

В линейных фокусирующих каналах действие возмущений поля не приводит к резонансным явлениям, но может вызывать значит. рост эмиттанса и потери частиц. Для подавления этих явлений в таких каналах также применяются линейные и нелинейные корректирующие элементы.

**Коллективные эффекты.** В ускорителях и накопителях, работающих при больших интенсивностях, значит. влияние на устойчивость поперечного движения оказывают коллективные эффекты, связанные с собств. эл.-магн. полем пучка:

В кольцевых ускорителях и накопителях силы, связанные с собств. полем пучка, приводят к «кулоновским сдвигам» бетатронных частот, пропорциональным интенсивности циркулирующего пучка. В однопучковых системах силы кулоновского расталкивания частично компенсируются силами эл.-динамич. стягивания, поэтому значения кулоновских сдвигов пропорциональны  $\gamma^{-2}$ , где  $\gamma$  — релятивистский фактор. Т. о., эффекты, связанные с кулоновским сдвигом, играют существенную роль или в адронных ускорителях с нерелятивистской энергией, или в коллайдерах, в к-рых такая компенсация отсутствует. Допустимые значения кулоновских сдвигов определяются расстоянием до опасных резонансов бетатронных колебаний. Они, как правило, невелики [для адронных ускорителей  $\Delta v \sim 0,3$ , для коллайдеров  $\Delta v \sim (0,01—0,05)$ ]. Ввиду малости этих сдвигов ( $\Delta v/v \ll 1$ ) их зависимость от интенсивности может быть вычислена с помощью теории возмущений.

Важным видом коллективных эффектов являются также когерентные неустойчивости, т. е. нарастающие во времени периодич. осцилляции ф-ции распределения частиц в фазовом пространстве или её моментов. Для подавления этих неустойчивостей применяются спец. меры, включающие оптимизацию окружающих структур (с целью уменьшения наведённых пучком полей), демпфирование колебаний с помощью систем обратной связи, увеличение разброса пучка по частотам для стабилизации неустойчивостей (т. н. затуханием Ландау) и т. д.

В совр. линейных ускорителях и каналах транспортировки собств. поперечные силы соизмеримы с внешними. В этом случае анализ устойчивости поперечного движения, строго говоря, требует решения самосогласованной системы *Власова уравнений*. Система ур-ний Власова может быть исследована или с помощью численных методов, или с помощью упрощённых моделей, наиб. распространённой из к-рых являются самосогласованные ур-ния для огибающей интенсивного пучка (уравнения Капчинско-го — Владимирского).

**Коллективные методы фокусировки.** Описанные выше приёмы, основанные на поисках самосогласованного решения системы ур-ний Власова, применяются и для анализа коллективных методов Ф. частиц. Наиб. интересной из таких устойчивых систем (хотя и не использованной до сих пор ни в одной из действующих ускорит. установок) является самостабилизированный пучок Беннетта — Будкера. Этот пучок включает релятивистские электроны, вращающиеся в однородном магн. поле, и неподвижные ионы. Ф. ионов обеспечивается совокупным электр. полем электронов и ионов, а Ф. электронов — совокупным электр. и магн. полем электронов и электр. полем ионов. Условие устойчивости линейных колебаний в пучке Беннетта — Будкера имеет вид

$$n_e > n_i > n_e / \gamma_e^2,$$

где  $n_e$  — плотность электронов,  $n_i$  — плотность ионов.

Общий недостаток коллективных методов Ф. — зависимость частот поперечных колебаний от интенсивности ускоряемого пучка, а также трудность обеспечения устойчивости когерентных колебаний.

*Лит.*: Courant E. D., Snyder H. S., Theory of the alternating-gradient synchrotron, «Ann. Phys.», 1958, v. 3, p. 1; Коломенский А. А., Лебедев А. Н., Теория циклических ускорителей, М., 1962; Ливингуд Дж., Принципы работы циклических ускорителей, пер. с англ., 1963; Капчинский И. М., Динамика частиц в линейных резонансных ускорителях, М., 1966; Брук Г., Цикли-

ческие ускорители заряженных частиц, пер. с франц., М., 1970; Саранцев В. П., Перельштейн Э. А., Коллективное ускорение ионов электронными кольцами, М., 1979; Лебедев А. Н., Шальнов А. В., Основы физики и техники ускорителей, 2 изд., М., 1991.  
Л. Л. Гольдин, П. Р. Зенкевич.

**ФÓКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ** оптической системы — расстояние от её гл. фокуса до ближайшей к нему гл. точки (см. *Кардинальные точки оптической системы*).

**ФОН** (от греч. *phónē* — звук) — внесистемная единица измерения уровня громкости звука; равна уровню громкости звука, для к-рого уровень звукового давления равногромкого с ним звука чистого тона с частотой 1000 Гц равен 1 децибелу относительно давления  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

**ФÓНОВОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ** — эл.-магн. излучение Вселенной, не искажённое ближайшими источниками (атмосферой Земли, излучением Галактики и т. п.). Именно Ф. к. и. должны были бы воспринимать приборы с широким полем зрения, вынесенные в пространство между галактиками. К сожалению, такой эксперимент невозможен. Астрономы изучают Ф. к. и., используя наземные и внеатмосферные приборы. В связи с этим отделение фонового компонента от диффузного (рассеянного) излучения локальной и галактич. природы является трудной задачей.

Часто фоном наз. все помехи, затрудняющие выделение сигнала от дискретного объекта: собств. шумы прибора, отчёты рентг. счётчиков, вызванные наличием космич. лучей, диффузное излучение, попадающее в поле зрения прибора (в частности, это может быть и Ф. к. и. при наблюдении источников с малыми угл. размерами), и т. п. Следует подчеркнуть отличие Ф. к. и. от понятия фона в таком смысле.

Исследование Ф. к. и. представляет самостоят. интерес, т. к. оно несёт информацию об излучении, заполняющем всю Вселенную, т. е. информацию о Вселенной в целом. Кроме того, Ф. к. и. может содержать излучение большого числа неразличимых в отдельности дискретных источников и измерение Ф. к. и. даёт нек-рые оценки их свойств.

Исторически первой проблемой, связанной с Ф. к. и., была проблема яркости ночного неба в видимом диапазоне. В связи с ней был сформулирован простейший космологич. тест, вошедший в историю науки под назв. «парадокс Ольберса», или *фотометрический парадокс*: в бесконечной однородной стационарной Вселенной на любом луче зрения мы должны видеть поверхность звезды, т. е. всё небо должно иметь яркость, сравнимую с яркостью диска Солнца. Очевидно, что такая модель Вселенной находится в противоречии с нашим повседневным опытом — яркость ночного неба в видимом диапазоне весьма низка. Парадокс Ольберса разрешён в совр. эволюционных моделях Вселенной. Галактики родились ок. 10 млрд. лет назад, плотность числа звёзд во Вселенной столь мала, что на космологич. горизонте ( $ct \sim 10^{28}$  см) доля неба, покрываемая звёздами, ничтожно мала. Кроме того, излучение звёзд на больших расстояниях из-за красного смещения сдвигается в ИК-диапазон и не даёт вклада в наблюдаемую яркость неба в видимом диапазоне.

Точное знание яркости ночного неба (а точнее, оптич. Ф. к. и., интенсивность к-рого, как минимум, ещё в сто раз меньше яркости ночного неба, гл. вклад в к-рую дают свечение атмосферы, зодиакальный свет и свет звёзд Галактики) накладывает жёсткие ограничения на конкретные модели эволюции галактик, на продолжительность яркой фазы их эволюции на стадии «молодой галактики» и т. д.

Астрономов интересуют не только значение яркости неба в том или ином диапазоне длин волн эл.-магн. спектра, но и угл. флуктуации интенсивности фонового излучения. В изотропно расширяющейся Вселенной фоновое излучение должно быть изотропным: его интенсивность не должна зависеть от направления. Изотропия истинного фона облегчает его отделение от локальных источников диффузного излучения. В то же время если осн. источником фона является излучение дискретных источников, то на очень малых угл. размерах, когда в поле зрения прибо-