$$\Phi=\sum_{n\geqslant 0}(n!)^{-1}\int d\mathbf{k}_1\dots d\mathbf{k}_n\Phi_n(\mathbf{k}_1,\dots,\mathbf{k}_n)\hat{a}^+(\mathbf{k}_1)\dots\hat{a}^+(\mathbf{k}_n)\Phi_0\leftrightarrow$$
$$\leftrightarrow\Phi[a^*]=\sum_{n\geqslant 0}(n!)^{-1}\int d\mathbf{k}_1\dots d\mathbf{k}_n\Phi_n(\mathbf{k}_1,\dots,\mathbf{k}_n)a^*(\mathbf{k}_1)\dots a^*(\mathbf{k}_n);$$

$$\hat{A}=\sum_{m,n\geqslant 0}(m!\,n!)^{-1}\int d\mathbf{k}_1\dots d\mathbf{k}_m\,dp_1\dots dp_n\,A_{mn}(\mathbf{k}_1,\dots,\mathbf{k}_m,$$
$$p_1,\dots,p_n)\hat{a}^+(\mathbf{k}_1)\dots\hat{a}^+(\mathbf{k}_m)\hat{a}^-(p_1)\dots\hat{a}^-(p_n)\leftrightarrow A[a^*,a],$$

где Φ_0 — фоковский вакуум, $\hat{a}^{\pm}$ — операторы рождения и уничтожения частиц с 3-импульсом $\mathbf{k}$. П. ф. $A[a^*, a]$ наз. нормальным символом оператора $\hat{A}$, а его разложение получается заменой $\hat{a}^+$, $\hat{a}^-$ на комплексно сопряжённые ф-ции a^*, a из нек-рого *гильбертова пространства.* При этом $\Phi[a^*]$ — П. ф. для волновых ф-ций Φ_n n-частичных состояний, а $A[a^*, a]$ — П. ф. для матричных элементов A_{mn} оператора $\hat{A}$ в фоковском базисе.

В релятивистской теории в качестве функцион. аргумента берётся нормальный символ φ_0 оператора свободного поля:

$$\hat{\varphi}_0(x)=(2\pi)^{-3/2}\int d\mathbf{k}(2k_0)^{-1/2}\{\hat{a}^+(\mathbf{k})\exp(ikx)+$$
$$+\hat{a}^-(\mathbf{k})\exp(-ikx)\},$$
$$k_0=\sqrt{k^2+m^2}\,.$$

Нормальный символ *матрицы рассеяния* $\hat{S}$

$$S[\varphi_0]=\sum_{n\geqslant 0}(n!)^{-1}\int dx_1\dots dx_nS_n(x_1,\dots,x_n)\varphi_0(x_1)\dots\varphi_0(x_n)$$

является П. ф. её коэффициентных ф-ций S_n. Поскольку $\hat{\varphi}_0$, как и φ_0, удовлетворяют ур-нию свободного поля, $\hat{S}$ и $S[\varphi_0]$ определены лишь на поверхности энергии. Для формулировки причинности вводят расширенный нормальный символ $S[\varphi]$, аргумент к-рого уже не удовлетворяет ур-нию свободного поля. В *возмущений теории* этот П. ф. выражается ф-лой Хори

$$S[\varphi]=\exp\left\{\frac{1}{2}\int dx\,dy\,\frac{\delta}{\delta\varphi(x)}\,D^c(x-y)\,\frac{\delta}{\delta\varphi(y)}\right\}\times$$
$$\times\exp\left\{i\int dx\mathscr{L}_I[\varphi]\right\},$$

где $D^c(x)$ — причинная ф-ция Грина (*пропагатор*), $\mathscr{L}_I[\varphi]$ — нормальный символ лагранжиана взаимодействия. Эта ф-ла компактно записывает результат применения *Вика теоремы* к стандартному выражению для S-матрицы в теории возмущений: $\hat{S}=T\exp\{i\int d\hat{x}\hat{\mathscr{L}}\}$.

Заменой функцион. аргумента у $S[\varphi]$ можно получить П. ф. для *Грина функций* $G_n(x_1, \dots, x_n)$:

$$Z[J]=\exp\left\{-\frac{1}{2}\int dx\,dy\,J(x)\,D^c(x-y)J(y)\right\}\times$$
$$\times S\left[\,i\int dy\,D^c(x-y)J(y)\right],$$

где $J(x)$ — внеш. источник поля. Функционал $W[J]=\ln Z[J]$ является П. ф. для связных ф-ций Грина. *Лежандра преобразование* $W[J]$ даёт П. ф. для сильно связных ф-ций Грина, называемый иногда эфф. действием. На языке П. ф. легко выводятся и компактно формулируются *Уорда тождества* и нек-рые др. соотношения между ф-циями Грина.

П. ф. используется и в *статистической физике.* Напр., введём s-частичные ф-ции распределения N-частичной системы:

$$F_s(t,x_1,\dots,x_n)=V^s\int dx_{s+1}\dots dx_Nw_N(t,x_1,\dots,x_N),$$
$$s=1,2,\dots,$$

где V — объём, $x_i=(q_i, p_i)$, а полная ф-ция распределения w_N удовлетворяет *Лиувилля уравнению* $dw_N/dt=\{H, w_N\}$ с *Гамильтона функцией* $H=T(p_i)+U(|q_i-q_j|)$. Тогда всю цепочку *Боголюбова уравнений* для F_s порождает (в термодинамич. пределе V, $N\to\infty$, $V/N=v=\mathrm{const}$) ур-ние

$$\frac{\partial F}{\partial t}=\int dx f(x)\left\{T,\frac{\delta F}{\delta f(x)}\right\}+\int\frac{1}{2}\int dx\,dy(f(x)f(y)+v^{-1}f(x)+$$
$$+v^{-1}f(y)\left\{U,\frac{\delta^2F}{\delta f(x)\delta f(y)}\right\},$$

для П. ф.

$$F[t;f]=\int dx_1\dots dx_Nw_N(t,x_1,\dots,x_N)\prod_{1\leqslant i\leqslant N}(1+vf(x_i)),$$

а сами F_s выражаются через него ф-лами

$$F_s(t;x_1,\dots,x_s)=\prod_{1\leqslant i\leqslant s}\left(1-\frac{i}{N}\right)^{-1}\frac{\delta^sF}{\delta f(x_1)\dots\delta f(x_s)}.$$

Лит.: Березин Ф. А., Метод вторичного квантования, 2 изд., М., 1986; Васильев А. Н., Функциональные методы в квантовой теории поля и статистике, Л., 1976; Славнов А. А., Фаддеев Л. Д., Введение в квантовую теорию калибровочных полей, 2 изд., М., 1988; Ициксон К., Зюбер Ж.-Б., Квантовая теория поля, пер. с англ., т. 1—2, М., 1984.

А. М. Малокостов, В. П. Павлов.

ПРОИСХОЖДЕ́НИЕ СО́ЛНЕЧНОЙ СИСТЕ́МЫ (планетная космогония). Происхождение и эволюция Солнца рассматриваются теориями *звездообразования* и *эволюции звёзд*, а при изучении П. С. с. осн. внимание уделяется проблеме образования планет, и прежде всего Земли. Звёзды с планетными системами могут составлять промежуточный класс между одиночными и *двойными звёздами.* Не исключено, что строение планетных систем и способы их формирования могут быть весьма различными. Строение *Солнечной системы* (СС) обладает рядом закономерностей, указывающих на совм. образование всех планет и Солнца в едином процессе. Такими закономерностями являются: движение всех планет в одном направлении по эллиптич. орбитам, лежащим почти в одной плоскости; вращение Солнца в том же направлении вокруг оси, близкой к перпендикуляру к центр. плоскости планетной системы; осевое вращение в том же направлении большинства планет (за исключением Венеры, к-рая очень медленно вращается в обратном направлении, и Урана, к-рый вращается как бы лёжа на боку); обращение в том же направлении большинства спутников планет; закономерное возрастание расстояний планет от Солнца; деление планет на родств. группы, отличающиеся по массе, хим. составу и кол-ву спутников (группа близких к Солнцу планет земного типа и далёкие от Солнца планеты-гиганты, также подразделяющиеся на 2 группы); наличие пояса малых планет между орбитами Марса и Юпитера.

Краткая история. Начало развитию планетной космогонии положено гипотезой Канта—Лапласа. И. Кант (I. Kant, 1755) выдвинул идею о формировании планет из разреженного пылевого вещества, обращавшегося вокруг Солнца. Согласно П. С. Лапласу (P. S. Laplace, 1796), материалом для образования планет послужила часть газового вещества, отделившаяся от сжимающегося протосолнца. Наряду с гипотезой Канта—Лапласа предлагались гипотезы, основанные на идее «катастрофич. события». В 1920—30-х гг. известностью пользовалась гипотеза Дж. Х. Джинса (J. H. Jeans), считавшего, что планеты образовались из вещества, вырванного из Солнца притяжением пролетевшей поблизости