

ОБРАТНЫЙ БЕТА-РАСПАД ИТТРИЯ-90 ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕЙТРИНО УЛЬТРАНИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

О.С. Стадник¹, А.А. Шульгинов²

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

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

Введение

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 – $\sigma \sim 10^{-43}$ см². 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? 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 ослабить поток бета-частиц с помощью металлических пластинок. Максимальная энергия бета-спектра при распаде ⁹⁰Sr составляет 0,546 МэВ, а при распаде ⁹⁰Y – 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 ⁹⁰Sr – ⁹⁰Y – 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 по-

¹ Стадник Ольга Степановна – доцент, кандидат биологических наук, кафедра адаптивной физической культуры, физиологии и биохимии, Институт спорта, туризма и сервиса, Южно-Уральский государственный университет.

E-mail: stadnikos@susu.ac.ru

² Шульгинов Александр Анатольевич – доцент, кандидат физико-математических наук, кафедра общей и экспериментальной физики, Физический факультет, Южно-Уральский государственный университет.

E-mail: shulginovaa@susu.ac.ru; a.a.shulginov@yandex.ru

токи 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.

Экспериментальные исследования обратного бета-распада

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 $n = 0,8$ [3], то фокусное расстояние линзы составляет $f = R/(n-1) = 310$ мм. Бета-источник – ^{90}Sr – ^{90}Y был помещён в предполагаемом главном фокусе свинцовой линзы. Главная оптическая ось линзы была направлена в окно на восток под углом примерно 30° 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 регистрировались 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 -й 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 5000–8000. 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 стремиться к 1. В этих исследованиях необходимо было 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 со 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 $\tau_1 = \max(|x_j - \bar{x}|/\sigma_x)$. Затем из выборки удаляется 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 ($i = 1..k$) 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, был введён дополнительный параметр, характеризующий силу выбросов: $\eta_i = \xi_i^2$.

Анализ результатов измерений показал, что по средней частоте f сигналов с трубки Гейгера никаких статистически значимых различий при наличии линзы и при её отсутствии не обнаружено ни при каком количестве алюминиевых пластин. Для дальнейшего анализа были выбраны коэффициенты вариации ($x_i = V_i$). Результаты статистического анализа коэффициентов вариации приведены в таблице. P – вероятность того, что $\bar{\xi}_1 > \bar{\xi}_2$ [12 с. 389].

Результаты измерений коэффициента вариации V

№	Дата начала измерения	Длительность измерения, ч	Число пластин	Наличие линзы	$\bar{\xi}$	σ_{ξ}	N	$P, \%$	$\bar{\eta}$
1	14-04-2014	45,7	4	Есть, $l = 300$ мм*	1,26	1,29	34	93	3,22
2	16-04-2014	72,5	4	Нет	0,86	0,96	47		1,64
3	19-04-2014	49,7	5	Нет	1,03	1,18	46	86	2,42
4	21-04-2014	43,8	5	Есть, $l = 280$ мм	1,35	1,22	26		3,27
5	23-04-2014	85,6	5	Есть, $l = 300$ мм	1,31	1,29	49	85	3,35
6	26-05-2014	45,8	5	Есть, $l = 200$ мм	1,04	1,05	34		2,16

* l – расстояние от плоской поверхности линзы до бета-источника.

Статистический анализ положительных выбросов коэффициентов вариации показал, что, если иттрий-90 помещён вблизи предполагаемого фокуса свинцовой линзы (измерения № 1 и 4), то скачки коэффициента вариации ξ_i становятся сильнее, чем без линзы (измерения № 2 и 3). Аналогичный вывод можно сделать из анализа коэффициентов η_i . Кроме того, если бета-источник значительно удалён от предполагаемого фокуса линзы (измерение № 6), то результат будет мало отличаться от результата, полученного без применения линзы (измерение № 3).

Выводы

1. Обнаружены признаки обратного бета-распада иттрия-90 под воздействием нейтрино ультранизких энергий.
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], $n = 0,8$.

Литература

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. – М.: Янус-К, 2002. – Т. 3. – 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. – P. 119–128.
6. 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. 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. – P. 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(155). – С. 105–107.
12. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

Поступила в редакцию 30 мая 2014 г.

*Bulletin of the South Ural State University
Series "Mathematics. Mechanics. Physics"
2014, vol. 6, no. 3, pp. 92–96*

INVERSE BETA DECAY OF YTTRIUM-90 UNDER THE INFLUENCE OF NEUTRINO ULTRA-LOW ENERGIES

O.S. Stadnik¹, A.A. Shulginov²

This work is devoted to the study of inverse beta decay of yttrium under the influence of neutrino ultralow energies. A.G. Parkhomov proposed for the study of cosmic neutrinos thresholdless reaction: ${}^{90}\text{Y} + \nu_e = {}^{90}\text{Zr} + e^-$ [3–5]. Since in the case of inverse beta decay, almost all the energy decay takes the electron, the maximum energy in the spectrum beta-particles will have the electrons arising due to inverse beta decay of yttrium. Therefore, such electrons easy separate on the background. Besides, the section of interaction of ultralow energy neutrinos (less than 1 eV) with the nucleus increase by many or-

¹ Stadnik Olga Stepanovna is Cand. Sc. (Biology), Associated Professor, Adaptive Physical Culture, Physiology and Biochemistry Department, Institute of Sport, Tourism and Service, South Ural State University.

E-mail: stadnikos@susu.ac.ru

² Shulginov Alexandr Anatolyevich is Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Associated Professor, General and Experimental Physics Department, South Ural State University.

E-mail: shulginovaa@susu.ac.ru; a.a.shulginov@yandex.ru

ders of magnitude is compared with neutrinos of nuclear energy (> 100 keV). We focused on neutrino fluxes by lead planar-concave lens. According to the results [3], the refractive index neutrinos of ultralow energies in matter less than 1 and is about 0,8 for lead. The flow of electrons generated in beta decay, passed through several aluminum plates, and their number was selected so that only very high-energy particles passed through plates. The electrons were registered by the GM tube connected to a computer. Beta-source – ^{90}Sr - ^{90}Y was placed in the supposed main focus of lead lens. The main optical axis of the lens was directed to the window to the east at an angle of about 30 degrees to the horizon and its orientation did not change during the whole experiment. The duration of measurements was 2–3 days. The average frequency f_i and the variation coefficient V_i were chosen as investigated parameters. Outliers of f_i and V_i were separated by using the Rosner criterion. The statistical analysis of the positive outliers of variation coefficients V_i has shown a significant increase in their average value in using the focusing of neutrinos.

Keywords: beta decay; neutrino ultralow energies; statistical analysis; Rosner criterion.

References

1. Gavrilin V.N. The Russian-American gallium experiment SAGE. *Phys. Usp.* 2011. Vol. 54. pp. 941–949. DOI: 10.3367/UFNe.0181.201109g.0975
2. Thomas S.A., Abdalla F.B., Lahav O. Upper Bound of 0.28 eV on Neutrino Masses from the Largest Photometric Redshift Survey. *Physical Review Letters*. 2010. Vol. 105, no. 3. p. 031301.
3. Parkhomov A.G. *Kosmos. Zemlya. Chelovek. Novye grani nauki* (Space. Earth. People. New facets of science). Moscow, Nauka Publ., 2009. 272 p. (in Russ.).
4. Parkhomov A.G. Issledovanie necluchaynykh variatsiy rezul'tatov izmereniya radioaktivnosti (Investigation of the non-random variations of the results of measurements of radioactivity). *Atlas vremennykh variatsiy prirodnykh, antropogennykh i social'nykh processov*. Vol. 3. Moscow, Yanus-K Publ., 2002. pp. 607–612. (in Russ.).
5. Parkhomov A.G. Bursts of Count Rate of Beta-Radioactive Sources during Long-Term Measurements. *International Journal of Pure and Applied Physics*. 2005. Vol. 1, no. 2. pp. 119–128.
6. Baurov Yu.A., Sobolev Yu.G., Kushniruk V.F. Eksperimental'nye issledovaniya izmeneniy v skorosti beta-raspada radioaktivnykh elementov (Experimental studies of changes in the rate of beta-decay of radioactive elements). *Fizicheskaya mysl' Rossii*. 2000. no. 1. pp. 1–7. (in Russ.).
7. Shnoll S.E., Kolombet V.A., Pozharskii E.V., Zenchenko T.A., Zvereva I.M., Konradov A.A. Realization of discrete states during fluctuations in macroscopic processes. *Phys. Usp.* 1998. Vol. 41. pp. 1025–1035. DOI: 10.1070/PU1998v041n10ABEH000463.
8. Goleminov, N.G. Possible nuclear activity of dark matter. *Gravitation and cosmology*. 2002. Vol. 8. pp. 2017–2020.
9. Kozyrev N.A. *Izbrannye trudy* (Selected Works). Leningrad, Izdatel'stvo Leningradskogo Universiteta Publ., 1991. 448 p. (in Russ.).
10. Shulginov A.A. Dvumernaya funktsiya raspredeleniya rezul'tatov izmereniy gamma-fona (Two-dimensional distribution function for the results of gamma background measuring). *Bulletin of the South Ural State University. Series "Mathematics. Mechanics. Physics"*. 2014. Vol. 6, no. 1. pp. 139–142. (in Russ.).
11. Shulginov A.A. Flicker-shumovaya spektroskopiya fluktuatsiy provodimosti plyenok platiny i permalloya (Flicker-noise spectroscopy of fluctuation of platinum films and permalloy conductivity). *Bulletin of the South Ural State University. Series "Mathematics. Mechanics. Physics"*. 2009. Vol. 1, no. 22. pp. 105–107. (in Russ.).
12. Kobzar' A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* (Applied Mathematical Statistics. For engineers and scientists). Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 816 p. (in Russ.).

Received 30 May 2014