

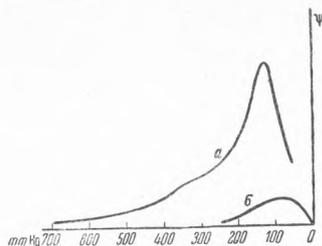
С. Н. ВЕРНОВ

**АНАЛИЗ ШИРОТНОГО ЭФФЕКТА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ
В СТРАТОСФЕРЕ**

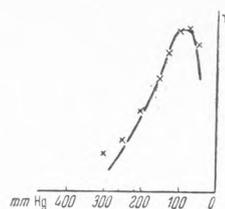
(Представлено академиком С. И. Вавиловым 28 II 1939)

На основании данных о зависимости интенсивности космических лучей от высоты на различных широтах можно сделать заключения о законе поглощения корпускулярных лучей определенной энергии.

Разность между кривыми, представленными на фиг. 1 предыдущей статьи (см. выше), дает кривую поглощения для частиц, спектр которых изображен на фиг. 2 той же статьи.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Для сравнения полученной таким образом кривой поглощения с выводами каскадной теории необходимо определить кривую поглощения для параллельного пучка космических лучей.

Это можно сделать на основании полученных экспериментальных данных при помощи формулы Гросса⁽¹⁾:

$$2\pi i_0 \psi(x) = I_{\frac{\pi}{2}}(x) - x \frac{dI_{\frac{\pi}{2}}(x)}{dx},$$

где i_0 — интенсивность космического излучения в единице телесного угла на границе атмосферы, $\psi(x)$ — интенсивность вертикального пучка космических лучей и $I_{\frac{\pi}{2}}(x)$ — интенсивность космических лучей, достигающих

прибора по всем направлениям (от 0 до $\frac{\pi}{2}$), соответствующая поглощающему слою x .

Однако в связи с наличием резко выраженного широтного эффекта в стратосфере космическое излучение на границе атмосферы в экваториальных районах не будет изотропным. В связи с этим применение формулы

Гросса должно быть поставлено под сомнение, так как эта формула была выведена в предположении, что излучение на границе атмосферы изотропно.

Возможная ошибка при пересчете полученных данных (вблизи магнитного экватора) по формуле Гросса может быть определена следующим образом.

Интенсивность космических лучей, достигающих прибора под углами с вертикалью от 0 до ϑ (I_ϑ), определяется по формуле

$$I_\vartheta(x) = 2\pi i_0 \int_0^\vartheta \psi\left(\frac{x}{\cos \vartheta}\right) \sin \vartheta d\vartheta. \quad (1)$$

Произведя дифференцирование уравнения (1), легко показать, что если известна зависимость от высоты интенсивности космического излучения, достигающего прибора под углами от 0 до ϑ , то $\psi(x)$ может быть найдена из равенства

$$2\pi i_0 \left(\psi(x) - \psi\left(\frac{x}{\cos \vartheta}\right) \right) = I_\vartheta(x) - x \frac{dI_\vartheta}{dx}. \quad (2)$$

Если пренебречь различием I_ϑ от $I_{\frac{\pi}{2}}$ и вычислить приближенное значение $\psi_{\text{приб}}(x)$ по формуле Гросса, подставив I_ϑ вместо $I_{\frac{\pi}{2}}$, то это значение будет отличаться от истинного значения, однако сделанную при этом ошибку можно оценить из равенства

$$\psi_{\text{приб}} = \psi(x) - \psi\left(\frac{x}{\cos \vartheta}\right) \cos \vartheta.$$

Аналогичным образом, если известна зависимость от высоты интенсивности космического излучения, достигающего прибора под углами от ϑ до $\frac{\pi}{2}$ ($I_1 = I_{\frac{\pi}{2}} - I_\vartheta$), то $\psi(x)$ определяется из равенства

$$2\pi i_0 \psi\left(\frac{x}{\cos \vartheta}\right) \cos \vartheta = I_1(x) - x \frac{dI_1}{dx}.$$

Зная зависимость от высоты интенсивности космического излучения, которое состоит из различных компонент, из которых одна достигает прибора по всем направлениям, другая внутри конуса от 0 до ϑ_1 и т. д., можно составить аналогичные равенства.

Определяя на основании широтного эффекта угловое распределение космических лучей на границе атмосферы, можно разбить всю космическую радиацию на ряд таких компонент.

Действие магнитного поля Земли сводится к тому, что положительно заряженные космические частицы (для вычисления максимальной ошибки предполагается, что все частицы обладают одноименным зарядом) достигают прибора лишь внутри конуса с осью, направленной на запад. В виду того, что для определения ошибки при пересчете по формуле Гросса распределение частиц по азимуту несущественно, можно свести задачу к рассмотренной выше, определив угловое распределение первичных частиц, падающих на границу атмосферы, на основании вида спектра первичных частиц.

Расчеты, произведенные указанным выше образом, показали, что ошибки, допускаемые при вычислении интенсивности вертикального пучка по формуле Гросса, невелики. До высоты 16 км эта ошибка не должна составлять более 6%. Для больших высот ошибка немного возрастает, и превышение вычисленных значений над истинными может составлять 20% на высотах более 20 км. Эти отклонения обуславливаются главным

образом наличием в составе космической радиации в экваториальных районах частиц с энергией меньше $18 \cdot 10^9$ V.

Произведенные выше расчеты показывают, что с указанной погрешностью можно определить интенсивность вертикального пучка при помощи формулы Гросса. Полученная путем такого пересчета зависимость интенсивности вертикального пучка космических лучей от высоты для широты 5° представлена на фиг. 1 (кривая *a*).

Для сравнения поглощения космических частиц с выводами каскадной теории Сербера (²) на фиг. 2 (крестиками) представлены данные, дающие разность между кривыми поглощения для вертикального пучка космических лучей на широте 50° (по данным Пфотцера) и на широте 5° .

Для сравнения изображена кривая, вычисленная на основании теории Сербера для космических частиц, спектр которых известен по данным, изложенным в предыдущей статье. Для больших высот имеется удовлетворительное согласие. На малых высотах имеется расхождение, которое должно быть связано с наличием мезатронов и электронов, образованных в результате распада мезатронов.

Наличие резко выраженного эффекта широты в стратосфере показывает, что значительная доля энергии, приносимой космическими лучами, приходится на электроны или позитроны.

В связи с тем, что благодаря действию магнитного поля Земли интенсивность космического излучения на экваторе в 4 раза меньше, чем на больших широтах, можно считать, что по крайней мере 75 % всей энергии космического излучения приходится на долю корпускулярных лучей.

Однако из формы кривой поглощения в экваториальных районах можно заключить, что лишь ничтожная часть всей энергии космической радиации может приходиться к нам в виде γ -лучей, созданных космическими электронами до вхождения их в магнитное поле Земли.

Средняя энергия γ -лучей, созданных первичными электронами, должна быть значительно меньше, чем энергия электронов, допускаемых магнитным полем Земли вблизи экватора. Поэтому эти лучи должны сильно поглощаться при прохождении через атмосферу.

Поглощение γ -лучей (и лучей, создаваемых этими γ -лучами в атмосфере), созданных первичными электронами, имеющими известный нам спектр при прохождении через слой вещества, эквивалентный 1.5 см воды, показано на фиг. 1 (кривая *b*). Расчеты произведены на основании теории Сербера.

Разность между кривыми *a* и *b* (фиг. 1) дает кривую поглощения для электронов. Из фиг. 1 видно, что не представляется возможным допустить наличие большого количества γ -лучей, так как тогда имело бы место очень сильное возрастание кривой для электронов от $p=50$ мм Hg до 140 мм Hg, что находилось бы в противоречии с выводами каскадной теории. Как показывают кривые Сербера, для частиц, обладающих не очень большой энергией при малых толщинах поглощающего слоя, имеет место линейное возрастание.

Таким образом можно заключить, что космические лучи до вхождения в магнитное поле Земли не могут проходить слой вещества, больший 1.5 г, и что менее 3% всей энергии космического излучения может падать на Землю в виде вторичного γ -излучения.

В заключение выражаю свою благодарность проф. Д. В. Скобельцыну за ценные советы и указания.

Поступило
4 III 1939.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G r o s s, ZS. f. Phys., **83**, 214 (1933); Phys. ZS., **35**, 746 (1935). ² S e r b e r, Phys. Rev., **54**, 317 (1938).