

планетном пространстве на орбите Земли соответствует периоду вращения Солнца и обусловлена асимметрией потока магн. неоднородностей в солнечном ветре. Солнечно-суточная вариация с амплитудой $\leq 2\%$ связана с суточным вращением Земли и обусловлена различием свойств солнечного ветра в направлении на Солнце и в антисолнечном направлении. Эффект Форбуша представляет собой кратковрем. понижение интенсивности КЛ (на $\sim 50\%$ в межпланетном пространстве и до 25—30% на поверхности Земли), обычно связанное с геомагн. бурей. Этот эффект вызывается рассеянием ГКЛ магн. полями, переносимыми солнечными корпускулярными потоками после вспышек на Солнце, когда поля оказываются у Земли и как бы «закрывают» её от КЛ.

Исследования вариаций ГКЛ и СКЛ позволили оценить напряжённость квазирегулярного межпланетного магн. поля (ср. значение на орбите Земли $\sim 10^{-5}$ Гс). Неоднородности межпланетного магн. поля имеют характерные размеры $\sim 10^{10}-10^{11}$ см (для сравнения — диаметр Земли равен $1,28 \cdot 10^9$ см). Вариации КЛ дают уникальную возможность исследовать свойства солнечного ветра перпендикулярно плоскости эклиптики на больших расстояниях от Солнца. Исследования вариаций КЛ помогают в изучении свойств земной магнитосферы (определение параметров кольцевого тока, возникающего при развитии геомагн. бури), ионосферы (образование ионизованного слоя за счёт ГКЛ и усиленная ионизация в полярной ионосфере во время вспышек СКЛ).

Попадая в магн. поле Земли, ГКЛ отклоняются от первонач. направления вследствие действия на них Лоренца силы. На заданную широту вблизи Земли с данного направления приходят частицы только с энергией, превышающей нек-рое пороговое значение. Этот эффект наз. **г е о м а г н. о б р е з а н и е м**. Отклоняющее действие магн. поля проявляется тем сильнее, чем меньше геомагн. широта места наблюдения. Так, напр., с вертикального направления на экватор попадают протоны только с энергией $\mathcal{E}_k \geq 1,5 \cdot 10^{10}$ эВ, на геомагн. широту 51° — с энергией $\mathcal{E}_k \geq 2,5 \cdot 10^9$ эВ. Поскольку ГКЛ имеют падающий спектр, их интенсивность на экваторе меньше, чем на высоких широтах, — т. н. **ш и р о т н ы й э ф ф е к т** КЛ.

Взаимодействие КЛ с атмосферой Земли. Попадая в атмосферу Земли, высокоэнергичные первичные КЛ (протоны и др. ядра) испытывают столкновения с ядрами атомов воздуха (в основном азота и кислорода). В результате взаимодействия происходит расщепление ядер и рождение нестабильных элементарных частиц (т. н. **множественные процессы**). Ср. пробег до ядерного взаимодействия в атмосфере для протонов ≈ 80 г/см², что составляет $1/13$ часть всей толщи атмосферы, следовательно, протон успеет неск. раз вступить во взаимодействие с ядрами атомов воздуха. Поэтому вероятность дойти до уровня моря у первичных КЛ крайне мала. На больших глубинах в атмосфере регистрируется вторичное излучение, разделяемое в соответствии с природой и свойствами на ядерно-активную, мюонную и электронно-фотонную компоненты (рис. 2).

В элементарном акте взаимодействия первичной частицы КЛ с ядрами атомов воздуха рождаются почти все известные элементарные частицы, среди к-рых гл. роль играют π -мезоны, как заряженные, так и нейтральные. Нуклоны и не успевшие распасться π^\pm -мезоны образуют ядерно-активную компоненту вторичного излучения. Взаимодействуя с ядрами атомов воздуха, они, подобно первичной частице КЛ, рождают новые каскады частиц до тех пор, пока их энергия не снизится до $\mathcal{E}_k \sim 10^9$ эВ. На уровне моря остаётся менее 1% ядерно-активных частиц.

Мюонная и нейтринная компоненты образуются при распаде заряженных π^\pm -мезонов [$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu (\bar{\nu}_\mu)$].

Высокоэнергичные мюоны взаимодействуют с веществом, поэтому они доходят до уровня моря и проникают глубоко под землю. Нейтроны и мюоны вторичного излучения постоянно регистрируются сетью наземных станций. На основе этих измерений исследуются вариации интенсивности первичных КЛ.

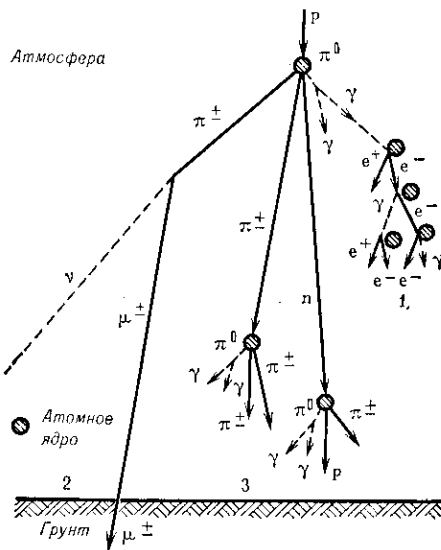


Рис. 2. Схема взаимодействия космических лучей с атмосферой Земли: 1 — электронно-фотонная, 2 — мюонная, 3 — нуклонная компоненты.

Возникновение электронно-фотонной компоненты связано с распадом π^0 -мезонов: $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$. В кулоновском поле ядер каждый γ -фотон рождает электрон-позитронную пару ($\gamma \rightarrow e^+ + e^-$). За счёт тормозного излучения этой пары вновь возникают γ -фотоны, к-рые рождают, в свою очередь, электрон-позитронные пары. Повторение этого процесса приводит к лавинообразному размножению числа частиц до тех пор, пока при нек-рой $\mathcal{E}_{крит}$ преобладающими не станут конкурирующие процессы потери энергии γ -фотонами и электронами (позитронами). После этого происходит затухание каскада. Число частиц в максимуме каскада пропорц. энергии первичной частицы. Каскады, образующиеся при КЛ с $\mathcal{E}_k > 10^{14}$ эВ, содержат 10^6-10^9 частиц; они наз. **широкими атмосферными ливнями** (ШАЛ). С помощью ШАЛ проводится исследование КЛ в области сверхвысоких энергий.

Происхождение КЛ. Для ГКЛ, наблюдаемых у Земли, характерна высокая степень изотропии: с точностью до 0,1% интенсивность частиц с $\mathcal{E}_k \geq 10^{11}-10^{15}$ эВ

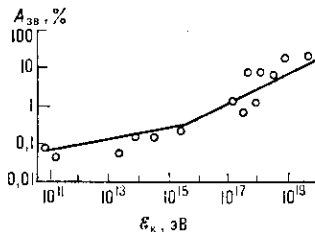


Рис. 3. Амплитуда анизотропии космических лучей в зависимости от энергии в интервале $\mathcal{E}_k = 10^{11}-10^{20}$ эВ.

по всем направлениям одинакова. При более высоких энергиях амплитуда анизотропии постепенно растёт (рис. 3) и в интервале $\mathcal{E}_k = 10^{19}-10^{20}$ эВ достигает неск. десятков %. Анизотропия 0,1% с максимумом вблизи 19^h звёздного времени примерно совпадает с направлением магн. поля галактич. спирали, в к-рой находится Солнце; вероятно, она связана с вытеканием