

(НИИЭТФ, КазНУ Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы)

**ВАРИАЦИИ ПАДАЮЩЕЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ
ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ
ОТ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Аннотация

Настоящая работа представляет собой один из этапов исследования возможности утилизации кинети-ческой энергии солнечного и галактического космического излучения и использования ее в качестве альтер-нативного источника энергии. Ранее нами было экспериментально показано существование калоримет-рического эффекта от космического излучения. Для теоретической же оценки этого эффекта прежде всего необходимо проведение расчетов падающей на поверхность Земли мощности от космического корпус-кулярного и гамма – излучения в зависимости от глубины в атмосфере, жесткости геомагнитного обрезания пункта наблюдения, уровня модуляции космического излучения солнечным ветром. Проведение таких расчетов и являлось целью данной работы. Было получено, что средняя суммарная плотность потока энергии от космического излучения на уровне моря на средних геомагнитных широтах составляет ~ 94.7 МэВ/(с см²) и меняется в пределах 6 % в зависимости от геомагнитной широты и уровня солнечной активности. Эта величина небольшая, но, как показали проведенные нами предварительные теоретические и экспери-ментальные исследования, за счет вторичных процессов, вызываемых космическим излучением, при пра-вильном подборе материала рабочего тела и конфигурации энергогенератора можно добиться существенного увеличения вырабатываемой энергии.

Ключевые слова: вторичное космическое излучение, поток энергии, геомагнитная широта, глубина в атмосфере, альтернативная энергетика.

Кілт сөздер: екінші реттік ғарыштық сәулелену, энергия ағыны, геомагниттік ендік, атмосферадағы тереңдік, баламалы энергетика.

Keywords: secondary cosmic rays, energy flux, geomagnetic latitude, depth in the atmosphere, alternative energy.

1. Введение. Данная работа является одним из этапов исследования возможности утилизации кине-тической энергии солнечных и галактических космических лучей, а

также альфа-частиц от естественных радиоактивных элементов и других видов радиоактивного распада, использования ее в качестве альтер-нативного источника энергии. В предыдущих исследованиях нами на модели спэйсквантового энергогенератора было показано существование калориметрического эффекта от космического излучения, в настоящее время этот эффект исследуется экспериментально для энергетических модулей различной конфигурации с различными рабочими телами и различными веществами теплозащиты. Для теоретической же оценки этого эффекта прежде всего необходимо проведение расчетов падающей на поверхность Земли мощности от космического корпускулярного и гамма-излучения. Этому и посвящена настоящая работа.

Энергоемкость i -й компоненты вторичного космического излучения можно определить, зная зависимость глобальной (т.е. проинтегрированной по телесным углам) интенсивности частиц i -го сорта I от энергии E (т.е. энергетический спектр $I(E)$), по следующей формуле:

$$W_{\dot{Y}} = \int_{E_{\min}}^{\Gamma} I(E) E dE \quad (1)$$

Вторичное космическое излучение состоит из следующих компонент:

- 1) самая многочисленная на уровне моря жесткая, или мюонная компонента;
- 2) электронно-фотонная составляющая;
- 3) адронная компонента, состоящая в основном из протонов, нейтронов, пионов и незначительной доли более тяжелых ядер

Нами были собраны и проанализированы имеющиеся на сегодняшний день результаты по экспериментальному и теоретическому изучению дифференциальных и интегральных энергетических спектров и потоков каждой из этих компонент вторичного космического излучения в зависимости от глубины в атмосфере, жесткости геомагнитного обреза пункта наблюдения, угла прихода частиц, уровня модуляции космического излучения солнечным ветром (т.е. в зависимости от фазы цикла солнечной активности).

2. Основная часть. Дифференциальную интенсивность мюонов на уровне моря можно описать с помощью параметризации Гайссера [1], Чиркина [2], Гуана и др. [3]:

$$\frac{dI}{dEdW} = \frac{0.14 E^{-2.7}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{GeV}} \left[\frac{3.64 \text{GeV}}{E (\cos q^*)^{1.29}} \frac{1}{1 + \frac{1.1 E \cos q^*}{115 \text{GeV}}} + \frac{0.054}{1 + \frac{1.1 E \cos q^*}{850 \text{GeV}}} \right] \quad (2)$$

Здесь $\cos q^* = \sqrt{\frac{(\cos q)^2 + P_1^2 + P_2 (\cos q)^3 + P_4 (\cos q)^5}{1 + P_1^2 + P_2 + P_4}}$, θ – зенитный угол прихода мюонов,

наилучшее приближение достигается при следующих значениях параметров: $P_1 = 0.102573$; $P_2 = 0.068287$; $P_3 = -0.958633$; $P_4 = 0.0407253$; $P_5 = -0.817285$. На рисунок 1 приведено сравнение экспериментальных данных по энергетическим спектрам мюонов на уровне моря с кривой, полученной из уравнения (2), согласно [4].

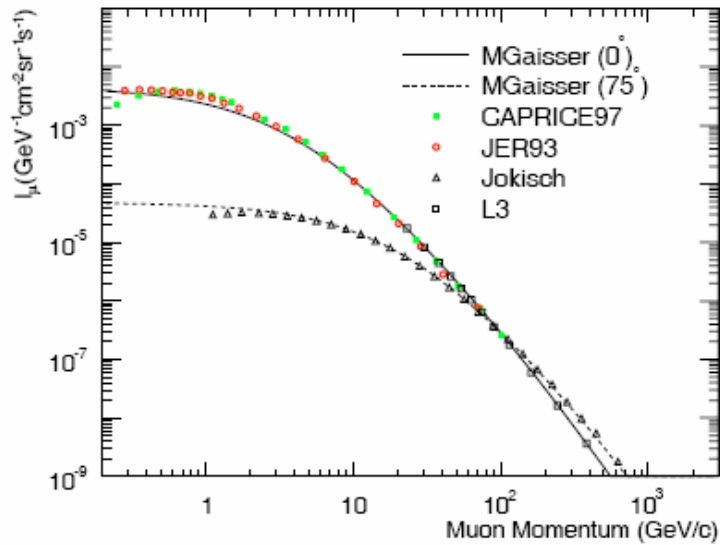


Рисунок 1 – Сравнение между экспериментальными данными (точки) и наилучшим приближением

согласно уравнению (2) (линии) для дифференциальной интенсивности $I(E) = dI/dEd\Omega$ на уровне моря.

Сплошная линия – дифференциальная интенсивность при $\theta = 0^\circ$;

пунктирная линия – дифференциальная интенсивность при $\theta = 75^\circ$. Приводится по [4]

Проведенные нами с использованием приведенных энергетических спектров расчеты дают для плотности потока энергии от мюонов вторичного космического излучения на поверхности Земли на средних геомагнитных широтах значение ~ 90 МэВ/(с см²). В зависимости от уровня солнечной активности эта величина может меняться в пределах 5 процентов. Что касается зависимости интенсивности мюонов от гелиомагнитной широты, то она слабо наблюдается только для малых (<5 ГэВ) энергий.

Главными составными частями адронной компоненты в глубине атмосферы являются протоны, нейтроны и пионы. Доля пионов в потоке космических лучей зависит от энергии и высоты. При небольших энергиях пионы быстро распадаются и их поток в атмосфере невелик, при энергиях 20–40 ГэВ доля пионов по отношению к числу протонов – ~ 30 –40%. Поток нейтронов на уровне моря близок к потоку протонов.

В работах [5, 6] с помощью численного моделирования взаимодействия частиц космического излучения с ядрами атомов атмосферы были рассчитаны хорошо согласующиеся с экспериментальными данными измерений на нейтронных мониторах дифференциальные и интегральные потоки протонов, нейтронов и пионов как функция координат в атмосфере, а также рассчитаны темпы генерации ими ядер ³H, ⁷Be, ¹⁰Be, ¹⁴C и ³⁶Cl. Для примера приведем представленные в работе [5] дифференциальные потоки протонов и нейтронов на 4-х различных глубинах в атмосфере (глубина 990 г/см² близка к

уровню моря) для низких широт и низкого уровня солнечной активности (рисунок 2). В этой же работе приводятся данные о потоках адронов на средних и высоких широтах и при различных уровнях солнечной модуляции.

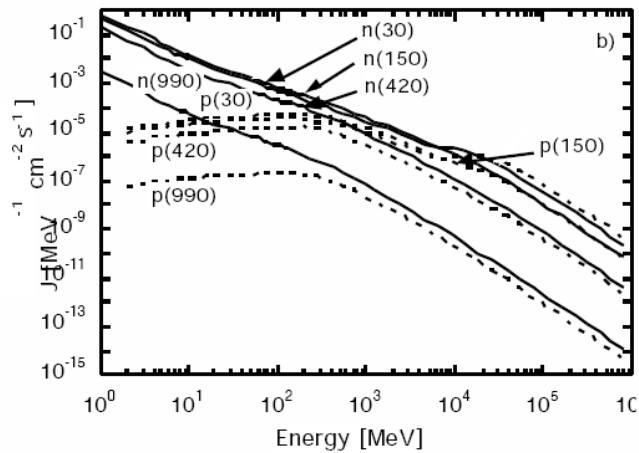


Рисунок 2 ([5], описание в тексте)

Проведенные нами расчеты показали, что плотность потока энергии нейтронов на средних геомагнитных широтах меняется от $\sim 2 \text{ МэВ}/(\text{с см}^2)$ в максимуме солнечной активности до $\sim 3 \text{ МэВ}/(\text{с см}^2)$ в минимуме солнечной активности, у протонов, соответственно, от $\sim 0.2 \text{ МэВ}/(\text{с см}^2)$ до $\sim 0.3 \text{ МэВ}/(\text{с см}^2)$.

Обзор экспериментальных и теоретических результатов по определению интенсивности пионов на уровне моря представлен в [7]. На основе данных, приведенных в этом обзоре, нами было получено, что плотность потока энергии от пионов на уровне моря составляет порядка $0,11 \text{ МэВ}/(\text{с см}^2)$. Отметим, что ошибка определения этой

величины, связанная с погрешностью экспериментальных данных, может достигать нескольких десятков процентов.

Согласно данным обзора, приведенного в [7], зависимость наблюдаемой интенсивности электронов от зенитного угла можно представить в виде $I(\theta) = I_v \cos^n(\theta)$, где n для $\theta \leq 60^\circ$ в интервале энергий $1,3 \leq E \leq 35$ МэВ можно принять равным двум, для электронов с энергией $E \geq 100$ МэВ $n > 3,6$. Принимая для угловой зависимости это выражение, можно получить следующее соотношение между вертикальной интенсивностью и потоком: $J = 2\rho \frac{I_v}{n+2}$. Используя также приведенные в этом обзоре сведения об энергетической зависимости вертикальной интенсивности электронов и фотонов, для плотности потока энергии от электронов на уровне моря получены значения порядка $0,8$ МэВ/(с см²), для гамма-излучения – порядка $0,9$ МэВ/(с см²).

Заключение. Таким образом, проведенные нами расчеты показывают, что средняя суммарная плотность потока энергии от космического излучения на уровне моря на средних геомагнитных широтах составляет $\sim 94,7$ МэВ/(с см²) и меняется в пределах 6 % в зависимости от геомагнитной широты и уровня солнечной активности. Эта величина небольшая, но, как показывают проведенные нами предварительные теоретические и экспериментальные исследования, за счет вторичных процессов, вызываемых космическим излучением, при правильном подборе материала рабочего тела и конфигурации установки можно добиться существенного увеличения вырабатываемой энергии.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Gaisser T.K. et al. Cosmic Rays // <http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/cosmicrayrpp.pdf>. 2005
- 2 Chirkin D. Fluxes of atmospheric leptons at 600 GeV-60 TeV // AMANDA collaboration site: <http://area51.berkeley.edu/manuscripts>. 2004.
- 3 Guan M. et al. Muon simulation at the Daya Bay site. Daya Bay experiment internal note 318 // http://puhep1.princeton.edu/~mcdonald/examples/detectors/guan_daya_bay_318.pdf. 2006
- 4 He Q., McDonald K. Muon Rate in the μ BooNE TPC // <http://www.hep.princeton.edu/~mcdonald/microBooNE/KTM/MuonRate.pdf>. 2009
- 5 Masarik J., Beer J. Simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere // Journal of Geophysical Research. – 1999. – 104 (D10). 12.099-12.111.
- 6 Masarik J., Beer J. An updated simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere // Journal of Geophysical Research. – 2009. – D114. Article number D11103.
- 7 Grieder P.K.F. Cosmic rays at Earth. – Elsevier, 2001. – 1093 p.

REFERENCES

- 1 Gaisser T.K. et al. Cosmic Rays. <http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/cosmicrayrpp.pdf>. 2005
- 2 Chirkin D. Fluxes of atmospheric leptons at 600 GeV-60 TeV. AMANDA collaboration site: <http://area51.berkeley.edu/manuscripts.2004>.
- 3 Guan M. et al. Muon simulation at the Daya Bay site. Daya Bay experiment internal note 318. http://puhep1.princeton.edu/~mcdonald/examples/detectors/guan_daya_bay_318.pdf. 2006
- 4 He Q., McDonald K. Muon Rate in the μ BooNE TPC. <http://www.hep.princeton.edu/~mcdonald/microBooNE/KTM/MuonRate.pdf>. 2009
- 5 Masarik J., Beer J. Simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere // Journal of Geophysical Research. – 1999. – 104 (D10). 12.099-12.111.
- 6 Masarik J., Beer J. An updated simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere // Journal of Geophysical Research. – 2009. – D114. Article number D11103.
- 7 Grieder P.K.F. Cosmic rays at Earth. – Elsevier, 2001. – 1093 p.

Резюме

А. В. Юшков, В. В. Дьячков, Ю. А. Зарипова, Б. Ж. Медетов, А. Ж. Наурызбаева

(әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті ЭТФҒЗИ, Алматы қ.)

ҒАРЫШТЫҚ СӘУЛЕЛЕНУДЕН ЖЕР БЕТІНЕ ТҮСЕТІН ЭНЕРГИЯ АҒЫНЫ ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ВАРИАЦИЯЛАРЫ

Бұл жұмыс күн және галактикалық ғарыштық сәулеленудің кинетикалық энергиясын баламалы энергия көзі ретінде пайдалану мүмкіншілігін зерттеудің бір кезеңі болып табылады. Бұрында біз ғарыштық сәулеле-нуден болатын калориметрлік әсер бар екенін эксперимент жүзінде көрсеткенбіз. Бұл әсерді теориялық тұрғыдан бағалау үшін ең алдымен жер бетіне ғарыштық корпускулалық және гамма-сәулеленуден түсетін қуатын, оның атмосферадағы тереңдікке, бақылау нүктенің геомагниттік кесілу қатаңдығына, ғарыштық сәулеленуді күн желімен модуляциялау деңгейіне тәуелділігін зерттеу керек. Бұл зерттеулерді өткізу осы жұмыстың мақсаты болып табылды. Біздің есептеулер көрсеткендей, ғарыштық сәулеленуден жер бетіне түсетін қосынды энергия ағынының

тығыздығы орта геомагниттік ендіктерде ~ 94.7 МэВ/(с см²) құрайды да, геомагниттік ендік пен күн белсенділігінің деңгейіне байланысты 6 % шегінде өзгереді. Бұл шама үлкен емес, бірақ біз алдын ала жүргізген эксперименттік және теориялық зерттеулер жұмыс денесінің заты мен энергия генераторының пішіні дұрыс таңдалған жағдайда ғарыштық сәулеленумен қоздырылатын екінші реттік құбылыстар нәтижесінде шығарылатын энергия мөлшерін айтарлықтай жоғарылатуға болатынын көрсетті.

Кілт сөздер: Екінші реттік ғарыштық сәулелену, энергия ағыны, геомагниттік ендік, атмосферадағы тереңдік, баламалы энергетика.

Summary

A. V. Yushkov, V. V. Dyachkov, Yu. A. Zaripova, B. Zh. Medetov, A. Zh. Naurzbayeva

(SRIETPh of Al-Farabi Kazakh national university, Almaty)

VARIATIONS OF ENERGY FLUX DENSITY FALLING ON THE EARTH'S SURFACE FROM COSMIC RAYS

This work represents one of the stages of the research of utilization of kinetic energy of solar and galactic cosmic radiation and its use as an alternative energy source. We have previously demonstrated experimentally the existence of the calorimetric effect of cosmic radiation. For theoretical estimates of this effect it is necessary to carry out calculations of the OF ENERGY FLUX DENSITY FALLING ON THE EARTH'S SURFACE FROM corpuscular and gamma COSMIC RADIATION as a function of depth in the atmosphere, the geomagnetic cutoff rigidity of the observation, the level of modulation of cosmic rays by the solar wind. These calculations were the purpose of this work. It was found that the average total energy flux of cosmic radiation at sea level on average geomagnetic latitude of ~ 94.7 MeV/(s cm²) and varies 6% depending on the geomagnetic latitude and solar activity level. This value is small, but, as shown by our preliminary theoretical and experimental studies, due to secondary processes induced by cosmic radiation, by correct selection of working body material and energy generator configuration one can achieve a significant increase of energy output.

Keywords: Secondary cosmic rays, energy flux, geomagnetic latitude, depth in the atmosphere, alternative energy.

Поступила 27.03.2013г.