

## ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

### КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Космическими лучами принято называть совокупность потоков атомных ядер высокой энергии, в основном протонов, падающих на Землю из мирового пространства, и образуемое ими в земной атмосфере вторичное излучение, в котором встречаются все известные в настоящее время элементарные частицы.

#### § 54. ОТКРЫТИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Исследования космических лучей начались в первые годы нашего столетия в связи с изучением причины непрерывной утечки заряда электроскопов. Герметически закрытый электроскоп разряжался даже при самой совершенной изоляции.

В 1910—1925 гг. различными опытами на воздушных шарах и под землей было показано, что причиной этого является некоторое сильно проникающее излучение, которое зарождается где-то вне Земли и интенсивность которого падает по мере проникновения его в атмосферу. Оно и вызывает ионизацию воздуха в ионизационной камере и связанную с этим разрядку электроскопов. Милликен назвал этот поток излучения космическими лучами.

В дальнейших опытах было установлено изменение интенсивности космического излучения (плотности потока частиц) в зависимости от высоты наблюдения (рис. 105).

Интенсивность космических лучей сравнительно быстро растет примерно до высоты 10 км над уровнем моря, затем темп роста

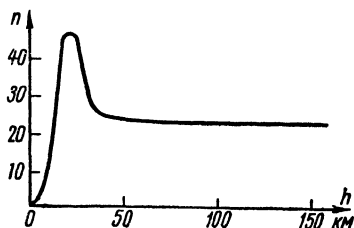


Рис. 105. Зависимость числа космических частиц от высоты ( $n$  в относительных единицах)

замедляется и на высоте 22 км интенсивность достигает максимального значения. При подъеме на большие высоты наблюдается ее уменьшение, а начиная с высоты  $\sim 60$  км интенсивность космических лучей остается постоянной. В результате многочисленных экспериментов установлено, что космические лучи приходят на поверхность Земли со всех сторон равномерно и во Вселенной нет места, которое можно было бы назвать источником космических лучей.

При исследовании космических лучей было сделано много принципиально важных открытий. Так, в 1932 г. Андерсоном был открыт в космических лучах позитрон, предсказанный теорией Дирака. В 1937 г. Андерсоном и Нидермайером были открыты  $\mu$ -мезоны и указан тип их распада. В 1947 г. Пауэллом были открыты  $\pi$ -мезоны, которые согласно теории Юкава были необходимы для объяснения ядерных сил. В 1955 г. было установлено наличие в космических лучах  $K$ -мезонов, а также тяжелых нейтральных частиц с массой, превышающей массу протона — гиперонов. Исследования космических лучей привели к необходимости введения квантовой характеристики, названной странностью. Опыты с космическими лучами также поставили вопрос о возможности несохранения четности. В космических лучах впервые были обнаружены процессы множественной генерации частиц в одном акте столкновения.

Исследования последних лет позволили определить величину эффективного сечения взаимодействия нуклонов высокой энергии с ядрами. Так как в составе космических лучей имеются частицы с энергией, достигающей  $10^{18}$ — $10^{19}$  эв, то космические лучи являются единственным источником информации о взаимодействии частиц столь высокой энергии.

Использование при изучении космических лучей ракет и искусственных спутников привело к новым открытиям — обнаружению радиационных поясов Земли. Возможность исследовать первичное космическое излучение за пределами земной атмосферы и создало новые методы изучения галактического и межгалактического пространства. Таким образом, исследования космических лучей, перейдя из области геофизики в область ядерной физики и физики элементарных частиц, сейчас теснейшим образом объединяют изучение строения микромира с проблемами астрофизики.

В связи с созданием ускорителей на энергии в десятки Гэв центр тяжести ядерного направления в физике космических лучей переместился в область сверхвысоких энергий, где продолжают исследоваться ядерных взаимодействий, структуры нуклонов и других элементарных частиц. Кроме этого возникло самостоятельное направление — изучение космических лучей в геофизическом и астрофизическом аспектах. Предметом исследований здесь являются: первичные космические лучи у Земли (химический состав, энергетический спектр, пространственное распределение); солнечные лучи (их генерация, движение к Земле и влияние на земную

ионосферу); влияние на космические лучи межпланетной и межзвездной среды и магнитных полей; радиационные пояса вблизи Земли и других планет; происхождение космических лучей. Важнейшим средством изучения этих проблем является детальное исследование наблюдаемых на Земле и вблизи от нее разнообразных вариаций в потоке космических лучей.

## § 55. ПЕРВИЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ У ЗЕМЛИ

Согласно экспериментальным данным средняя энергия первичных космических частиц имеет порядок  $10^{10}$  эв, энергия же отдельных очень редких частиц достигает  $10^{19}$  эв и, возможно, даже больше. Поток первичных космических лучей на границе асмосферы на высоких широтах равен  $(0,7 \div 1)$  частиц/см<sup>2</sup>·сек. Общий поток энергии, приносимый космическими лучами на Землю, ничтожно мал в сравнении с энергией, получаемой Землей от Солнца и сравним с энергией видимого света звезд ( $1,5 \cdot 10^6$  кВт).

**Геомагнитные явления.** В выяснении природы первичного космического излучения чрезвычайно важную роль сыграли так называемые геомагнитные эффекты, т. е. зависимость интенсивности космических лучей и их энергетического спектра от геомагнитных координат точки наблюдения, а также зенитной и азимутальной ориентации регистрирующих приборов.

Магнитное поле Земли в первом приближении представляет поле магнитного диполя с магнитным моментом  $8,1 \cdot 10^{25}$  гаусс·см, наклоненного на угол  $11,5^\circ$  к земной оси и смещенного относительно нее и от центра Земли приблизительно на 300 км.

Заряженные частицы космических лучей при своем движении из мирового пространства вблизи Земли испытывают отклоняющее действие ее магнитного поля и это сказывается на распределении интенсивности космических лучей по земной поверхности.

Теория движения заряженных частиц в магнитном поле Земли первоначально разрабатывалась Штермером и в дальнейшем была развита Лемертом и Валлартой. Задача сводилась к вычислению траектории заряженных частиц с различными импульсами в поле магнитного диполя Земли при различных начальных условиях.

**Широтный эффект.** Заряженные частицы, идущие от внеземного источника, будут испытывать максимальное отклонение в магнитном поле Земли, когда они подходят к Земле в плоскости геомагнитного экватора.

Если импульсы этих частиц меньше некоторой величины, отклонение будет настолько сильным, что они вообще не попадут на поверхность Земли. По мере продвижения к полюсам Земли угол между траекторией частиц, движущихся в вертикальной плоскости, и магнитными силовыми линиями Земли уменьшается (рис. 106) и отклоняющее действие магнитного поля будет ослабе-