Здесь $a^+(\boldsymbol{p})$, $a^-(\mathbf{k})$ — операторы рождения и уничтожения частиц с импульсами соответственно $\boldsymbol{p}$ и $\mathbf{k}$. Для S в нормальной форме (1) вычисление матричного элемента перехода $\langle N|S|M\rangle$ между свободными m-частичным нач. состоянием $|M\rangle = a^+(\boldsymbol{p}_1)\dots a^+(\boldsymbol{p}_m)|0\rangle$ и n-частичным конечным состоянием $\langle N| = \langle 0|a^-(\mathbf{k}_1)\dots$ $\dots a^-(\mathbf{k}_n)$ сводится к использованию канонических *перестановочных соотношений* и даёт коэффициентную ф-цию S_{mn} плюс члены, пропорц. *дельта-функции* $\delta(\boldsymbol{p}_j - \mathbf{k}_j)$ (они отвечают несвязным *Фейнмана диаграммам*).

В релятивистской теории нормальную форму (1) удобно переписать в релятивистски-инвариантном виде, через *нормальное произведение* свободных полей $\varphi(x)$:

$$S = \sum_{n\geqslant 0}(n!)^{-1}\int\Phi_n(x_1,\dots,x_n):\varphi(x_1)\dots\varphi(x_n):d^4x_1\dots d^4x_n, \quad (2)$$

где коэф. разложения Φ_n зависят от пространственно-временных координат x_i. Тогда Р. ф. даются перестановочными соотношениями оператора O, заданного нормальным разложением типа (2), с операторами $a^{\pm}(\boldsymbol{p})$:

$$[O, a\pm(\boldsymbol{p})] = \pm\Gamma^{\mp}_{\boldsymbol{p}}\delta O/\delta\varphi(x) = \pm(2\pi)^{3/2}(2p_0)^{-1/2}\times$$
$$\times\int d^4x \exp(\mp ipx)\delta O/\delta\varphi(x)\Big|_{p_0=\sqrt{\boldsymbol{p}^2+m^2}}, \quad (3)$$

интегральные операции $\Gamma^{\pm}_{\boldsymbol{p}}$ осуществляют преобразование Фурье и переводят 4-импульсы $p(p_0, \boldsymbol{p})$ на массовую поверхность: $p^2 = m^2$ (m — масса частицы; используется система единиц, в к-рой $c = \hbar = 1$). Последоват. выполнение коммутаций $a^{\pm}$ сначала с S, а затем с её вариац. производными приводит элемент S к неск. эквивалентным формам. Разные формы удобны для выявления следствий разл. аксиом теории; все они используются при исследовании аналитич. свойств амплитуд рассеяния и многочастичных процессов, напр. при доказательстве *дисперсионных соотношений* в АКТП. В частности, Р. ф.

$$\langle N|S|M\rangle = \Gamma^-_{\mathbf{k}_1}\dots\Gamma^-_{\mathbf{k}_m}\Gamma^+_{p_1}\dots\Gamma^+_{p_n}\cdot G^c(x_1,\dots,x_m;y_1,\dots,y_n) \quad (4)$$

(плюс несвязные вклады) связывает матричный элемент с причинной *Грина функцией* G^c, через к-рую с помощью преобразования Фурье выражается амплитуда перехода вне массовой поверхности:

$$\int d^4x_1\dots d^4x_n G^c(x_1,\dots,x_n)\exp\left\{i\sum x_ip_i\right\} =$$
$$= -i(2\pi)^4\delta\left(\sum p_i\right)\cdot F(p_1,\dots,p_n).$$

В формулировке Лемана — Симанзика — Циммермана (H. Lehmann, K. Symanzik, W. Zimmermann, 1955) исходным объектом теории служит взаимодействующее (интерполирующее) поле $A(x)$. Асимптотич. состояния при $x_0 = t \to \pm\infty$ строятся как пределы состояний, полученных действием на вакуум $|0\rangle$ сглаженных операторов:

$$A(f,t) = i\int_{x_0=t} d^3x\left\{f(x)\frac{\partial A(x)}{\partial x_0} - \frac{\partial f(x)}{\partial x_0}A(x)\right\},$$

где $f(x)$ — гладкие решения *Клейна — Гордона уравнения* (волновые пакеты),

$$\left|N^f_{\pm}\right\rangle = \lim_{t\to\pm\infty} A(f_1,t)\dots A(f_n,t)|0\rangle.$$

Теорема Хаага — Рюэля (R. Haag, D. Ruelle, 1962) утверждает, что в АКТП эти пределы существуют вследствие аксиом Уайтмана. При этом $\left\langle N^f_+|M^f_-\right\rangle = \left\langle N^f_+|S|M^f_+\right\rangle$, а при снятии сглаживания, когда $f_i(x)$ становится плоской волной с импульсом $\boldsymbol{p}_i$ и энергией $p_{0i} = \sqrt{\boldsymbol{p}_i^2 + m^2}$, состояние $|N^f_+\rangle$ переходит в $|N\rangle$.

Р. ф. Лемана — Симанзика — Циммермана связывает фигурирующую в (4) причинную ф-цию Грина с *хронологическим произведением* взаимодействующих полей:

$$G^c(x_1,\dots,x_n) = K_{x_1}\dots K_{x_n}\langle 0|T(A(x_1)\dots A(x_n))|0\rangle,$$

где $K_x = \Box - m^2$ ($\Box$ — *Д'Аламбера оператор*).

Лит.: Швебер С., Введение в релятивистскую квантовую теорию поля, пер. с англ., М., 1963; Ициксон К., Зюбер Ж.-Б., Квантовая теория поля, пер. с англ., т. 1, М., 1984; Боголюбов Н. Н., Логунов А. А., Оксак А. И., Тодоров И. Т., Общие принципы квантовой теории поля, М., 1987. *В. П. Павлов.*

РЕДУЦИРОВАННЫЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ (наз. также эффективными) — характеризуют *оптическое излучение* по его воздействию на заданный селективный приёмник. При любом спектральном составе излучения одинаковым реакциям селективного приёмника соответствуют равные значения Р. ф. в. В этом их основное удобство, особенно при оценке излучения, применяемого в практич. целях. Каждая из Р. ф. в. есть интеграл от произведения *спектральной плотности* соответствующей энергетич. величины, характеризующей излучение, на *спектральную чувствительность* данного приёмника. В систему СИ из Р. ф. включены только *световые величины*. *Д. Н. Лазарев.*

РЕЗЕРФОРД (Рд, Rd) — внесистемная единица активности нуклидов в радиоактивных источниках. Названа в честь Э. Резерфорда (E. Rutherford). 1 Рд равен активности изотопа, в к-ром за 1 с происходит 10^6 распадов, т. е. 1 Рд = 10^6 Бк = 1/37000 *кюри*.

РЕЗЕРФОРДА ФОРМУЛА — формула для эффективного сечения рассеяния нерелятивистских заряж. точечных частиц, взаимодействующих по закону Кулона; получена Э. Резерфордом (E. Rutherford) в 1911. В системе центра инерции сталкивающихся частиц Р. ф. имеет вид

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1Z_2e^2}{2mv^2}\right)^2\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}, \quad (*)$$

где $d\sigma/d\Omega$ — сечение рассеяния в единичный телесный угол, θ — угол рассеяния, $m = m_1m_2/(m_1 + m_2)$ — приведённая масса, m_1, m_2 — массы сталкивающихся частиц, v — их относит. скорость, Z_1e, Z_2e — электрич. заряды частиц (e — элементарный электрич. заряд). Р. ф. справедлива как в классич., так и в квантовой теориях. Ф-ла (*) была использована Резерфордом при интерпретации опытов по рассеянию α-частиц тонкими металлич. пластинками на большие углы ($\theta > 90°$). В результате анализа опытных данных он пришёл к выводу, что почти вся масса атома сконцентрирована в малом положительно заряж. ядре. Этим открытием были заложены основы совр. представлений о строении атомов. *С. М. Биленький.*

РЕЗОНАНС (франц. résonance, от лат. resono — откликаюсь) — частотно-избирательный отклик колебат. системы на периодич. внеш. воздействие, при к-ром происходит резкое возрастание амплитуды стационарных колебаний. Наблюдается при приближении частоты внеш. воздействия к определённым, характерным для данной системы значениям. В линейных колебат. системах число таких резонансных частот соответствует числу степеней свободы и они совпадают с частотами *собственных колебаний*. В нелинейных колебат. системах, реактивные и диссипативные параметры к-рых зависят от величины стороннего воздействия, Р. может проявляться и как отклик на внеш. силовое воздействие, и как реакция на периодич. изменение параметров. В строгом значении термин «Р.» относится лишь к случаю силового воздействия.

Резонанс в линейных системах с одной степенью свободы. Пример простейшего случая Р. представляют