

километровое излучение Земли, магнитосферы планет от Меркурия до Сатурна и т. д.

Совр. космич. техника позволяет проводить т. н. активные эксперименты в космосе — активно воздействовать на К. п., в первую очередь околоземную, радиоизлучениями, пучками заряж. частиц, плазменными стружками и т. п. Эти методы используются для диагностики, моделирования естеств. процессов в реальных условиях, инициирования естеств. явлений (напр., полярных сияний).

Типы К. п. в космологии. По совр. представлениям, Вселенная возникла во время т. н. большого взрыва (big-bang). В период разлёта вещества (расширяющаяся Вселенная), помимо гравитации, определяющей разлёт, три остальных типа взаимодействия (сильное, слабое и эл.-магнитное) вносят свой вклад в плазменные явления на разных стадиях разлёта. При чрезвычайно высоких темп-рах, характерных для ранних стадий разлёта, такие частицы, как, напр., W^\pm - и Z^0 -бозоны, ответственные за слабые взаимодействия, были безмассовыми, как и фотоны (симметрия эл.-магн. и слабых взаимодействий). Это означает, что слабое взаимодействие являлось дальнедействующим, в к-ром аналогом самосогласованному эл.-магн. полю было самосогласованное Янга — Миллса поле. Т. о., вся лептонная компонента вещества находилась в состоянии плазмы. Учитывая имеющуюся в стандартной модели связь времени разлёта t и темп-ры термодинамически равновесного вещества T : $t \approx 1/T^2$ (темп-ра в МэВ), можно оценить время, в течение к-рого существовала такая лептонная плазма. При темп-рах $T \approx 100$ ГэВ (соответствующее время $t \approx 10^{-10}$ с), происходит фазовый переход со спонтанным нарушением симметрии слабых и эл.-магн. взаимодействий, приводящий к появлению масс у W^\pm - и Z^0 -бозонов, после чего лишь заряженные лептоны взаимодействуют с помощью только одних дальнедействующих сил — электромагнитных.

Адронная (сильно взаимодействующая) компонента вещества при столь высоких темп-рах также находится в своеобразном плазменном состоянии, наз. кварк-глюонной плазмой. Здесь взаимодействие между кварками осуществляется также безмассовыми глюонными полями. При плотностях горячей кварк-глюонной плазмы ($n \sim T^3$) со ср. расстоянием между элементарными частицами $< 10^{-13}$ см — радиус нуклона (при этом $T \gg 100$ МэВ) кварк-глюонная плазма является идеальной и может быть бесстолкновительной. При дальнейшем остывании Вселенной, когда за время $t \approx 10^{-4}$ с темп-ра падает до $T \approx 100$ МэВ (энергии покоя л-мезонов), происходит новый фазовый переход: кварк-глюонная плазма — адронное вещество (характеризующееся короткодействием с радиусом взаимодействия $\sim 10^{-13}$ см). Это вещество состоит из стабильных нуклонов и быстро распадающихся адронов. Общее состояние К. п. в последующий затем период определяется заряд. лептонной (в основном электронно-позитронной) компонентой, т. к. во Вселенной сохраняется отношение полного барионного заряда к лептонному и само это отношение весьма мало ($\approx 10^{-9}$). В итоге при малых временах ($t \ll 1$ с) К. п. является ультрарелятивистской и в основном электронно-позитронной. В момент времени $t \sim 1$ с темп-ра электронно-позитронной плазмы падает до 1 МэВ и ниже, при этом начинается интенсивная аннигиляция электронно-позитронных пар, после чего К. п. медленно приближалась к совр. состоянию, мало меняясь по составу элементарных частиц.

Лит.: Пикельнер С. Б., Основы космической электродинамики, 2 изд., М., 1966; Акасофу С. И., Чепмен С., Солнечно-земная физика, пер. с англ., ч. 1—2, М., 1974—75; Арцимович Л. А., Сагдеев Р. З., Физика плазмы для физиков, М., 1979.

В. Н. Ораевский, Р. З. Сагдеев.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ (КЛ) — поток заряж. частиц высокой энергии, преим. протонов, приходящих к Земле приблизительно изотропно со всех направлений космич. пространства. Внутрь Солнечной системы КЛ попадают в основном из межзвёздного пространства от источников, расположенных в пределах нашей Галактики, — галактические КЛ (ГКЛ); самые энергичные частицы имеют, по-видимому, внегалактич. происхождение — метagalактические КЛ; нек-рая доля КЛ приходит от Солнца после мощных солнечных вспышек — солнечные КЛ (СКЛ). Названные КЛ являются первичными. При вхождении в атмосферу Земли, сталкиваясь с ядрами атомов воздуха, они образуют большое количество вторичных частиц (протонов, электронов, мезонов, фотонов и др.) — вторичные КЛ, к-рые затем регистрируются приборами на Земле.

Общая характеристика КЛ. Существование КЛ было установлено в 1912 В. Гессом (V. Hess) по производимой ими ионизации воздуха; возрастание ионизации с высотой доказывало их внеземное происхождение; отклонение КЛ в магн. поле [Р. Милликен (R. A. Millikan), 1923; Д. В. Скобельцын, 1927; С. Н. Вернов, 1935] показало, что первичные КЛ представляют собой поток заряж. частиц.

КЛ напоминают сильно разреженный газ, частицы к-рого практически не сталкиваются друг с другом, но взаимодействуют с веществом и эл.-магн. полями межзвёздного и межпланетного пространства. Ядра атомов разл. элементов, входящие в состав КЛ, полностью лишены электронов и обладают огромными кинетич. энергиями (вплоть до $\epsilon_k \sim 10^{20}$ эВ). Хотя суммарный поток первичных КЛ на границе с атмосферой Земли невелик (~ 1 частица/см²·с), ср. плотность их энергии (~ 1 эВ/см³) сравнима со ср. плотностью лучистой энергии звёзд в межзвёздной среде, энергии теплового движения межзвёздного газа и кинетич. энергии его турбулентных движений, а также со ср. плотностью энергии магн. поля Галактики.

Важная особенность КЛ — нетепловое происхождение их энергии. Действительно, при темп-ре 10^8 К, характерной, по-видимому, для звёздных недр, энергии теплового движения частиц не превышает 10^8 эВ. Осн. же масса частиц КЛ, наблюдаемых у Земли, имеет энергии от 10^8 эВ и выше. Это означает, что КЛ приобретают энергию в специфич. астрофизич. процессах эл.-магн. и плазменной природы.

Изучение КЛ даёт ценные сведения об эл.-магн. условиях в разл. областях космич. пространства. Круг вопросов, связанных с изучением происхождения КЛ, их состава, спектра, временных вариаций, их роли в астрофиз. явлениях, составляет космофизический аспект КЛ.

С др. стороны, КЛ незаменимы в качестве естеств. источника частиц высокой энергии при изучении элементарной структуры вещества и взаимодействий между элементарными частицами. Исследования такого рода относятся к ядерно-физическому аспекту КЛ. Именно детальное изучение зарядов и масс вторичных КЛ привело к открытию позитронов (1932), мюонов (1937), л- и К-мезонов (1947), а также Λ^0 , Σ^\pm -гиперонов. Исследования КЛ в ядерно-физ. аспекте продолжаются в основном с целью определения характеристик элементарного акта ядерного взаимодействия при энергиях $\epsilon_k > 10^{15}$ эВ; кроме того, они дают информацию об интенсивности, спектре и анизотропии частиц при $\epsilon_k \approx 10^{15} - 10^{20}$ эВ, что очень важно для поиска источников КЛ и механизмов их ускорения. КЛ ещё долго будут оставаться уникальным источником совр. ускорителей макс. достигнутая энергия пока не превышает 10^{14} эВ.

Методы наблюдения КЛ. Из-за огромного энергетич. диапазона КЛ ($10^6 - 10^{20}$ эВ) методы их регистрации