ПЕРЕКРЁСТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ в ионосфере — то же, что *Люксембург — Горьковский эффект.*

ПЕРЕКРЁСТНАЯ СИММЕТРИЯ (кроссинг-симметрия) — особый вид симметрии в квантовой теории поля, состоящий в том, что амплитуда любого процесса не изменяется, если к.-л. частицы из начального и конечного состояний поменять местами, заменив при этом частицы на *античастицы.* Была открыта в теории возмущений и на примере низшего порядка πN-рассеяния изображена на рис. 1. Пример иллюстрирует отличие

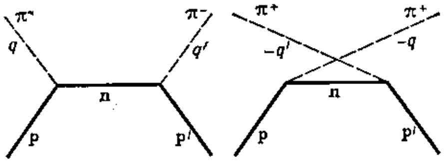

Рис. 1. Диаграммы Фейнмана перекрёстных процессов упругого π^-p- и π^+p-рассеяния; q, q' $(-q'$, $-q)$ — начальные и конечные 4-импульсы $\pi^-(\pi^+)$-мезона.

П. с. от CPT-инвариантности (см. *Теорема CPT*): нуклоны не затрагиваются П. с. В общем случае П. с. следует из редукционных ф-л и доказана в *аксиоматической квантовой теории поля.*

Наиб. интересные выводы из П. с. следуют для бинарного процесса $\mathrm{a}+\mathrm{b}\rightarrow\mathrm{c}+\mathrm{d}$. Обозначим через $s=(p_\mathrm{a}+p_\mathrm{b})^2$ квадрат его полной энергии в системе центра инерции (p_i — 4-импульс частицы i). Применяя П. с. к двум парам частиц (a, c) и (a, d), получим ещё два процесса, для к-рых роль s выполняют соответственно переменные $u=(p_\mathrm{b}-p_\mathrm{c})^2$ и $t=(p_\mathrm{b}-p_\mathrm{d})^2$ (рис. 2). Величины (s, u, t) наз. мандельстамовскими переменными, а соответствующие им три процесса — s-, u- и t-каналами. П. с. утверждает, что амплитуды трёх процессов

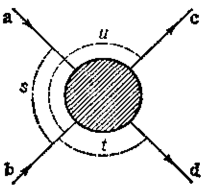

Рис. 2.

$$\text{I.}\quad \mathrm{a}+\mathrm{b}\rightarrow\mathrm{c}+\mathrm{d}\quad (s,u,t),$$

$$\text{II.}\quad \tilde{\mathrm{c}}+\mathrm{b}\rightarrow\tilde{\mathrm{a}}+\mathrm{d}\quad (u,s,t),$$

$$\text{III.}\quad \tilde{\mathrm{d}}+\mathrm{b}\rightarrow\mathrm{c}+\tilde{\mathrm{a}}\quad (t,u,s)$$

равны при указанных заменах мандельстамовских переменных. Замены переменных следует понимать не формально, а как *аналитическое продолжение*, напр. по переменной s для процесса I. При аналитич. продолжении точка (s, u, t) из физ. области реакции I переходит в нефиз. область реакции II, что легко усматривается из вида замены (a, c) в импульсном пространстве:

$$(p_\mathrm{a}, p_\mathrm{b}, p_\mathrm{c}, p_\mathrm{d})\rightarrow(-p_\mathrm{c}, p_\mathrm{b}, -p_\mathrm{a}, p_\mathrm{d}).$$

Возможность такого аналитич. продолжения была впервые доказана Н. Н. Боголюбовым при установлении дисперсионных соотношений (см. *Дисперсионных соотношений метод*) для πN-рассеяния при фиксиров. значении переданного импульса. На основе спец. аксиоматики, в к-рой ключевую роль играет принцип *микропричинности* Боголюбова, было доказано существование единой аналитич. ф-ции комплексного переменного s, граничные значения к-рой представляют собой амплитуды перекрёстных процессов. Область аналитичности и соответствие граничных значений амплитудам даны на рис. 3. Распространением представления о единой аналитич. ф-ции на амплитуды, зависящие от неск. комплексных переменных, является *Мандельстама представление*, к-рое ещё не доказано. Трудности доказательства аналитич. свойств и конструктивного построения удовлетворяющих им амплитуд препятствуют прямой эксперим. проверке П. с. Наиб. эффективно она была использована при проверке дисперсионных соотношений в физике частиц. С её помощью по данным об эл.-магн. структуре протона предсказано существование ρ-мезона — резонансного состояния в системе двух пионов. П. с. активно применяется при изучении асимптотич. свойств амплитуд процессов, в *Редже полюсов методе.* Наиб. интересное использование она нашла в физике низких энергий. Вместе с *унитарности условием* и предположением о важности малого числа парциальных волн она позволила получить замкнутые системы ур-ний.

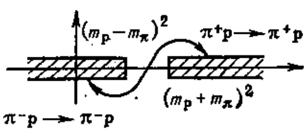

Рис. 3. Комплексная s-плоскость с разрезами, соответствующими перекрёстным процессам (верхний берег правого разреза соответствует физической области процесса $\pi^+p\rightarrow\pi^+p$, нижний берег левого разреза — физической области перекрёстного процесса $\pi^-p\rightarrow\pi^-p$; m_p, m_π — массы протона и π-мезона).

Лит.: Ширков Д. В., Серебряков В. В., Мещеряков В. А., Дисперсионные теории сильных взаимодействий при низких энергиях, М., 1967; Бартон Г., Дисперсионные методы в теории поля, пер. с англ., М., 1968; Ициксон К., Зюбер Ж.-Б., Квантовая теория поля, пер. с англ., т. 1, М., 1984, гл. 5.

В. А. Мещеряков.

ПЕРЕКРЁСТНЫЕ ПРОЦЕССЫ — неравновесные термодинамич. процессы переноса, в к-рых потоки J_i, J_k вызваны термодинамич. силами X_k, X_i соответственно, при $i\neq k$. В линейных соотношениях между термодинамич. силами и потоками (см. *Термодинамика неравновесных процессов*):

$$J_i=\sum_{k=1}^{n}L_{ik}X_k.$$

П. п. соответствуют феноменологич. или *кинетические коэффициенты* L_{ik} и L_{ki}. Согласно *Онсагера теореме*, $L_{ik}=L_{ki}$ (в отсутствие магн. поля и вращения системы как целого).

Примеры П. п. в непрерывной системе (гомогенной смеси жидкостей или газов) — *термодиффузия*, в к-рой поток вещества вызван градиентом темп-ры, и *Дюфура эффект*, в к-ром поток тепла вызван градиентом концентрации (или хим. потенциала). Термодиффузия и эффект Дюфура представляют собой налагающиеся процессы по отношению к диффузии и теплопроводности, к-рые являются прямыми процессами.

П. п. имеют место также в прерывных системах, напр. в процессах переноса между резервуарами, соединёнными капилляром, пористой стенкой или проницаемой мембраной. В однокомпонентной прерывной системе объёмный поток вещества J, сила электрич. тока I и поток тепла J_Q пропорциональны термодинамич. силам — разности давлений ΔP, разности электрич. потенциалов $\Delta\varphi$ и относит. разности темп-р $\Delta T/T$:

$$J=a_{11}\Delta P+a_{12}\Delta\varphi+a_{13}\Delta T/T,$$

$$I=a_{21}\Delta P+a_{22}\Delta\varphi+a_{23}\Delta T/T,$$

$$J_Q=a_{31}\Delta P+a_{32}\Delta\varphi+a_{33}\Delta T/T,$$

где $a_{12}=a_{21}$, $a_{13}=a_{31}$, $a_{23}=a_{32}$.

Среди процессов переноса, в к-рых отлична от нуля лишь одна термодинамич. сила, П. п. являются: электрокинетические процессы

$$J=a_{12}\Delta\varphi \text{ — потокопроводность},$$

$$I=a_{21}\Delta P \text{ — электроосмос};$$

термоосмотические, или термомеханические, процессы

$$J=a_{13}\Delta T/T \text{ — термоосмос},$$

$$J_Q=a_{31}\Delta P \text{ — осмотический термоэффект};$$

термоэлектрические процессы

$$I=a_{23}\Delta T/T,\quad J_Q=a_{32}\Delta\varphi.$$

Кинетич. коэф. П. п. a_{jk} могут быть как положительными, так и отрицательными, в зависимости от относит. роли сил притяжения или отталкивания во взаимодействии между молекулами, но они всегда удовлетворяют неравенствам

$$a_{11}a_{22}-a_{12}^2>0,\quad a_{11}a_{33}-a_{13}^2>0,$$