_x} \right)$. Затем из выборки удаля-

ется то значение, которое более других удалено от среднего \bar{x} . Так повторяется k раз, пока $\tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_k > \tau_{k+1}$. После этого, параметры τ_i

($i = 1 \dots k$) сравнивают с критическими значениями $\tau_{i,k,n}^*(p)$, где p – доверительная вероятность, которая была выбрана равной 0,95. Необходимо найти максимальное значение i_{\max} , которое удовлетворяет условию: $\tau_{i_{\max}} > \tau_{i_{\max},k,n}^*(p)$, тогда количество выбросов $m = i_{\max}$. Помимо количества положительных выбросов N в каждой серии измерений были определены их величины относительно критических значений: $\xi_i = \tau_i - \tau_{i,k,n}^*(p)$. Эти величины показывают силу выбросов. Кроме того, были введены дополнительные параметры, характеризующие силу выбросов: $\xi_i^{(1)} = \exp(\xi_i) - 1$ и $\xi_i^{(2)} = \exp(\xi_i) - 1 - \xi_i$.

Анализ результатов измерений показал, что по средней частоте f сигналов с трубки Гейгера никаких статистически значимых различий при наличии линзы и при отсутствии её не обнаружено ни при каком количестве алюминиевых пластин. Результаты статистического анализа коэффициентов вариации приведены в таблице. Из этого следует, что некоторые статистически значимые различия в коэффициентах вариации сигналов обнаружены. P – вероятность того, что $\bar{\xi}$ (с линзой) $>$ $\bar{\xi}$ (без линзы) [12 с. 389].

Таблица

Результаты измерений коэффициента вариации v

№	Число пластин	Наличие линзы	$\bar{\xi}$	σ_{ξ}	N	P	$\bar{\xi}^{(1)}$	$\bar{\xi}^{(2)}$
1	4	нет	0,86	0,96	47	93%	3,29	2,44
		есть	1,26	1,29	34		7,67	6,41
2	5	нет	1,03	1,18	46	86%	5,18	4,14
		есть	1,35	1,22	26		6,83	5,47

Основные выводы:

- 1) обнаружены признаки обратного бета-распада иттрия;
- 2) воздействия потоков нейтрино носят, вероятно, кратковременный характер длительностью гораздо меньше 30 с;
- 3) свинцовая плосковогнутая линза способна фокусировать потоки нейтрино ультранизких энергий. Показатель преломления нейтрино в свинце оказался близким к значению, полученному А.Г. Пархомовым [3], $n = 0,8$;
- 4) для увеличения достоверности результатов необходимо проводить измерения длительностью более трёх суток и более точно определить фокусное расстояние линзы.

Библиографический список

1. Гаврин, В.Н. Российско-американский галлиевый эксперимент SAGE / В.Н. Гаврин // УФН. – 2011. – Т. 181, № 9. – С. 975–984.
2. Thomas, S.A. Upper Bound of 0.28 eV on Neutrino Masses from the Largest Photometric Redshift Survey / S.A. Thomas, F.B. Abdalla, O. Lahav // Physical Review Letters. – 2010. – V. 105, № 3. – P. 031301.
3. Пархомов, А.Г. Космос. Земля. Человек. Новые грани науки / А.Г. Пархомов. – М.: Наука, 2009. – 272 с.
4. Пархомов А.Г. Исследование неслучайных вариаций результатов измерения радиоактивности / А.Г. Пархомов // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – Т. 3.– М.: Янус-К, 2002. – С. 607–612.
5. Parkhomov, A.G. Bursts of Count Rate of Beta-Radioactive Sources during Long-Term Measurements / A.G. Parkhomov // International Journal of Pure and Applied Physics. – 2005. – V. 1, № 2. – Pp. 119–128.
6. Бауров, Ю.А. Экспериментальные исследования изменений в скорости бета-распада радиоактивных элементов / Ю.А. Бауров, Ю.Г. Соболев, В.Ф. Кушнирук и др. // Физическая мысль России. – 2000. – № 1. – С. 1–7.
7. Шноль, С.Э. О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах / С.Э. Шноль, В.А. Коломбет, Э.В. Пожарский и др. // УФН. – 1998. – Т. 168, № 10. – С. 1129–1140.
8. Goleminov, N.G. Possible nuclear activity of dark matter / N.G. Goleminov // Gravitation and cosmology. – 2002. – V. 8. – Pp. 2017–2020.
9. Козырев, Н.А. Избранные труды / Н.А. Козырев. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1991. – 448 с.
10. Шульгинов, А.А. Двумерная функция распределения результатов измерений гамма-фона / А.А. Шульгинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». – 2014. – Т. 6, № 2. – С. 68–71.
11. Шульгинов, А.А. Фликкер-шумовая спектроскопия флуктуаций проводимости плёнок платины и пермаллоя / А.А. Шульгинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». – 2009. – Вып. 1. – № 22. – С. 117–119.
12. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

[К содержанию](#)