

трубопроводам подаются реагенты. Закись азота добавляют, чтобы получить активный атомарный фтор, к-рый затем вступает в реакцию с дейтерием, образуя колебательно возбуждённые молекулы (см. также *Химический лазер*). Известны примеры реализации таких лазеров (преим. для военных целей) с дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями продуктов реакций.

*Лит.*: Соболев Н. Н., Сокоиков В. В., Оптические квантовые генераторы на CO<sub>2</sub>, «УФН», 1967, т. 91, в. 3, с. 425; Тычинский В. П., Мощные газовые лазеры, там же, с. 389; Карлов Н. В., Конев Ю. Б., Импульсные CO<sub>2</sub>-лазеры высокого давления, в кн.: Справочник по лазерам, пер. с англ., под ред. А. М. Прохорова, т. 1, М., 1978; Веденов А. А., Физика электроразрядных CO<sub>2</sub>-лазеров, М., 1982; Карлов Н. В., Лекции по квантовой электронике, 2 изд., М., 1988; Голубев В. С., Лебедев Ф. В., Физические основы технологических лазеров, М., 1987; Очкин В. Н., Волноводные газовые лазеры, М., 1988; Виттеман В. Дж., CO<sub>2</sub>-лазер, пер. с англ., М., 1990. *Ю. Б. Конев, В. Н. Очкин.*

**СР-ИНВАРИАНТНОСТЬ** — инвариантность физ. теории относительно *комбинированной инверсии*. После того как в 50-х гг. было обнаружено нарушение *P-чётности* в слабом взаимодействии, Л. Д. Ландау заметил, что в пределах достигнутой в то время эксперим. точности инвариантность относительно *СР-преобразования* сохраняется [1]. Однако в 1964 Дж. Кристенсен, Дж. Кронин, В. Л. Фитч, Р. Тёрли [2] обнаружили редкий распад долгоживущего нейтрального K<sub>L</sub><sup>0</sup>-мезона на два π-мезона (π<sup>0</sup>π<sup>0</sup> или π<sup>+</sup>π<sup>-</sup>), что означало нарушение *СР-и*. До настоящего времени нарушение *СР-и* наблюдалось только в распадах нейтральных *K-мезонов*. Наблюдавшееся до 1988 нарушение *СР-и* объясняется наличием малой мнимой части в амплитуде K<sup>0</sup> → K<sup>0</sup>-перехода:

$$|\eta_{00}| e^{i\phi_{00}} = \frac{A(K_L^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0)}{A(K_S^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0)},$$

$$|\eta_{+-}| e^{i\phi_{+-}} = \frac{A(K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)}{A(K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)},$$

где *A*(...) и φ — амплитуды и фазы соответствующих распадов. При этом несохранение *СР-чётности* целиком возникает за счёт смешивания состояний K<sub>1</sub><sup>0</sup> и K<sub>2</sub><sup>0</sup>, имеющих разную *СР-чётность*. Так, напр., распад K<sub>2</sub><sup>0</sup> → 2π происходит в два этапа: K<sub>2</sub><sup>0</sup> → K<sub>1</sub><sup>0</sup> → 2π, и только на первом этапе нарушается *СР-чётность*. Но в 1988 было обнаружено указание на возможное неравенство параметров η<sub>00</sub> и η<sub>+-</sub>, описывающих распады K<sub>L</sub><sup>0</sup> → 2π<sup>0</sup> и K<sub>L</sub><sup>0</sup> → π<sup>+</sup>π<sup>-</sup> [3], к-рое объясняется несохранением *СР-чётности* в прямых амплитудах соответствующих распадов. В рамках совр. теории *электрослабого взаимодействия* наблюдаемое нарушение *СР-чётности* естеств. образом возникает за счёт комплексности констант взаимодействия кварков с дублетом *Хиггса бозонов*, определяющих смешивание кварков в слабых *заряженных токах*. Эта комплексность проявляется только при наличии трёх (или более) *поколений фермионов*, но не наблюдается для случая одного или двух поколений. Малость нарушения *СР-и* в распадах *K-мезонов* объясняется близостью матрицы смешивания кварков к единичной.

*СР-и* предсказывает равенство вероятностей распадов частицы и античастицы в *С-сопряжённых состояниях*. Заметное нарушение *СР-и* ожидается в распадах частиц, содержащих *b-кварк*. Отличие от нуля электрич. дипольных моментов (ЭДМ) элементарных частиц также являлось бы проявлением нарушения *СР-и*. Эксперим. ограничение на ЭДМ нейтрона: d<sub>n</sub> < 1,1 · 10<sup>-25</sup> см. Если всё нарушение *СР-и* сводится к фазе констант в стандартной модели, то имеет место оценка d<sub>n</sub> = e · 10<sup>-32±2</sup> см [4] и обнаружение ЭДМ нейтрона в эксперименте практически невозможно. При выходе за рамки стандартной модели (дополнит. хиггсовские мультиплеты, *суперсимметрия*) возникают новые возможности нарушения *СР-и* и становится возможным значение d<sub>n</sub> порядка эксперим. ограничения.

Нарушение *СР-и* может иметь важное значение и для макрофизики. Одним из актуальных вопросов космологии является происхождение *барионной асимметрии Вселенной*.

Как отметил в 1967 А. Д. Сахаров, нарушение *СР-и* необходимо для получения *барионной асимметрии в горячей Вселенной теории*. Эта идея получила развитие в рамках теории *Великого объединения*.

*Сильное взаимодействие* также содержит возможность нарушения *СР-и*, связанную с т. н. θ-членом в лагранжиане *квантовой хромодинамики*: (θ/32π<sup>2</sup>)G<sub>uv</sub>G<sub>uv</sub>, где G<sub>uv</sub> — тензор глюонного поля, G<sub>uv</sub> — *дуальный тензор*. Эксперим. ограничение на d<sub>n</sub> пересчитывается в следующее ограничение на значение безразмерной константы θ: θ < 10<sup>-8</sup>. Наличие в теории столь малой константы требует объяснения. Один из способов естеств. образом избежать нарушения *СР-и* в сильном взаимодействии состоит во введении дополнит. специальной глобальной *симметрии U(1)*. При этом предсказывается существование лёгкого псевдоскалярного бозона — *аксиона*.

*Лит.*: 1) Ландау Л. Д., О законах сохранения при слабых взаимодействиях, «ЖЭТФ», 1957, т. 32, с. 405; 2) Christensen J. H. [e. a.], Evidence for the 2π decay of the K<sub>S</sub><sup>0</sup> meson, «Phys. Rev. Lett.», 1964, v. 13, p. 138; 3) Burkhardt H. [e. a.], First evidence for direct CP violation, «Phys. Lett.», 1988, v. B206, p. 169; 4) Шабалин Е. П., Электрический дипольный момент нейтрона в калибровочной теории, «УФН», 1983, т. 139, в. 4, с. 561. *М. И. Высоцкий.*

**СР-ЧЁТНОСТЬ** (комбинированная чётность) — произведение *P-чётности* и *зарядовой чётности*. Понятие оказывается полезным, т. к. в слабом взаимодействии *СР-ч.* с хорошей точностью сохраняется (см. также *СР-инвариантность*). Приведём важный пример. Два π-мезона имеют положительную *СР-ч.*, а K<sup>0</sup>- и K<sup>0</sup>-мезоны (см. *K-мезоны*) определённой *СР-ч.* не обладают. Поэтому на два π-мезона распадается линейная суперпозиция состояний |K<sub>1</sub><sup>0</sup>⟩ = (|K<sup>0</sup>⟩ + |K<sup>0</sup>⟩)/√2, ортогональная ей суперпозиция |K<sub>2</sub><sup>0</sup>⟩ = (|K<sup>0</sup>⟩ - |K<sup>0</sup>⟩)/√2 распадается на три π-мезона. Из-за малого фазового объёма вероятность распада K<sub>2</sub><sup>0</sup> → 3π примерно на три порядка меньше, чем K<sub>1</sub><sup>0</sup> → 2π. Это делает возможным наблюдение таких явлений, как осцилляция *Странности* в пучке *K-мезонов* в вакууме и регенерация K<sub>1</sub><sup>0</sup>-мезонов в веществе. *М. И. Высоцкий.*

**СРТ-ТЕОРЕМА** — см. *Теорема СРТ*.



**ЧАНДРАСЕКАРА ПРЕДЕЛ** — верх. предел массы (M<sub>ч</sub>) холодного невращающегося *белого карлика*. Установлен С. Чандрасекаром (S. Chandrasekhar, США) в 1931. Давление *P* внутри белого карлика (БК) определяется электронным вырожденным газом (см. *Квантовый газ*) и зависит только от плотности вещества ρ. Внутри БК плотность монотонно возрастает от поверхности к центру. Чем больше масса БК *M*, тем больше плотность ρ<sub>c</sub> в его центре; увеличивается также плотность любого промежуточного слоя и уменьшается радиус *R* БК. Как только энергия Ферми электронного газа начинает превышать энергию покоя электрона m<sub>e</sub>c<sup>2</sup> (это происходит при плотн. ρ ≥ 10<sup>6</sup> г/см<sup>3</sup>), электронный газ становится релятивистским и рост давления с увеличением плотности замедляется. В результате даже небольшое увеличение массы БК приводит к значит. возрастанию ρ<sub>c</sub> и, когда *M* приближается к M<sub>ч</sub>, радиус БК быстро убывает, плотность ρ<sub>c</sub> стремится к бесконечности, а зависимость *P*(ρ) асимптотически приближается к закону

$$P = K\rho^{4/3}, \quad (1)$$

где

$$K = \frac{1}{8} \left( \frac{3}{\pi} \right)^{1/3} \frac{hc}{(m_e \mu_e)^{4/3}} \approx \frac{1,244 \cdot 10^{15}}{\mu_e^{4/3}} \left[ \frac{\text{см}^3}{\text{с}^2 \text{г}^{1/3}} \right]. \quad (2)$$