

УДК 577.352.2; 577.352.3

**В.В. Дьячков, Ю.А. Зарипова, А.Ж. Наурзбаева, В.А. Сысоев,
А.Л. Шакиров, А.В. Юшков**

*Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики
КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ZJ_KazNU@mail.ru*

Измерение калориметрического эффекта космического излучения на средних широтах

Аннотация. Обнаружен и измерен калориметрический эффект от космического излучения (КИ) с помощью экспериментальной установки. Спроектирован и изготовлен лабораторный макет энергетической ячейки и проведены тепловые измерения с использованием в качестве тепловых реперных элементов: воздух, вода и жидкий азот. В данной работе авторами, на модели объемом 1 л, показано существование калориметрического эффекта от спэйс-квантового излучения. Оказалось, что первичный калориметрический эффект возможно зарегистрировать лишь в специальных условиях, ввиду своей малости для такого объема рабочего тела, который весьма далек от «критического». Под «критическим» понимается такой объем рабочего тела энергетического модуля, при котором тепловые потери существенно ниже тепла, накапливаемого в энергетическом модуле. Для тестирования работоспособности установки в целом и ее абсолютной калибровки в данной работе, в первую очередь, определялся калориметрический эффект от моделирующих калибровочных альфа-источников.

Ключевые слова. Космическое излучение, термопара, пробеги заряженных частиц, полное сечение ядерных реакций, калориметрический эффект.

Введение

Проблема обеспечения электрической и тепловой энергией многих отраслей мирового хозяйства, постоянно растущих потребностей шестимиллиардного населения Земли становится сейчас все более актуальной. Основу современной мировой энергетики составляет тепло- и гидроэлектростанции. Однако их развитие сдерживается рядом факторов. Стоимость угля, нефти и газа, на котором работают тепловые станции, растет, а природные ресурсы этих видов топлива сокращаются. К тому же многие страны не располагают собственными топливными ресурсами или испытывают в них недостаток. Гидроэнергетические ресурсы в развитых странах используются практически полностью: большинство речных участков, пригодных для гидротехнического строительства, уже освоены.

Выход из создавшегося положения видится в развитии ядерной и термоядерной энергетики. На конец 2011 года в мире построено и работает более 350 атомных электростанций (АЭС). Однако сегодня АЭС уже не считаются источниками дешевой экологически чистой энергии. Топливом для АЭС служит урановая руда - дорогостоящее и труднодобываемое сырье, запасы которого ограничены. К тому же строительство и эксплуатация АЭС сопряжены с большими трудностями и затратами. Лишь немногие страны сейчас продолжают строительство новых АЭС. Серьезным тормозом для дальнейшего развития ядерной энергетики являются проблемы тяжелых ядерных аварий и загрязнение окружающей среды. В связи с радиофобией и отрицательным отношением к АЭС ведутся поиски новых экологически чистых и возобновляемых источников энергии: энергия солнца, ветра, приливов, биотоплива.

Основной идеей настоящей работы явилась попытка измерения калориметрического эффекта КИ и последующего конструирования практически значимой установки. Ясно, что искомый калориметрический эффект невелик и потребует больших объемов рабочего тела. Это не является сдерживающим фактором для строительства низкопотенциальных

энергогенераторов для отдаленных поселков, арктических и антарктических станций и даже будущих обитаемых станций на Луне и Марсе.

Была разработана физическая установка - спэйскалориметр, которая утилизирует невидимую часть электромагнитных космических лучей и их корпускулярных потоков – солнечного и галактического спэйсквантового излучения. На спэйскалориметре были проведены несколько серий экспериментов. Обнаружен и измерен калориметрический эффект как от калибровочных альфа-источников, так и от реальных потоков КИ.

Анализ результатов экспериментов показал, что только механизма поглощения КИ не достаточно для построения практического энергогенератора. Поэтому рабочим телом должен быть не только поглощающий элемент (Pb), но и вещества, позволяющие генерировать экзотермические реакции.

Нами предложена новая идея использовать в рабочем теле спэйскалориметра такие вещества, химические элементы и их соединения, на которых будут идти экзотермические ядерные реакции, реакции деления и реакции синтеза. Предполагается, например, поместить в рабочий объем парафин или бор. Поскольку протоны и α -частицы доминируют в спектре КИ, то целесообразно в рабочем объеме поместить материал для генерации и мгновенных термоядерных реакций.

В мировой литературе известны калориметры космического излучения, задачей которых является измерение энергии отдельной космической частицы, падающей на калориметр, ее траектории и всего спектра вторичных частиц, порождаемых этой частицей в объеме калориметра [1]. В настоящей работе стояла совершенно иная задача – создать энергокалориметр, в объеме которого откладывалась бы вся энергия всех космических частиц, как корпускулярных так и электромагнитной природы. Задачей такой новой физической установки является наработка идей и технологий утилизации корпускулярного и электромагнитного космического излучения наподобие того, как это делает солнечная батарея с видимой частью спектра электромагнитного излучения Солнца.

Такая задача, по-видимому, ставится впервые, поскольку хорошо известно, что полная кинетическая энергия космического излучения, входящая до поверхности Земли очень мала и на первый взгляд ее утилизация кажется бесперспективной. Однако в лаборатории КазНУ им. аль-Фараби, найдены новые идеи усиления энергетического эффекта от космического излучения. На первом этапе исследований проводились эксперименты на установке, в которой осуществлялось прямое измерение полной энергии, поглощаемой рабочим телом из всего потока космических лучей.

Методика измерений

Поскольку измеряемый эффект мал, то была разработана система термопар с повышенной чувствительностью, усилители сигнала термопар [2] и использовались чувствительные милливольтметры. Основной физический принцип утилизации энергии КИ в данной установке – простое поглощение в рабочем теле спэйскалориметра энергии налетающих космических частиц. Была изготовлена модель спэйскалориметра, состоящая из двух сосудов объемом 1 литр каждая. Эти 2 сосуда, теплоизолированные от окружающей среды слоем пенопласта, показаны на рисунке 1. В качестве опорного элемента при относительных измерениях калориметрического эффекта от космических лучей использовались жидкий азот и вода, а измерителем служили пять последовательно соединенных дифференциальных термопар.

Благодаря небольшим размерам и низкой теплоёмкости, термопары мгновенно откликаются на изменения температуры, особенно если воздействию подвергается измерительный спай. Они могут реагировать на быстро изменяющуюся температуру в пределах нескольких сотен миллисекунд [3]. Спай, который находится в сосуде 2, называется измерительным или «горячим» спаем; другой спай - эталонным или «холодным». Напряжение, генерируемое эталонным спаем, зависит от температуры и на измерительном, и на эталонном спае. Поскольку термопара является дифференциальным устройством, а не

прибором для измерения абсолютной температуры, температура эталонного спая должна быть стабильной, чтобы получить точные показания разности абсолютных температур рабочего и опорного тела [4].

В одном сосуде находится опорное тело, в другом - рабочее. В работе в качестве рабочего тела служит свинцовая дробь, диаметром 4 мм., а в качестве опорного – вода и жидкий азот. В сосуде 1 находится опорное тело (жидкий азот), а в сосуде 2 помещалось рабочее тело (свинец).

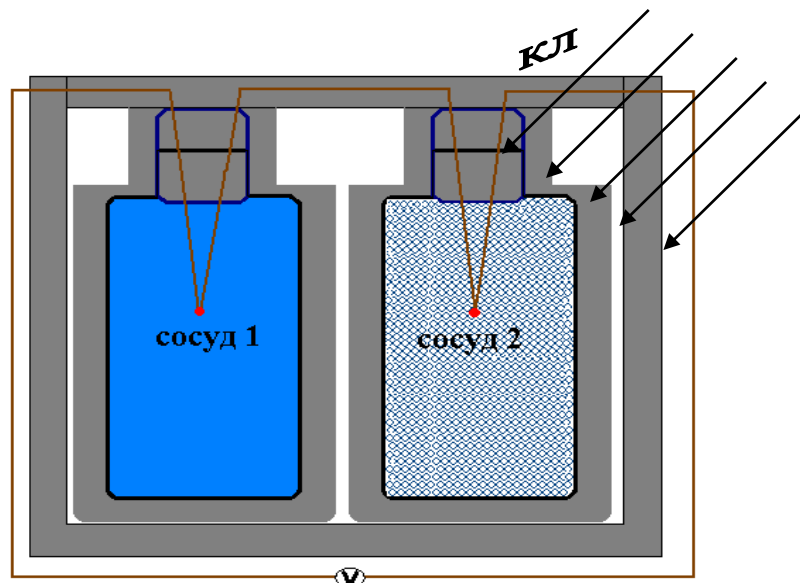


Рисунок 1 – Конструкция экспериментальной физической установки – спэйскалориметра КИ

Градуировка измерительной системы представлена на рисунке 2. На рисунке 3 показан общий вид физической установки –спэйскалориметра перед началом эксперимента.

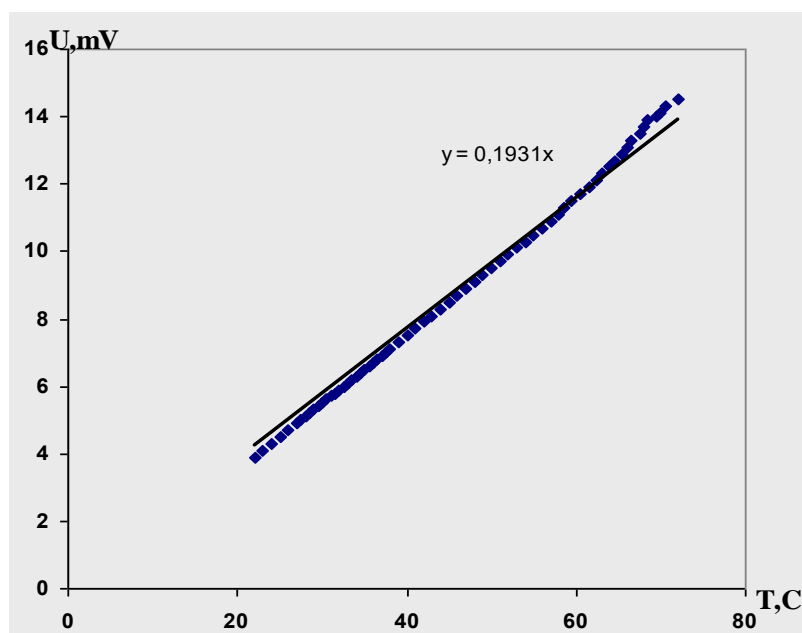


Рисунок 2- Градуировка физической установки



Рисунок 3- Физическая установка – спэйскалориметра

Эксперименты проводились на модели спэйскалориметра объемом 1 литр. В качестве рабочего тела был выбран свинец, как наиболее сильно поглощающее вещество, а в качестве опорного тела – вода, при комнатной температуре или жидкий азот. Быстро протекающие термодинамические процессы регистрировались цифровой видеосъемкой, а медленные термодинамические процессы регистрировались цифровым фотоаппаратом. Данные заносились в компьютер и обрабатывались по соответствующим программным пакетам.

Идея моделирующего эксперимента

Для получения достоверных данных о калориметрическом эффекте КИ разработанная физическая установка была протестирована с помощью моделирующих калибровочных альфа-источников (таблица 1). Использовались 3 альфа-источника: ^{238}Pu , ^{239}Pu и триплет $^{233}\text{U} + ^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu}$.

Таблица – 1- Основные характеристики α -источников

Наименование характеристик источника	Значение характеристики		
	Источник ^{238}Pu	Источник ^{239}Pu	Источник триплет
1. Аттестованные характеристики			
1.1 Активность α -излучающих нуклидов в источнике, кБк	40,1	3,8	38,6
1.2 Энергия α -излучения источника для основных переходов, кэВ, P=0,95	5499_{-5}^{+1}	5156_{-5}^{+1}	4824_{-6}^{+2} 5156_{-6}^{+1} 5499_{-6}^{+1}
2. Дополнительные характеристики			
2.1 Внешнее α -излучение источника $\cdot 10^{-3}, \text{с}^{-1}$	19,9	1,88	18,9
2.2 Собственная ширина линии α -излучения на половине высоты, кэВ, P=0,95	4 ± 2	6 ± 4	14 ± 6

Идея первой серии экспериментов состояла в том, что в качестве рабочего тела использовалась свинцовая дробь, а опорное тело – вода комнатной температуры источником излучения служили калибровочные альфа-источники, имитирующие потоки космических лучей. Во второй серии экспериментов в качестве рабочего тела использовали свинец, а опорным телом служит - жидкий азот и измерялись реальные потоки космических лучей. Схема эксперимента представлена на рисунке 4.

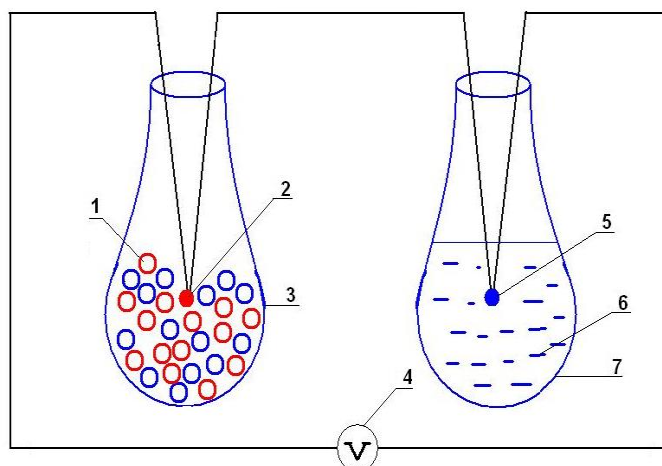


Рисунок 4 - Схема эксперимента : 1 – свинец; 2 – измерительный спай в рабочем объеме; 3 – рабочий сосуд ; 4 – микровольтметр; 5 – эталонный спай в объеме опорного тела; 6 – жидкий азот; 7 – опорный сосуд.

Для тестирования работоспособности установки в целом и ее абсолютной калибровки в данной работе, в первую очередь, определялся калориметрический эффект от моделирующих калибровочных альфа-источников (таблица 1). При такой замене реального потока космических лучей потоком альфа-частиц от калибровочных альфа-источников возникли быстропротекающие процессы в точке измерения (спай рабочей термодпары). В то время как калориметрические эффекты от реальных потоков космических лучей ожидалось как медленные. Пошаговые действия данной части исследования состояли в следующем. В рабочий сосуд опускались 3 альфа-источника (^{238}Pu , ^{239}Pu и триплет $^{233}\text{U}+^{238}\text{Pu}+^{239}\text{Pu}$ общей активностью $A=82,5$ кБк). Система термодпар подключалась к измерительной установке – милливольтметру. Показание милливольтметра регистрировались видеокамерой с последующей покадровой обработкой на компьютере. Таким образом, удалось зарегистрировать все быстропротекающие процессы в рабочем теле спайскалориметра.

В начальных опытах использовался прибор с точностью $0,1$ мВ. Оказалось, что при измерении изменений сигнала на уровне микровольт, обнаруживаются сильные помехи (шумы) от паразитных электрических и магнитных полей и окружающих установку предметов. Скручивание пары проводов термодпары значительно снизили наводки от магнитного поля. Использование экранированного кабеля и укладка проводов в металлический лоток и защитный экран снизили наводки от электрического поля [5]. Это позволило подключить более чувствительный прибор и включить в схему усилитель термодпар. В настоящей работе в схему измерительной установки был включен компаратор напряженности, как наиболее чувствительный прибор в разностной дифференциальной схеме.

В рабочих измерениях калориметрического эффекта от реальных потоков космических лучей регистрировались медленные термодинамические процессы. Физическая сущность их состоит в том, что реальный калориметрический эффект проявляется лишь на протяжении нескольких часов и недель и составляет малую величину.

Результаты измерений

На рисунках 5а,б даны результаты эксперимента первой серии с $R=\infty$ в цепи опорного термопарного спая. На рисунке б представлены данные второй серии экспериментов, где опорным телом являлся жидкий азот, а рабочим телом свинцовая дробь.

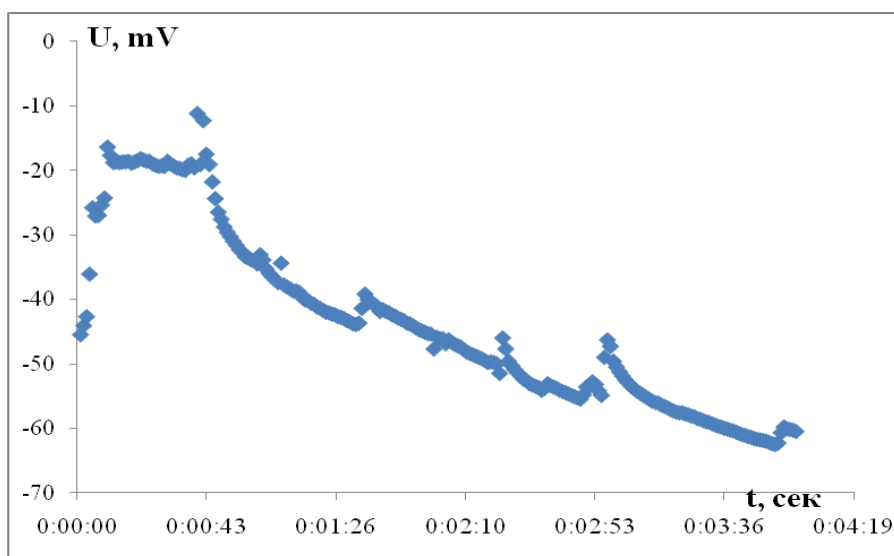
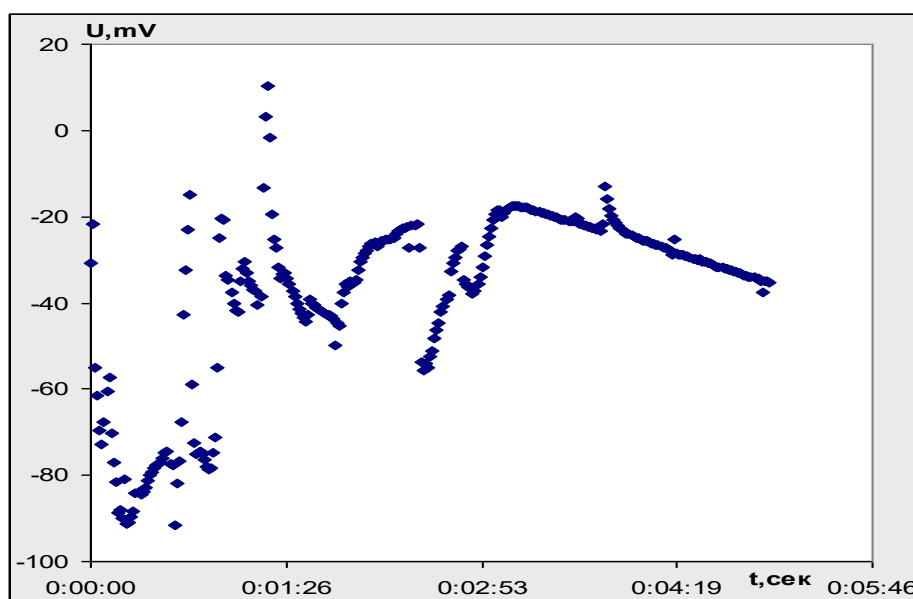


Рисунок 5 а- Результаты экспериментов при $R=\infty$ с $t=4$ минуты



б)

Рисунок 5 б- Результаты эксперимента при $R=\infty$ с $t=5$ минут

Из результатов эксперимента (рисунок 5 а, б) видно, что эффект нагревания верхнего слоя свинца в рабочем теле с калибровочным потоком альфа-частиц происходит за первые 40 секунд, затем тепло начинает распространяться по всему объему рабочего тела спэйскалориметра. Поэтому кривая падает по экспоненте до некоторой постоянной величины, соответствующей термодинамическому равновесию системы.

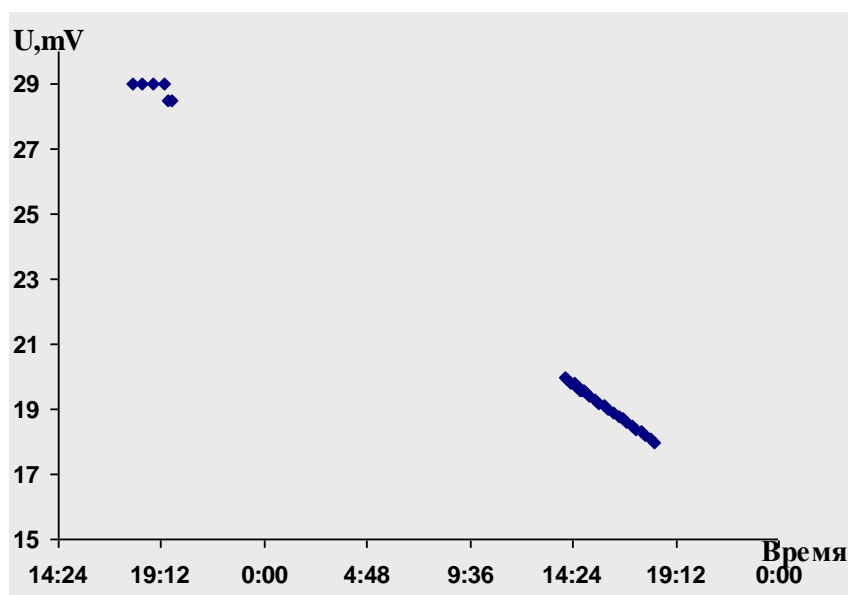


Рисунок 6 – Результаты второй серии экспериментов

При проведении экспериментов с реальными космическими потоками и с точностью прибора $0,1 \text{ mV}$ можно наблюдать уже только тот участок калориметрической кривой, когда температура сначала остается постоянной, а потом начинает падать по экспоненте.

В результате первой и второй серии экспериментов были исследованы физические пределы, в которых происходят исследуемые калориметрические процессы. Для этого было увеличено число термопарных спаев, их включение в схему усилителя сигнала термопары, а также использование более чувствительного микровольтметра. При работе с прецизионным компаратором напряжения его показания определялись с помощью метрологически аттестованной таблицы 2 [6].

Таблица 2 – Значения напряжений на каждом переключателе

Номер декады	1	2	3	4	5	6	7
Цена одной ступени декады по пределам калибровочных напряжений, В							
10	1 В	100 мВ	10 мВ	1 мВ	100 мкВ	10 мкВ	1 мкВ
1	100 мВ	10 мВ	1 мВ	100 мкВ	10 мкВ	1 мкВ	100 нВ
0,1	10 мВ	1 мВ	100 мкВ	10 мкВ	1 мкВ	100 нВ	10 нВ

На рисунках 7 а, б даны результаты тестовых измерений с альфа-источниками спэйскалориметра объемом 1 литр. Из рисунка 7 а видно, что температурный эффект составляет 3 мкВ , а из рисунка 7 б - 4 мкВ , то есть в среднем $3,5 \pm 0,5 \text{ мкВ}$. Калориметрический эффект можно выразить также в величинах отложенного в рабочем теле количества тепла. Это количество теплоты, как видно из графика 7 а, составляет примерно 5394 отн. кал. Из второго графика видно, что калориметрический эффект составил 5062 отн. кал. Таким образом, в среднем калориметрический эффект для модели спэйскалориметра объемом 1 литр составляет: а) для условной температуры рабочего тела $3,5(4) \text{ мкВ}$; б) для условного количества теплоты в среднем $5228(117) \text{ отн. кал.}$

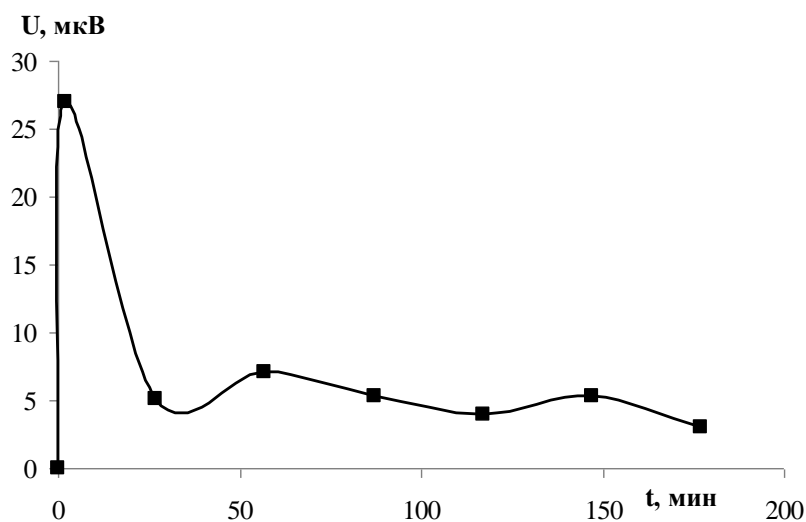
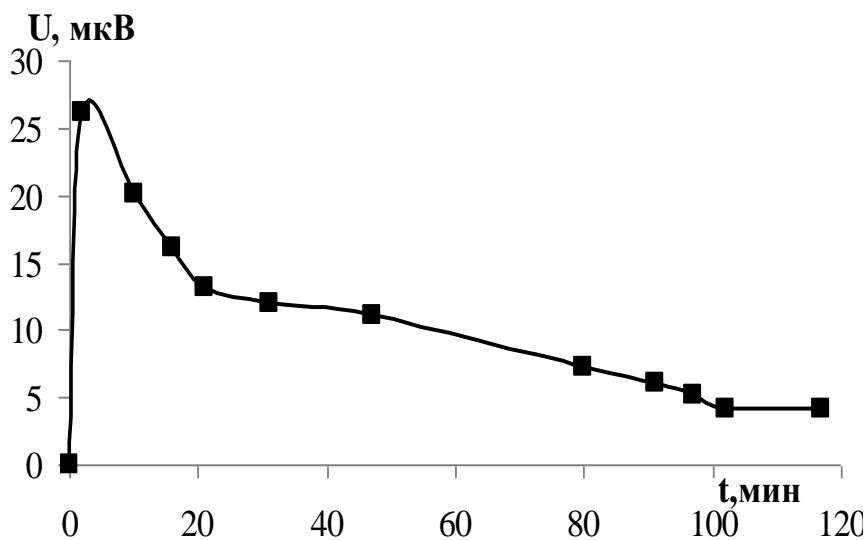


Рисунок 7 а-Экспериментальные данные третьей серии экспериментов, $t=170$ минут



б)

Рисунок 7 б-Экспериментальные данные третьей серии экспериментов, $t=120$ минут

Идея четвертой серии экспериментов состояла в том, что в качестве рабочего тела использовалась свинцовая дробь, а опорное тело – вода комнатной температуры источником излучения служили в первой части эксперимента 3 калибровочные альфа-источники, имитирующие потоки космических лучей, а во второй части только один альфа-источник. Эксперимент был включен в режим нон-стоп на протяжении нескольких месяцев. Измерения проводились при использовании прецизионного компаратора напряжения.

На рисунках 8 а даны результаты измерения за время с 17 июня 2012 года до 6 июля 2012 года. На рисунке 8 б даны результаты нейтронного мониторинга в тот же период времени. Во второй части четвертой серии экспериментов были получены результаты, которые показаны на рисунках 9 а, б в период 6/08/12 - 29/08/12. На рисунка 8 а и 9 а даны экспериментальные данные, полученные на однолитровой модели спэйскалориметра, а на рисунках 8 б и 9 б данные нейтронного мониторинга в отн.ед.[7].

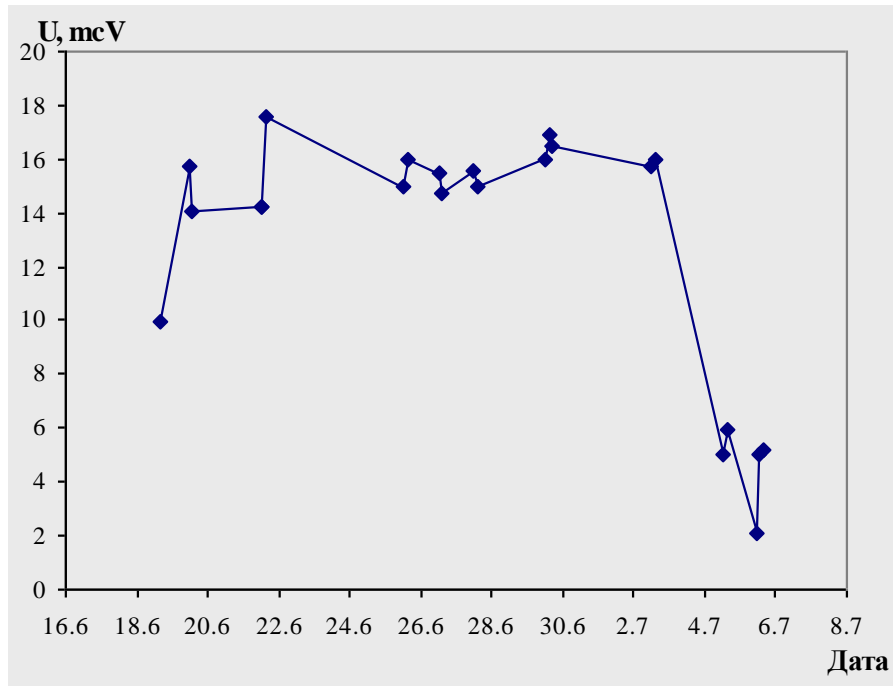


Рисунок 8 а – Экспериментальные данные четвертой серии экспериментов в период 17/06/12-7/07/12

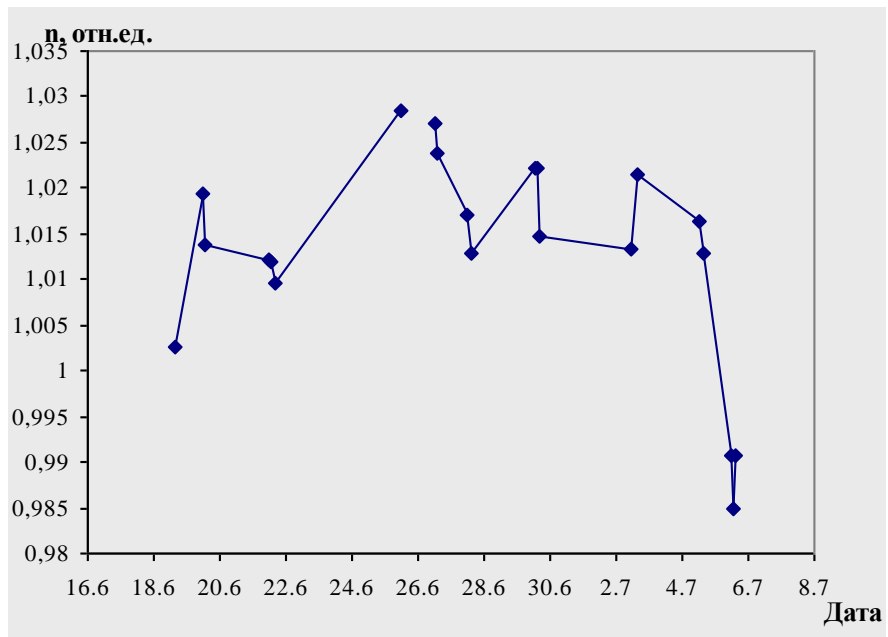


Рисунок 8 б – Экспериментальные данные нейтронного мониторинга в период 17/06/12-7/07/12

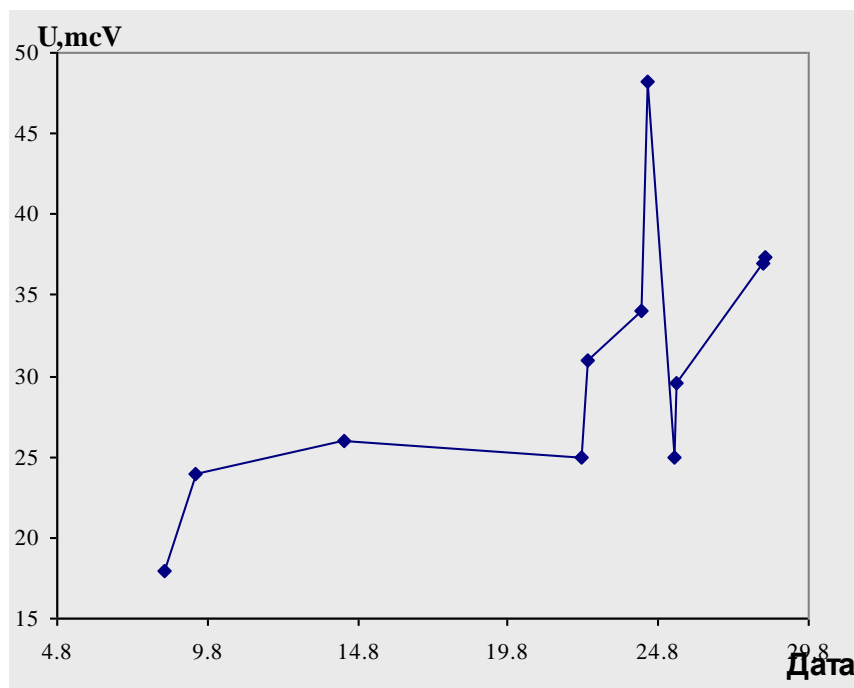


Рисунок 9 а - Экспериментальные данные четвертой серии экспериментов в период 6/08/12-29/08/12

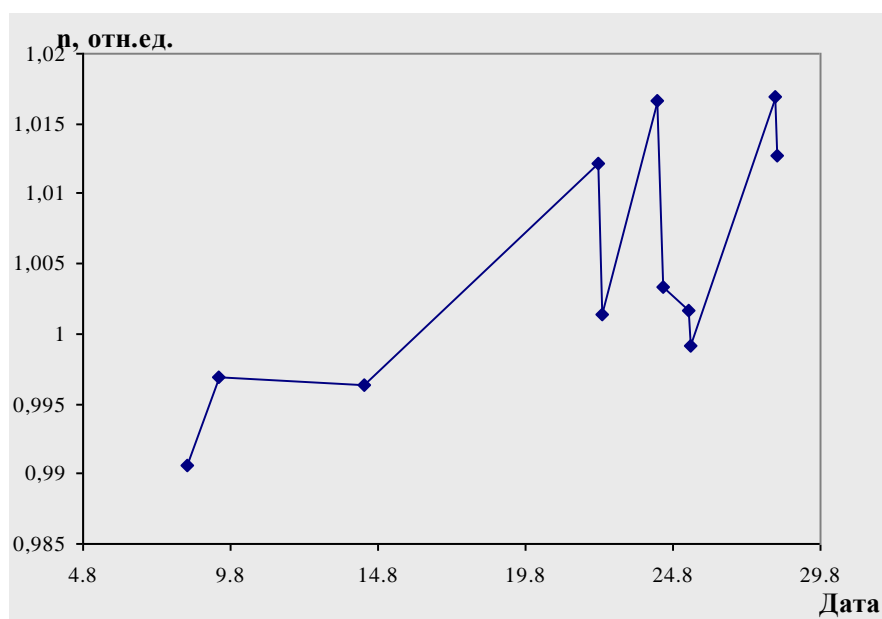


Рисунок 9 б - Экспериментальные данные нейтронного мониторинга в период 6/08/12-29/08/12

Заключение

Таким образом, основным результатом настоящих исследований является экспериментальное обнаружения и измерение калориметрического эффекта от потоков космических лучей. Из последней серии экспериментов видно, что альфа-источник дал пьедестал, то есть за счет этого флуктуации калориметрического эффекта удалось выявить из фона. Таким образом, альфа-источник является не только моделирующим излучением, а способом, с помощью которого можно выявить эффект из фона.

References

1. Bugakov V.V., Belyakov S.A., Grigorov N.L., etc. Printsipy ustroystva nauchnoy apparatury dlya izycheniya kosmicheskikh luchey vysokoy energii na kosmicheskoy stantsii «Proton-4» // Izv. AN SSSR, Ser. fiz., 1970, T.34, S.1818-1828.
2. Usilitel signala termopary s kompensatsiey napryazheniya na opornom spae // Skhemotekhnika, 2000, №1, S.18.
3. Pavlov B.P. Uchet nelineynosti graduirovochnoy kharakteristiki odinarnoy termopary pri izmerenii perepadov temperatury differentsialnymi termoparami // Izmeritelnaya tekhnika, 2003, №6. S.46-48.
4. Khemminger V., Khene G. Kalorimetriya. Teoriya i praktika: Per. s angl.-M.: Khimiya, 1990, 176 c.
5. Fiskind E. E. Izuchenie termopary kak istochnika EDS // Fizika-PS, 2011, №13. S.11-13.
6. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii: Komparator napryazheniy tipa P3003. Krasnodar, 1981, S.51.
7. <http://www.nmdb.eu/?q=node/19>

**В.В. Дьячков, Ю.А. Зарипова, А.Ж. Наурзбаева, В.А. Сысоев,
А.Л. Шакиров, А.В. Юшков**

ОРТА КЕҢДІКТЕРДЕ ҒАРЫШТЫҚ СӘУЛЕ ШЫҒАРУДЫҢ КАЛОРИМЕТРИЯЛЫҚ ӘСЕРІН ӨЛШЕУ

Эксперименталді қондырғылардың көмегімен ғарыштық сәуленен шығарылған калориметриялық әсерлерін табылған және өлшенген. Жобаланған және жасалған энергетикалық ұяшықтың лабораториялық макеті және жылулық репер элементтерін арқылы пайдаланумен өткізілген жылулық өлшеуі: ауа, су және сұйық азот. Осы жұмыста авторлармен, 1 литр көлемімен үлгіде, спэйсквантолық сәуле шығарудың калориметриялық әсерді көрсеткен. Алғашқы калориметриялық әсері тек арнаулы шарттарда тіркеу мүмкін, себебі «сын»ден әбден алыста жұмыстық дененің көлемі өзі аз табылған. «Сын» энергетикалық модульдың денесі мұндай жұмыс көлем түсініледі, қай жылулық шығындарда айтарлықтай төмен энергетикалық модуль жиюатын жылу тұр. Осы жұмыста қондырғыны жұмысқа қабілеттілігінің толығымен тестеуі үшін және оны абсолюттік калибрлеу, біріншіден, үлгі жасайтын калибрлеу альфа-көздерден калориметриялық әсері анықталды.

Түйін сөздер: Ғарыштық сәуле шығару, термопаралар, зарядталған бөлшектердің іздері, ядролық реакция толық қимасы, калориметриялық әсерлері.

V.V.Dyachkov, Y.A.Zaripova, A.Zh.Naurzbaeva, V.A.Sysoev, A.L.Shakirov, A.V.Yushkov

MEASURED CALORIMETRICALLY EFFECTS OF COSMIC RADIATION ON THE AVERAGE LATITUDE

Detect and measure the calorimetric effect from cosmic radiation (CR) using the experimental setup. Designed and manufactured laboratory prototype of energy cell and thermal measurements performed using as thermal benchmark elements: air, water, and liquid nitrogen. In this paper the authors, on the model of volume of 1 liter, demonstrated the existence of a calorimetric effect of space quantum radiation. It was found that the primary calorimeter effect may register only under special conditions, because of its small size for such a working fluid, which is very far from the "critical". By "critical" means that amount of working fluid power module, in which the heat loss is much lower heat accumulated in the power module. To test the efficiency installation as a whole and its absolute calibration in this paper is primarily determined by calorimetric effect of simulating gauge alpha sources.

Keywords: Cosmic radiation, thermocouple, ranges of charged particles, the total cross section of nuclear reactions, calorimetric effect.