

ԵՐԵՎԱՆԻ ԶՐԶՐՎԱԾ ԲՆՍՏՐՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-270(63)-77

ՏՎ ԿԳՈԿԿԳԿ

Դ.Ա.ԱՏԱԴՅԱՆ, Խ.Ս.ԲԱԲԵՅԱՆ, Մ.Բ. ԲԱԳԴՍԱՐՅԱՆ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОНОВ И γ -КВАНТОВ
В СТРАТОСФЕРЕ НА ШИРОТЕ $34,5^{\circ}N$

ԱՐՄՍ

ԵՐԵՎԱՆ

1977



ԵՐԵՎԱՆ

ЕФН-270(63)-77

G.A.ASATRYAN, Kh.P.GABAYAN

M.B.BAGDASARYAN

**ENERGY SPECTRA OF ELECTRONS AND γ -QUANTA IN
STRATOSPHERE IN LATITUDE 34.5 N**

The calculating data of energy spectra of initial electrons and photons in stratosphere in geomagnetic latitude 34.5 N are given. The calculating data of μ -mesons are in the agreement with the data experimentally measured at 3.200 meters height above the sea level (m.Aragats).

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1977

ЕФИ-270(63)-77

УДК.537.591

Г.А.АСАТРЯН, Х.П.БАБАЯН, М.Б.БАГДАСАРЯН
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОНОВ И γ -КВАНТОВ
В СТРАТОСФЕРЕ НА ШИРОТЕ $34,5^{\circ}N$.

Приводятся расчетные данные энергетических спектров первоначально образующихся электронов и фотонов в стратосфере на геомагнитной широте $34,5^{\circ}N$. Расчетные данные μ - мезонов согласуются с экспериментально измеренными данными на высоте 3200 метров над уровнем моря (г.Арагац).

Ереванский физический институт
Ереван 1977

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-270(63)-77

Г.А.АСАТРЯН, Х.П.БАБАЯН, М.Б. БАГДАСАРЯН

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОНОВ И γ -КВАНТОВ
В СТРАТОСФЕРЕ НА ШИРОТЕ $34,5^{\circ}N$

Ереван 1977

© *Ереванский физический институт, 1977*

В исследовании процесса прохождения космических лучей через атмосферу существенное место занимает метод стратосферного зондирования, суть которого заключается в практически одновременном изучении высотных характеристик космических частиц в различных пунктах наблюдения.

В настоящей работе приведены расчетные данные энергетических спектров первоначально образующихся электронов и фотонов в стратосфере на геомагнитной широте $34,5^{\circ}N$.

В основу произведенных расчетов положена общепринятая феноменологическая картина, из которой непосредственно следует, что электронно-фотонная компонента космических лучей в стратосфере целиком возникает вследствие распада по известным схемам вторичных мезонов, которые образуются в процессах взаимодействий первичной компоненты с атомами ядра воздуха. Поэтому для соответствующих расчетов необходимы первичные данные о генерирующей компоненте и об энергетическом спектре рождения мезонов.

§ I. Генерирующая компонента

При расчете энергетического спектра генерирующей компоненты (нуклонов) в стратосфере на широте $34,5^{\circ}$ с.ш. нами были

использованы данные работ [1,2], где обобщены результаты измерений по электронно-ядерным ливням для других широт.

Известно, что в случае падения на границу атмосферы потока первичных частиц с чисто степенным спектром ($\sim E^{-\chi}$) нуклонная лавина будет поглощаться в атмосфере по экспоненциальному закону с коэффициентом поглощения L_n , зависящим от показателя спектра. В этом случае спектр нуклонов будет на всех высотах оставаться степенным с тем же показателем χ .

Однако, в действительности на границу атмосферы падает поток частиц не с чисто степенным спектром. Кроме того, показатель спектра (χ) сам является функцией энергии [3] и изменяется от 1,8 в области энергии $10^9 - 10^{10}$ эв до 2,6 в области энергии $> 10^{10}$ эв.

На изучаемой нами широте, где геомагнитный порог обрезания $E_g = 7,6 \pm 0,1$ Гэв [4], можно считать, что показатель степени энергетического спектра нуклонов постоянен и равен 2,6 [5]. Но при прохождении через атмосферу первичных нуклонов, вследствие ядерно-каскадных процессов спектр генерирующей компоненты простирается в сторону энергий, меньших, чем пороговые. Поэтому кроме спектра нуклонов с энергией $> 7,6$ Гэв, нужно еще иметь спектр нуклонов (вторичных) с энергией от 1,5 до 7,6 Гэв на данной широте.

Таким образом, при расчете энергетического спектра протонов с энергией $\geq 7,6$ Гэв мы воспользовались экспоненциальной формулой с показателем $\chi = 2,6$. При этом с учетом среднего значения энергии нуклонов первичного потока данной широты (~ 12 Гэв), различных значений коэффициента неупругости

(0,3 - 0,5) и при 60 г/см^2 пробега взаимодействия в воздухе, для среднего значения L_n приняли величину 120 г/см^2 . Нормировка проводилась так, чтобы число протонов на границе атмосферы равнялось числу первичных частиц для данной широты ($1,5 \text{ мин}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стерад}^{-1}$). Проводя соответствующие расчеты, мы построили высотную зависимость числа протонов с энергией $\geq 7,6 \text{ Гэв}$, что и приведено на рис.1 (кривая 1).

На этом же рисунке приведена расчетная кривая для протонов в интервале энергии от 1,5 до 7,6 Гэв (рис.1 кривая 3). При расчетах мы воспользовались высотной зависимостью интенсивности протонов с энергией $> 1,5 \text{ Гэв}$ [2] (рис.1, кривая 2).

§ 2. μ - мезонная компонента.

Для нахождения спектров первоначально образующихся электронов и фотонов при распадах мезонов можно воспользоваться спектром генерации μ - мезонов данной широты. Поэтому необходимо возможно более точно знать её энергетический спектр на некоторой высоте и поведение данной компоненты в зависимости от глубины атмосферы.

Здесь мы попытаемся построить энергетический спектр генерации μ - мезонов в атмосфере для широты $34,5^\circ$ с.ш., используя более надежные экспериментальные данные. В основе расчета лежит предположение, что μ - мезоны возникают в результате распада π - мезонов налету, причем π - мезоны генерируются первичной нуклонной компонентой, поглощающейся экспоненциально. В области не очень больших энергий ($< 10^9 \text{ эв}$) задачу

мы решили непосредственно путем построения сначала, так называемой, функции генерации μ - мезонов и последующего перехода к спектру рождения π - мезонов. При вычислениях были использованы экспериментальные данные о высотной зависимости потока μ - мезонов на разных широтах [6,7] и экспериментальные данные μ - мезонов на высоте ~ 700 г/см² [8,9], для нашей широты не требующих различных геомагнитных поправок (г.Арагац).

Расчетные кривые зависимости вертикального потока μ - мезонов для геомагнитной широты $34,5^{\circ}$ с.ш. приведены на рис.2 Там же указаны экспериментально полученные данные о вертикальном потоке μ - мезонов, взятые из литературы для ст.Арагац.

Нам кажется, что экспериментальные данные для μ - мезонов, полученные с помощью магнитного спектрометра на высоте 3200 м над уровнем моря [8,9], являются наиболее надежными.

Следует отметить, что расчетный вертикальный поток μ - мезонов с энергией $> 1,5 + 2 \cdot 10^8$ эв в пределах ошибок совпадает с нашими же данными, полученными с помощью μ - мезонного телескопа на высоте ~ 700 г/см² на этой же широте [10].

Для определения спектра генерации μ - мезонов мы исходили из дифференциального уравнения [11], выражающего баланс числа мезонов с полкой энергией E на любой глубине в атмосфере. При этом отбирался такой спектр, который, с одной стороны удовлетворял бы измеренной интенсивности цитированных работ [11,6,7], и с другой стороны, совпал бы с известным

энергетическим спектром мезонов на высоте $\sim 700 \text{ г/см}^2$ [8,9].

Рассчитанный таким образом спектр генерации медленных μ - мезонов в атмосфере для широты $43,5^\circ$ с.ш. приведен на рис.3 (кривая I). Спектр рождения более энергетичных μ - мезонов на данной же широте будет иметь вид [3] :

$$\frac{\partial N_\mu}{\partial E} = \frac{200}{E^{2,6}} \text{ мин}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стерад}^{-1}.$$

Дело в том, что, как указано в работе [6], почти отсутствует широтный эффект μ - мезонов с энергией $> 7m_\mu c^2$ между широтами 51° и 31° N . Это показывает, что протоны с энергией $< 7,6$ Гэв (геомагнитный порог обрезания) с малой эффективностью генерируют μ - мезоны с энергией $> 10^9$ эв. Заметим, что сравнение данных не энергичных μ - мезонов на широтах 51° и $34,5^\circ$ (рис.3) показывает существование большого широтного эффекта. В области максимума интенсивностей мезонов широтный эффект близок к трем. Таким образом, большая часть μ - мезонов с энергиями $< 7m_\mu c^2$ в стратосфере на широте 51° образуется первичными частицами с энергией $< 7,6$ Гэв.

Пользуясь спектром μ - мезонов, представленным на рис.3 (кривая I), можно получить энергетический спектр рождения π - мезонов в атмосфере, который и приведен на этом же рисунке (кривая 3). Следует отметить, что при вычислении спектра π - мезонов, как отмечено в работе [12], в первом приближении можно было пренебречь разбросом импульсов μ - мезонов,

возникающих от распада π - мезонов с данным импульсом, т.е. для случаев распада π - мезонов с энергией E среднее эффективное значение энергии μ - мезона будет

$$\bar{E}_\mu = \frac{1}{1,3} E_\pi .$$

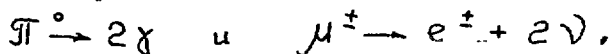
Иначе говоря, для перехода от функции рождения μ - мезонов к спектру рождения π - мезонов каждый μ - мезон, имеющий определенную энергию и движущийся в определенном направлении, нужно заменить π - мезоном, идущим в том же направлении и обладающим полной энергией, в 1,3 раза (точнее 1,27), превышающей полную энергию μ - мезонов.

Это означает, что плотность частиц в вертикальном потоке сохраняется при переходе от спектра генерации μ - мезонов к спектру генерации π - мезонов. Однако такое утверждение тем ближе к истине, чем больше энергия μ - мезонов. При малых энергиях следует учесть характер углового разброса. Как показано в работе [13], в рамках приближения, в которых построен спектр генерации μ - мезонов и высотной зависимости вертикального потока ни многократное кулоновское рассеяние, ни кинематика $\pi \rightarrow \mu$ распада не дают существенной поправки, так как она достигает максимальной величины 4% для π - мезонов с полной энергией $3 \cdot 10^8$ эв.

§ 3. Энергетические спектры первоначально образованных γ -квантов и электронов

При вычислении энергетических спектров первоначально обра-

рождающихся фотонов от распада π^0 -мезонов и электронов от распада μ -мезонов мы пользовались известными кинематическими соотношениями для распадов



Для получения энергетического спектра фотонов от распада π^0 -мезонов сделано предположение, что энергетический спектр генерации π^0 -мезонов подобен спектру π^\pm -мезонов. Переход от спектра π^0 -мезонов к спектру фотонов распада проведен по формуле данной в работе [14]. Рассчитанный таким образом дифференциальный спектр γ -квантов в атмосфере на широте $34,5^\circ$ приведен на рис. 4 (кривая I). Число фотонов при энергии γ -кванта больше 10^9 эв определяется по формуле

$$\frac{\partial N_\phi}{\partial E} = \frac{100}{E^{2,6}} \text{ мин}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стерад}^{-1} (10^8)^{-1}.$$

При расчете предполагается, что спектр рождения фотонов не меняется с глубиной атмосферы, так как согласно [15], вид энергетических спектров нуклонов, дающих электронно-ядерные ливни в атмосфере слабо меняется с глубиной.

При этом число родившихся фотонов на данной глубине X_0 в слое dX_0 , в интервале энергий от $E_0 + dE_0$ до E_0 можно выразить в следующем виде $\alpha(X_0) \frac{dN_\phi}{dE} dX_0 dE$, где функция $\alpha(X_0)$ учитывает высотный ход нуклонной компоненты. Так как dN_ϕ / dE — есть полное число фотонов, генерированных по всей толщине атмосферы, то функцию высотного хода нуклонов $\alpha(X_0)$ в принципе можно нормировать следующим образом:

$$\int_0^\infty \alpha(X_0) dX_0 = 1$$

Однако при этом для нашей широты следует учесть геомагнитный порог обрезания. Такая нормировка была использована при расчете для основной части нашей широты. При расчете электронной компоненты на широте $34,5^\circ$ от π° - мезонов, образующихся при ядерных взаимодействиях нуклонов с энергиями ниже критической ($< 7,6$ Гэв), находилась абсолютная интенсивность этих нуклонов в зависимости от глубины атмосферы. Поэтому при расчете высотного хода протонов для широты $34,5^\circ$ на рис.1, нормированны таким образом, чтобы число протонов на границе атмосферы равнялось числу первичных частиц ($1,5 \text{ мин}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стерад}^{-1}$). Допускаемые при этом неточности не могут существенным образом сказаться на результатах расчетов для широты $34,5^\circ$. Энергия передаваемая π° - мезонам нуклонами с энергией ниже критической, составляет $\sim 1,5$ Гэв.

Расчет энергетического спектра электронов от распада μ - мезонов на этой же широте проведен той обобщенной методикой, которая была использована в работе [3] для разных широт. Здесь спектр электронов зависит от глубины атмосферы, на которой распадаются мезоны. На рис.4 приведены дифференциальные энергетические спектры электронов распада μ - мезонов при давлениях 30,200 и 600 г/см² на широте $34,5^\circ$.

Следует отметить, что в области энергии больше 1 Гэв спектры π - мезонов, фотонов и электронов в атмосфере имеют степенной вид с показателем степени $\chi = 2,6$. В области энергии меньше 1 Гэв наклоны спектров уменьшаются, максимум в спектре электронов достигается при энергии 30 + 40 Мэв, а для фотонов при энергии около 70 Мэв.

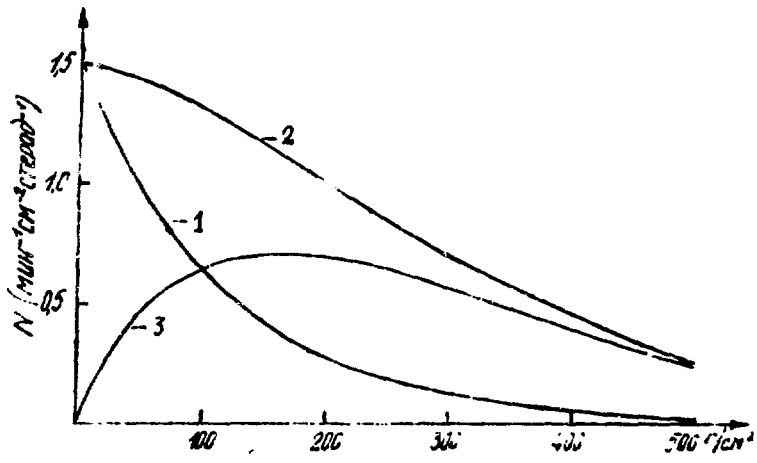


Рис. 1

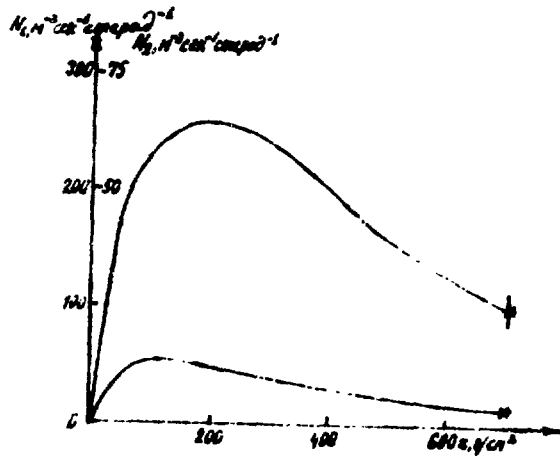


Рис. 2

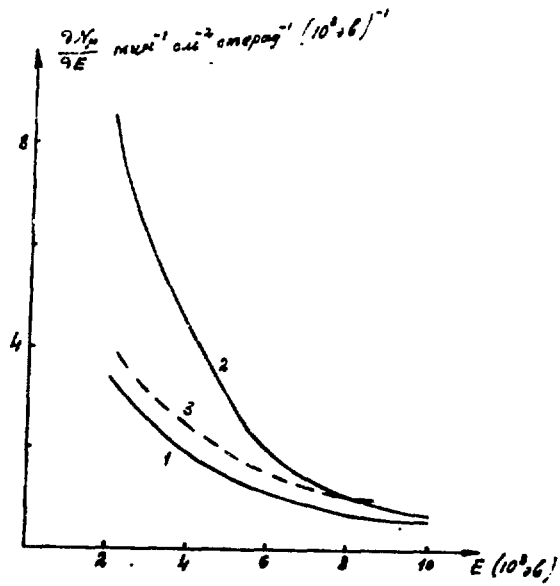


Рис.3

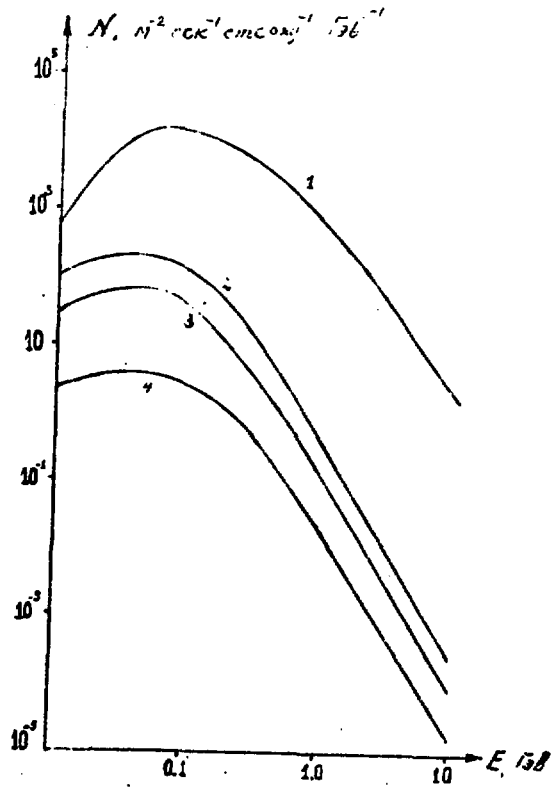


Рис. 4

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Высотный ход генерирующей компоненты на широте $34,5^{\circ}N$:

1 - для протонов с энергией $E \geq 7,6$ Гэв

2 - $E > 1,5$ Гэв и 3 - $1,5 < E < 7,6$ Гэв

Рис.2 Расчетные кривые зависимости интенсивности μ - мезонов от атмосферного давления на широте $34,5^{\circ}$ с.ш.

N_1 - для $E_{\mu} \geq 6,3 \cdot 10^8$ эв, N_2 - для $E_{\mu} \sim 1,5 \cdot 10^8$ эв

* - экспериментальные данные ст.Арагац [8,9].

Рис.3 Энергетические спектры генерации:

1 μ - мезонов (расчетная) на широте $34,5^{\circ}$

2 μ - мезонов на широте 51° [3]

3 π - мезонов на широте $34,5^{\circ}$

Рис.4 Дифференциальные энергетические спектры:

1 - фотонов распада π^0 - мезонов на широте $34,5^{\circ}$

2,3,4 - электронов распада μ - мезонов при давлениях 30,200 и 600 г/см² на указанной же широте.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Н.Чарахчян. М., канд.диссертация, ФИАН, 1952.
2. Н.Л.Григоров. УФН, 58, 599, 1956.
3. Т.Н.Чарахчян. М., докт. диссертация, ФИАН, 1970.
4. С.К.Акопян, Г.А.Асатрян, Х.П.Бабаян. Научное сообщение ЕФМ-255(48)-77.
5. Н.Л.Григоров и др. Изв. АН СССР, сер. физ. 35, 12, 2443, 1971.
6. П.Н.Агешин, Т.Н.Чарахчян. Вестник Московского университета, 2, 77, 1956.
7. В.Ф.Тулинов. ЖЭТФ, 33, 1163, 1957.
8. Н.М.Кочарян и др. ЖЭТФ, 30, 243, 1956.
9. Н.М.Кочарян и др. ЖЭТФ, 35, 1342, 1958.
10. С.К.Акопян, Г.А.Асатрян, Х.П.Бабаян.
Научное сообщение ЕФМ-106(75).
11. Hamilton Y., Heitler W., Peng H. J. Rev., 64, 78 (1943)
12. Г.М.Гарибян, И.И.Гольдман. ЖЭТФ 26, 257, 1954.
13. Дж. Вильсон. Физика космических лучей, 3, 336, 1958.
14. U. Camerini, J. Coor Phil. Mag. 40, 1073 1949
15. Ю.А.Сморodin. Диссертация ФИАН. М. 1957.

Рукопись поступила 4-го августа 1977 г

Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ II87

ВФ-03425

Тираж 299

Подписано к печати 30/ХП-77г. Формат издания 30x40
I,0 уч. изд.л. Ц.7 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван 36, пер.Маркаряна 2

индекс 3624