

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА РЕГИСТРАЦИИ НИЗКОЙ АКТИВНОСТИ ${}^7\text{Be}$ В ЛИТИЕВОМ ДЕТЕКТОРЕ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО

Г.Я.Новикова, В.В.Петухов, Е.А.Янович, В.Э.Янц

Институт ядерных исследований РАН, г. Москва



В статье описан метод регистрации низкоактивного изотопа ${}^7\text{Be}$, нарабатываемого в литиевом детекторе солнечных нейтрино, с помощью высокотемпературного пропорционального счетчика. Показано, что при наработке ${}^7\text{Be}$ от ядерно-активной компоненты космических лучей ожидаемая скорость счета существенно превышает фон.

При разработке прототипа литиевого детектора (ПЛД) солнечных нейтрино [1] была рассмотрена возможность использования высокотемпературного пропорционального счетчика для проведения измерений распадов ${}^7\text{Be}$ на стадиях отработки технологии извлечения микроколичеств бериллия из лития и измерения скорости образования ${}^7\text{Be}$ в 300 кг лития (масса лития в ПЛД) от ядерно-активной компоненты космических лучей на уровне моря. Ожидаемая скорость образования ядер ${}^7\text{Be}$ составляет около 0.5 ат. ${}^7\text{Be}$ /сек. Эта величина получена в результате пересчета измеренной скорости образования ${}^{37}\text{Ar}$ в 1 т перхлорэтилена [2] с учетом множественности, сечения (p,n) реакции, а также эффекта самоэкранировки. Поскольку в процессе отработки технологии необходимо измерять активность ${}^7\text{Be}$ после нескольких последовательно проведенных извлечений, нужна система счета, позволяющая измерять активность ${}^7\text{Be}$ на уровне нескольких десятков распадов в час. Использовать для этой задачи сцинтилляционный детектор не представляется возможным ввиду его низкой эффективности (такой детектор регистрирует гамма-квант с энергией 0.478 МэВ, который имеет выход всего лишь 10%). Пропорциональные счетчики позволяют регистрировать активность с эффективностью, близкой к 100%, если энергия Оже-электронов выше 1 кэВ, при этом фон счетной системы может быть достигнут нескольких событий в сутки при хорошо отлаженной дискриминации фона по форме импульса.

При распаде ${}^7\text{Be}$ путем электронного захвата, испускается Оже-электрон с энергией 53 эВ. В 10% случаев распад идет через возбужденное состояние ${}^7\text{Li}$ с испусканием γ -кванта с энергией 477 КэВ. Чтобы зарегистрировать электроны столь малой энергии, атомы бериллия должны находиться внутри пропорционального счетчика в газообразном соединении. К сожалению, стабильных при комнатной температуре газообразных соединений бериллия не существует. В то же время β -дикетонаты бериллия имеют достаточно высокое давление насыщенных паров и ста-

бильны в диапазоне 100-200°C. В статье [3] приведены результаты измерений давления насыщенных паров ряда β -дикетонатов бериллия в зависимости от температуры. Среди этих соединений наилучшими характеристиками с точки зрения использования в пропорциональном счетчике обладают ацетилацетонат и трифторацетилацетонат бериллия. Однако, использование трифторацетилацетоната бериллия, может приводить к уменьшению эффективности регистрации электронов столь низкой энергии из-за возможного их прилипания к электроотрицательным атомам фтора, входящим в состав комплекса. В данной работе приведены результаты, полученные с использованием комплекса на основе ацетилацетоната бериллия $\text{Be}(\text{AA})_2$.

Синтез соединения $\text{Be}(\text{AA})_2$ очень прост и высокоэффективен (выход близок к 100%)[4]. Бериллий из водной фазы (солянокислый раствор, $\text{pH}=5-6$) с помощью ацетилацетона экстрагируется в органическую фазу (хлороформ). После вакуумной отгонки хлороформа на дне колбы остается порошкообразный осадок $\text{Be}(\text{AA})_2$. Последующая сублимация при температуре порядка 100-120°C на холодную поверхность трубки приводит к очистке комплекса бериллия. Затем очищенный $\text{Be}(\text{AA})_2$ возгоняется в пропорциональный счетчик.

В статье [5] приведен спектр, полученный от распадов ^7Be и продемонстрирована принципиальная возможность использования $\text{Be}(\text{AA})_2$ в высокотемпературном пропорциональном счетчике. Конструкция счетчика представляет собой служащий в качестве охранного электрода внешний металлический корпус, отделенной от изготовленного из железа зонной плавки катода фторопластовой трубкой. Корпус счетчика соединяется со стеклянным краном при помощи высокотемпературного клея. В нашей работе для измерения спектров распада ядер ^7Be и определения эффективности регистрации атомов бериллия были применены цельные кварцевые пропорциональные счетчики, которые имели много меньший мертвый объем (около 1%) и допускали нагрев до 400°C. Здесь представлены результаты, полученные на счетчике со вставным катодом, изготовленным из феррохрома без охранных электродов. Внутренний диаметр катода - 6 мм, длина - 40 мм. Анодом служила вольфрамовая нить диаметром 20 мкм. Объем счетчика составлял 1.5 см³.

Ввод $\text{Be}(\text{AA})_2$ во внутренний объем пропорционального счетчика осуществлялся следующим образом. Предварительно прогретый под вакуумом при температуре 300°C счетчик соединялся с трубкой, содержащей очищенный $\text{Be}(\text{AA})_2$. После откачки промежутка между трубкой и счетчиком он открывался, а его верхняя часть охлаждалась до температуры -76°C. Для охлаждения использовался сухой лед (твердая углекислота), остальная часть сборки нагревалась до 150°C. При этих условиях $\text{Be}(\text{AA})_2$ возгонялся и высаживался в верхней части кварцевого счетчика. Затем вся система охлаждалась до комнатной температуры и происходило наполнение пропорционального счетчика рабочим газом, в качестве которого использовался изобутан. Первые измерения, проведенные с радиоактивным $\text{Be}(\text{AA})_2$ показали, что он активно реагирует с витоновой прокладкой, которая служила в качестве уплотнения вакуумного крана счетчика. Поэтому в дальнейшем все измерения проводились при отпаянном кране. Чтобы в месте перепайки не произошло разложение рабочего газа, он предварительно конденсировался в противоположном конце счетчика. Вымораживание изобутана достигалось погружением верхней части счетчика в сосуд Дьюара с жидким азотом. При температуре жидкого азота (- 196°C) изобутан находится в твердой фазе.

Для исследования фона в одноэлектронной области при комнатной температуре были проведены измерения с пропорциональными счетчиками, изготовленными из различных материалов и помещенными в колодец кристалла $\text{NaI}(\text{Tl})$ $\varnothing 200 \times 200$

мм. Фон измерялся в режимах с отбором событий по времени нарастания импульса (ADP), антисовпадений с событиями на NaI(Tl) и совпадений с γ -квантом с энергией 477 КэВ (табл.1).

Таблица 1

Фон пропорциональных счетчиков в области одноэлектронных импульсов при комнатной температуре

Счетчик	Материал катода	Напряжение, В	Время сут.	Давление Torr	Скорость счета полная, имп./сут.	Скорость счета NaI+ADP, имп./сут.	Совп. NaI, имп.
Yn1	C	1700	5.2	350	12.3 ± 1.5	9.8 ± 1.3	0
		1530	2.0	200	98.2 ± 7.0	75.6 ± 6.1	1
Fe41	FeCr	1700	8.8	350	43.8 ± 2.2	38.3 ± 2.0	0
		1500	3.0	200	68.6 ± 4.8	54.1 ± 4.2	0
		1400	0.7	100	177.7 ± 15.5	149.0 ± 14.2	1
Fe5	Fe	1500	2.8	200	94.0 ± 5.7	70.3 ± 5.0	0
AD2	Al	1800	1.9	350	188.3 ± 10.0	155.7 ± 9.1	1

Из табл.1 видно, что в режиме $e^- - \gamma$ совпадений для счетчика Fe41 (катод из железа зонной плавки) фон составляет менее 0.1 имп./сут.

Для определения эффективности регистрации электронов при распаде ^7Be в виде $\text{Be}(\text{AA})_2$ в пропорциональном счетчике использовался метод совпадений между регистрацией Оже-электрона, испускаемого при каждом распаде ядра ^7Be и γ -квантом с энергией 477 КэВ, вылетающем при переходе с возбужденного на основной уровень ядра ^7Li в 10 % случаев. На рис.1 приведена схема соответствующей установки.

Для регистрации γ -квантов использовался кристалл NaI(Tl) размером

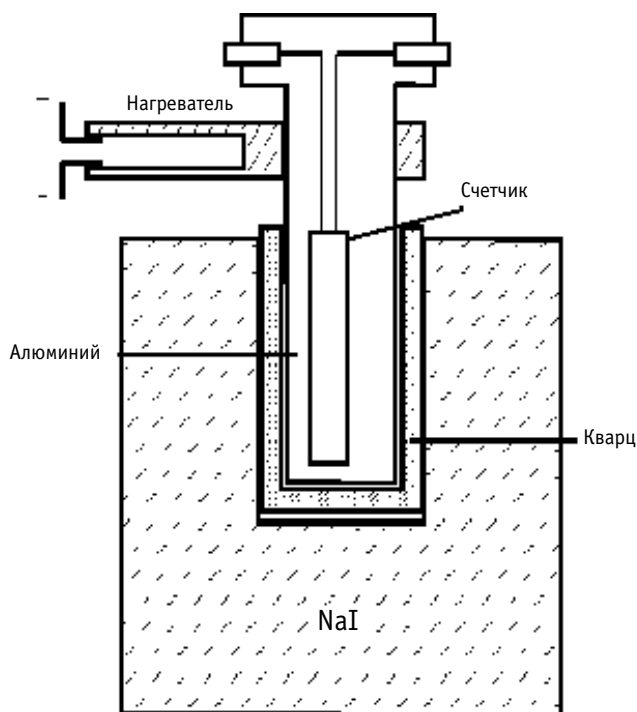


Рис. 1. Схема установки для регистрации распадов ^7Be в пропорциональном счетчике

$\varnothing 150 \times 150$ мм с колодцем $\varnothing 60 \times 100$ мм. Для фиксации совпадений со счетчиком использовалась область под фотопиком (2 FWHM). Эффективность регистрации под фотопиком для данного кристалла составила 66%. Временной интервал, в течение которого регистрировались совпадения между γ -квантом и электроном был равен 20 мксек. Фон NaI(Tl) в области фотопика составлял 5 имп./сек. Внутри колодца был установлен тонкостенный кварцевый сосуд Дьюара, служащий для предохранения кристалла от нагрева. Внутрь него был помещен алюминиевый контейнер с пропорциональным счетчиком. Температура счетчика повышалась за счет нагрева алюминиевого контейнера.

Нихромовая спираль, находящаяся во внутренней полости медного теплоподвода, служила для нагрева. На спираль подавалось напряжение от источника постоянного тока. Мощность нагревателя составляла 100 Вт. Для контроля температуры счетчика внутри цилиндра была установлена термopара хромель-алюмель. Для уменьшения гамма-фона от окружающей среды кристалл NaI(Tl) был окружен вольфрамовой защитой (общая толщина 24 мм) и двумя листами свинца (толщиной по 10 мм). Для калибровки счетчика в режиме одноэлектронных импульсов использовалась ртутная ультрафиолетовая лампа. Свет от УФ лампы поступал во внутренний объем счетчика через специальное калибровочное окно в катодe.

Собственный фон счетчика в области одноэлектронных импульсов составляет около 0.03 имп/сек. Нагрев счетчика до температуры 180°C привел к возрастанию фона в этой области до уровня 2 имп./сек. Фон, измеренный в режиме совпадений составил около 1 имп./ч. При этом вероятность случайных совпадений оценивается в величину менее, чем 0.01 имп./ч. В табл.2 приведены результаты измерений эффективности регистрации электронов с энергией 53 эВ от распада ^7Be в за-

Таблица 2
Зависимость эффективности регистрации распадов ^7Be от температуры нагрева счетчика

Температура, °C	Эффективность, %
20	0.3
40	0.4
70	3
110	25
160	41
180	50

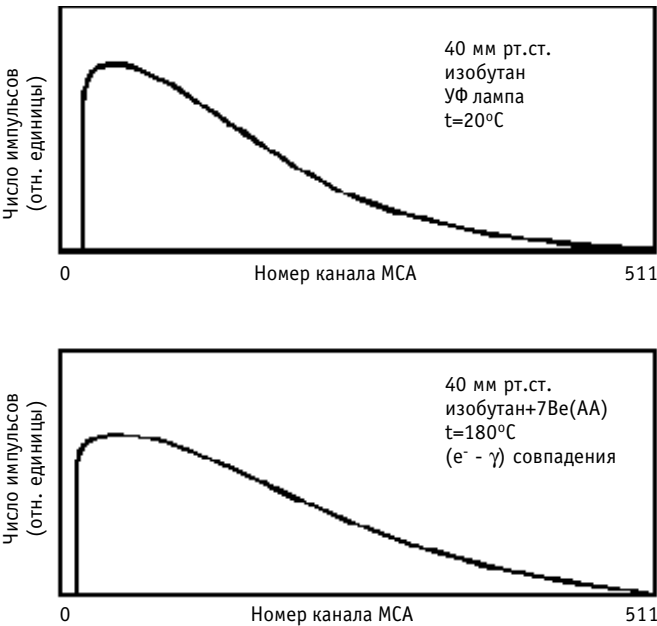


Рис.2. Спектры одноэлектронных импульсов в пропорциональном счетчике

висимости от температуры счетчика. В качестве носителя было использовано 10 мкг Be в виде $\text{Be}(\text{AA})_2$, рабочий газ - изобутан при давлении 40 мм рт.ст. Эффективность регистрации рассчитывалась как отношение скорости счета, измеренной в режиме совпадений, к скорости счета γ -квантов с энергией 477 КэВ в области под фотопиком.

Спектры от ультрафиолетовой лампы и распада ^7Be , набранные при температуре 180°C, приведены на рис.2.

Дальнейшее повышение температуры, вплоть

до 250°C, не привело к увеличению эффективности.

Сделаем оценку возможности использования высокотемпературного кварцевого счетчика для измерения скорости образования ядер ${}^7\text{Be}$ от ядерно-активной компоненты космических лучей. При скорости образования около 0.5 ат. ${}^7\text{Be}$ /сек. в 300 кг лития в случае экспозиции, равной одному периоду полураспада (53.6 дн.) и эффективности извлечения 0.9, эффективности регистрации электронов 0.5 и γ -квантов 0.66, ожидаемая скорость счета в режиме совпадений составит около 0.3 имп./мин. Эта величина дает существенное превышение над фоном (1 имп./ч) и позволяет рассматривать высокотемпературный счетчик в качестве возможного детектора при регистрации достаточно низкой активности ${}^7\text{Be}$.

В заключение авторы выражают благодарность А.В.Копылову и Ю.И.Захарову за плодотворные обсуждения и редакцию статьи.

Список литературы

1. *Даньшин С.Н., Зацепин Г.Т., Копылов А.В. и др.* Физика элементарных частиц и атомного ядра. - 1997. - Т.28. - Вып.1. - С.5-12.
2. *Копылов А.В.* Кандидатская диссертация, ИЯИ АН СССР, 1984.
3. *Гринберг Я.Х., Петухов В.В., Новикова Г.Я. и др.* //Ж.Ф.Х.- 1987. - Т.LXI. - №11. - С. 2894-2897.
4. *Гринберг Я.Х., Лазарев В.Б., Петухов В.В., Новикова Г.Я., и др.* Доклады Академии наук СССР. - 1987. - Т.297. - №3. - С.633-637.
5. *Новикова Г.Я., Петухов В.В.* Извлечение микроколичеств бериллия из водных растворов лития//Известия вузов.Ядерная энергетика. - 1999. - №3.
6. *Barabanov I.R., Gavrin V.N., Zakharov Yu.I., Zatsepin G.T.* "Neutrino-77", Proc.Intern.Conf., (BaksanValley, 18-24 June, 1977).- 1977. - V.1. - P.71.

Поступила в редакцию 25.05.99.

board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 8 pages, 3 tables, 3 illustrations. - References, 15 titles.

Measuring of the solar neutrino flux using the radiochemical detector on the basis of lithium is one of most important and perspective from the point of view of physics of experiments. From the point of view of chemistry the lithium detector is one of the most complex. A conditionality of choice of metal lithium as a target for neutrino and also the basic technological problems of this detector is discussed in [1]. The chemical problems related to extraction of beryllium from lithium after filtering the latter are investigated in this paper.

УДК 669.884:539.12

Development of the High Efficiency Method of Registration of Low Activity ^7Be in Lithium Detector of the Solar Neutrino \G.Ya. Novikova, V.V. Petuhov, Eu. A. Janovich, V.E. Janz; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 5 pages, 2 tables, 2 illustrations. - References, 6 titles.

The method of detection of low-active ^7Be isotope formed in the lithium solar neutrino detector by means of high-temperature proportional counter is described in the paper. It is shown that expected counting rate of ^7Be forming from nuclear-active cosmic ray component exceeds the background one.

УДК 541.135 – 537.311

Thermoelectrochemical Converter Based on Ceramic Electrolyte $\text{Na}-\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ \B.A. Shmatko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 7 pages, 2 tables, 3 illustrations. - References, 17 titles.

Estimated performances of the autonomous thermoelectrochemical energy source $w=0.5$ kw with direct transformation of a thermal energy into electrical one on the basis of ceramic solidelectrolyte transducer with sodium as a working medium and coolant are represented in the paper. The efficiency of the energy source with gas preheating reaches about 20% within the working range of temperatures 973-600 K.

УДК 669.536.422

On the Specific Features of the Sodium Heat Pipe System Technology \I.I. Zasorin, M.N. Ivanovski, A.V. Morozov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 11 pages, 5 tables, 3 illustrations. - References, 23 titles.

An analysis and classification of data on the impurities source in sodium heat pipes is presented. Special attention is given to the volume source of oxygen in walls of the heat pipes defining resource of the device. An estimation of time of degassing of steel from hydrogen and the method of determination of temperature condition for restoration of oxide layers as well as the experimental method of the prognosis of resource of the heat pipes are considered in the paper.