

КЛ из Галактики. Направление макс. интенсивности ГКЛ с энергией $\varepsilon_k > 10^{17}$ эВ соответствует появлению дрейфового потока поперёк силовых линий галактич. магн. поля. Возможно, для этих энергий источники КЛ в нашей Галактике уже не эффективны и к Земле приходят КЛ из др. галактик.

Из-за высокой изотропии ГКЛ наблюдения у Земли не позволяют однозначно установить, где они рождаются и как распределены во Вселенной. Ответить на эти вопросы смогла радиоастрономия в связи с открытием космич. синхротронного излучения в диапазоне радиочастот $f \approx 10^7 - 10^9$ Гц. В галактич. магн. полях релятивистские электроны движутся подобно др. заряж. частицам высокой энергии (протонам и более тяжёлым ядрам), но в отличие от них, благодаря малой массе, интенсивно излучают радиоволны и тем самым обнаруживают себя в удалённых частях Галактики, являясь индикаторами КЛ вообще. Релятивистские электроны занимают протяжённую область, охватывающую всю Галактику и наз. галактическим гало.

Кроме общего галактич. радиоизлучения были обнаружены дискретные его источники: оболочки *сверхновых звёзд*, *пульсары*, ядро Галактики, *квизары*. Естественно ожидать, что все эти объекты являются источниками КЛ. Магн. поля указанных объектов отличаются большой напряжённостью, поэтому электроны в таких полях могут генерировать также рентг. излучение синхротронной природы, к-рое даёт дополнит. информацию об источниках КЛ.

Важным индикатором источников КЛ является космич. гамма-излучение, возникающее за счёт распада нейтральных пионов, образующихся при столкновениях КЛ с частицами межзвёздного газа. Гамма-лучи не подвержены воздействию магн. полей, поэтому направление их прихода непосредственно указывает на источник КЛ. В отличие от наблюдаемого внутри Солнечной системы почти изотропного распределения КЛ, распределение гамма-излучения по небу оказалось весьма неравномерным и подобным распределению сверхновых звёзд по галактич. долготе. Этот факт свидетельствует в пользу гипотезы о том, что сверхновые являются источником КЛ. В пользу сверхновых как осн. источника КЛ говорят также оценки их энерговыделения при вспышках. Полная мощность всех источников КЛ в Галактике составляет $\approx 5 \times 10^{40}$ эрг·с⁻¹. Энерговыделение при вспышке одной сверхновой обычно считается $10^{49} - 10^{51}$ эрг. Сверхновые в Галактике вспыхивают в среднем каждые 10—30 лет, так что ср. мощность их энерговыделения составляет $10^{40} - 3 \cdot 10^{42}$ эрг·с⁻¹. Т. о., сверхновые являются наиб. вероятными источниками ГКЛ. Но не следует исключать нек-рого вклада др. галактич. источников КЛ, в частности пульсаров, где возможно ускорение до весьма высоких энергий, и галактич. ядра, где идут взрывные процессы, аналогичные взрывам сверхновых. КЛ с $\varepsilon_k > 10^{17}$ эВ, скорее всего, ускоряются во внегалактич. источниках.

Механизмы ускорения. Вопрос об ускорении частиц до высоких энергий (превращении энергии магн. поля и движений плазмы в энергию быстрых частиц) в деталях ещё далёк от окончат. решения. Однако в общих чертах принципиальная сторона процесса ускорения ясна. Чтобы свершился элементарный акт приращения энергии заряж. частицы, необходим источник энергии в виде электрич. поля. В космич. плазме не могут существовать сколько-нибудь значит. электростатич. поля, к-рые бы ускоряли заряж. частицы за счёт разности потенциалов между точками поля. Но в плазме могут возникать электрич. поля импульсного или индукционного характера. Импульсные электрич. поля появляются, напр., при разрыве *нейтрального токового слоя*, возникающего в области пересоединения магн. полей противоположной полярности. Индукционное электрич. поле появляется при увеличении напряжённости магн. поля со временем.

Нач. стадия ускорения может быть также обусловлена взаимодействием частиц с электрич. полями плазменных волн в областях с интенсивным турбулентным движением плазмы (см. *Взаимодействие частиц с волнами*). В отличие от регулярного ускорения в полях импульсного или индукционного типа, ускорение плазменными волнами имеет статистич. характер. К числу статистич. относится также модель Ферми, в к-рой ускорение происходит при столкновениях частиц с движущимися магн. неоднородностями («облаками»). Аналогична природа ускорения частиц при их взаимодействии с сильными ударными волнами, в частности при сближении двух ударных волн, образующих отражающие магн. «стенки» для ускоряемых частиц.

В межзвёздной среде статистич. ускорение, по-видимому, неэффективно, за исключением, возможно, частиц сравнительно малых энергий ($\varepsilon_k \leq 1 - 3$ ГэВ). В оболочках сверхновых наблюдаются интенсивные турбулентные движения, поэтому эффективность статистич. ускорения должна повышаться.

Общим свойством всех ускорит. механизмов является падающий характер формируемого ими спектра КЛ. Но на этом сходство кончается. Несмотря на интенсивные теоретич. и эксперим. исследования, пока не найдён универсальный механизм ускорения или комбинации механизмов, к-рые могли бы объяснить все особенности спектра и зарядового состава КЛ. По-видимому, в космосе существует нек-рая иерархия ускорит. механизмов, к-рые работают в разл. комбинациях или в разл. последовательности в зависимости от конкретных условий в области ускорения. (Подробнее о механизмах ускорения см. в ст. *Ускорение заряженных частиц*.)

Наряду с огромной ролью КЛ в астрофизич. процессах, необходимо отметить их значение для изучения далёкого прошлого Земли (истории климата, эволюции биосферы и т. д.) и для решения нек-рых практич. задач современности (обесечение радиац. безопасности космич. полётов, оценка возможного вклада КЛ в метеозффекты и т. п.). Осн. вклад в общий радиац. фон у орбиты Земли вносят солнечные КЛ.

Лит.: Гинзбург В. Л., Сыроватский С. И., Происхождение космических лучей, М., 1963; Миросниченко Л. И., Космические лучи в межпланетном пространстве, М., 1973; Дорман Л. И., Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей, М., 1975; Мурзин В. С., Введение в физику космических лучей, М., 1978; Топтыгин И. Н., Космические лучи в межпланетных магнитных полях, М., 1983; Миросниченко Л. И., Петров В. М., Динамика радиационных условий в космосе, М., 1985.

Л. И. Миросниченко.

КОСМИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ. В астрономии и динамике космического полёта употребляются понятия трёх К. с.

Первой К. с. (круговой скоростью) наз. наименьшая нач. скорость, к-рую нужно сообщить телу, чтобы оно стало ИСЗ. Она равна скорости кругового движения на данной высоте над Землёй, т. е. $V_1 = \sqrt{\mu/r}$, где μ — произведение постоянной тяготения на массу Земли (массой ИСЗ можно пренебречь), r — геоцентрич. расстояние ИСЗ. На поверхности Земли $V_1 \approx 7,9$ км/с.

Второй К. с. (параболич. скоростью) наз. наименьшая нач. скорость, к-рую нужно сообщить телу, чтобы оно, начав движение вблизи поверхности Земли, преодолело земное притяжение. Она, очевидно, совпадает со скоростью параболич. движения на данном геоцентрич. расстоянии, т. е. $V_2 = \sqrt{2\mu/r} = \sqrt{2} V_1$. У поверхности Земли она составляет ок. 11,2 км/с.

Понятия круговой и параболич. скоростей применяются и для др. планет (тогда μ — произведение постоянной тяготения на массу планеты), а также обобщаются на случай относит. движения двух космич. тел, взаимодействующих по закону всемирного тяго-