коллективных возбуждений с возбуждениями отд. частиц. В первой части гамильтониана гл. роль играет квадратичная по К. п. форма, члены более высокого порядка интерпретируют как динамич. взаимодействие коллективных возбуждений.

Число К. п. и число оставшихся индивидуальных переменных, необходимых для описания микроскопич. состояния системы, должно равняться исходному числу степеней свободы. Учёт этого ограничения необходим при расчёте статистич. средних и статистич. суммы, часть к-рой может быть подсчитана с помощью переменных типа ρ_k, а часть («коротковолновая») — с помощью исходных переменных.

Примеры К. п. в статистич. системах:

а) В жидкостях К. п. соответствуют помимо плотности числа частиц $\rho(\boldsymbol{r})$ ещё четыре величины: плотности импульса и энергии

$$\boldsymbol{p}(\boldsymbol{r})=\sum_{j=1}^{N}\boldsymbol{p}_j\delta(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}_j),\quad \varepsilon(\boldsymbol{r})=\sum_{j=1}^{N}\varepsilon(\boldsymbol{p}_j)\,\delta(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}_j).$$

Обычно рассматривают фурье-компоненты этих переменных, $\rho_{\boldsymbol{k}}$, $\boldsymbol{p}_{\boldsymbol{k}}$ и $\varepsilon_{\boldsymbol{k}}$, к-рые в пределе $k\to 0$ переходят в интегралы движения: полное число частиц, полный импульс и полную энергию системы. При значениях волнового вектора $k=|\boldsymbol{k}|$, меньших обратного ср. расстояния между частицами, эти величины меняются достаточно медленно. Исследование ур-ний движения для этих К. п. и их корреляц. ф-ций является предметом молекулярной гидродинамики.

б) В твёрдом теле в гармонич. приближении микроскопич. состояние можно представить как суперпозицию нормальных колебаний всей системы, каждому из к-рых сопоставляется К. п. Это т. н. *фононы*.

в) В электронном газе с кулоновским взаимодействием К. п. являются величины $\rho_{\boldsymbol{k}}$, к-рые в нулевом приближении соответствуют плазменным колебаниям с ленгмюровской частотой (см. *Плазма*). Дальнейшее развитие метода связано с учётом взаимодействия К. п. с индивидуальными переменными. В случае, когда величина $\nu(\boldsymbol{k})$ конечна при $\boldsymbol{k}=0$, а также в случае, когда спектр индивидуальных возбуждений отделён от энергии осн. состояния конечной щелью (в сверхпроводниках), коллективные возбуждения при $\boldsymbol{k}\to 0$ реализуются как акустич. колебания с частотой $\omega=ck$. Колебания вырожденных ферми-жидкости или ферми-газа (т. н. *нулевой звук*) также являются коллективными возбуждениями.

г) В слабо неидеальном вырожденном *бозе-газе* аналогичная процедура введения К. п. приводит к появлению характерного спектра для зависимости энергии коллективного возбуждения $\hbar\omega$ от импульса $\hbar\boldsymbol{k}$:

$$\hbar\omega=\left[\frac{\hbar^2k^2}{2m}\left(\frac{N}{V}\nu(k)+\frac{\hbar^2k^2}{2m}\right)\right]^{1/2},$$

соответствующего при $\boldsymbol{k}\to 0$ фононному спектру (Н. Н. Боголюбов, Д. Н. Зубарев, 1955).

д) В магнетиках низкоэнергетич. возбуждения реализуются в виде *магнонов* (колебаний магн. момента). К. п. (фурье-компоненты магн. момента) дают в нулевом приближении удовлетворит. описание осн. свойств магнетиков при низких (по сравнению с точкой Кюри) темп-рах.

е) К. п. используют и для описания коллективных эффектов в тяжёлых ядрах (объёмных колебаний и колебаний поверхности ядра, включая эффекты её несферичности).

Лит.: Бом Д., Общая теория коллективных переменных, пер. с англ., М., 1964; Хаар Д. тер, Введение в физику систем многих частиц, пер. с англ., М., 1961; Юхновский И. Р., Головко М. Ф., Статистическая теория классических равновесных систем, К., 1980; Boon J., Yip S., Molecular hydrodynamics, N. Y., 1980.

Д. Н. Зубарев.

КОЛЛИМА́ТОР (от лат. collimo, искажение правильного collineo — направляю по прямой линии) — оптич. устройство для получения пучков параллельных лучей. К. состоит из объектива (в простейшем случае — вогнутого зеркала), в фокальной плоскости к-рого помещён яркий источник света малой величины (точечная нить лампы, освещённое отверстие диафрагмы). Объектив и источник света укрепляются в зачернённой изнутри трубе (или корпусе иной формы). Неидеальная параллельность пучка, выходящего из К., обусловлена конечным размером светящегося предмета и аберрацией объектива (см. *Аберрации оптических систем*). К. применяются, напр., в астрономии для выверки больших измерит. инструментов и определения их коллимационной ошибки, в спектральных приборах для получения пучков света, направляемых в диспергирующую систему, в разнообразных измерит., испытат. и выверочных оптико-механич. приборах. К. входит в состав автоколлимационных устройств (см. *Автоколлимация*).

КОЛМОГО́РОВА УРАВНЕ́НИЯ — ур-ния для переходной ф-ции *марковского случайного процесса*. Получены А. Н. Колмогоровым в 1938. В простейшем случае процесса со счётным множеством состояний $\{i\}$ переходная ф-ция $p_{ij}(s,\ t)$ есть вероятность перехода из состояния i в момент s в состояние j в момент t. К. у. для p_{ij} имеет вид

$$\partial p_{ij}(s,\ t)/\partial s=\sum_k \alpha_{ik}(s)\,p_{kj}(s,\ t)$$

(первое, или обратное, К. у.),

$$\partial p_{ij}(s,\ t)/\partial t=\sum_k p_{ik}(s,\ t)\,\alpha_{kj}(t)$$

(второе, или прямое, К. у.), где $\alpha_{ij}(s)=\lim\limits_{t\to s}[p_{ij}(s,\ t)-\delta_{ij}]/(t-s)$, $t>s$; δ_{ij} — *Кронекера символ*. В физ. задачах чаще всего встречается марковский процесс диффуз. типа с континуумом состояний $\{x\}$, для к-рого существуют плотность переходной ф-ции $p(s,\ x\mid t,\ y)$ — плотность вероятности перехода из состояния x в момент s в состояние y в момент t — и пределы

$$a(s,\ x)=\lim_{t\to 0}t^{-1}\int(y-x)\,p(s,\ x\mid s+t,\ y)\,dy,$$

$$b(s,\ x)=\lim_{t\to 0}t^{-1}\int(y-x)^2\,p(s,\ x\mid s+t,\ y)\,dy.$$

Тогда (при нек-рых дополнит. предположениях) К. у. для $p(s,\ x;\ t,\ y)$ имеет вид

$$\frac{\partial p}{\partial s}+a(s,\ x)\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{2}b(s,\ x)\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}=0,$$

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial y}(a(t,\ y)\,p)-\frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial y^2}(b(t,\ y)\,p)=0.$$

Второе К. у. наз. в этом случае *Фоккера—Планка уравнением*. Величина $a(s,\ x)$ имеет смысл скорости систематич. изменения состояния x, $b(s,\ x)$ описывает интенсивность беспорядочных толчков. Для гауссова случайного процесса с

$$p(s,\ x\mid t,\ y)=p_0(t-s,\ y-x)=$$

$$=[4\pi D(t-s)]^{-1/2}\exp\{-(y-x)^2/4D(t-s)\}$$

второе К. у. переходит в *диффузии уравнение*:

$$\partial p_0/\partial t-D\partial^2 p_0/\partial y^2=0.$$

Помимо многочисл. приложений в теории *броуновского движения*, теории *флуктуаций*, задачах физ. кинетики К. у. используются в астрофизике.

Лит.: Колмогоров А. Н., Об аналитических методах в теории вероятностей, «УМН», 1938, в. 5, с. 5; Гихман И. И., Скороход А. В., Теория случайных процессов, т. 2, М., 1973; Агекян Т. А., Теория вероятностей для астрономов и физиков, М., 1974; Леонтович М. А., Введение в термодинамику. Статистическая физика, М., 1983.

В. П. Павлов.

КОЛМОГО́РОВА — ФЕ́ЛЛЕРА УРАВНЕ́НИЕ — интегродифференц. ур-ние для переходной плотности вероятности *марковских случайных процессов* с разрывными (скачкообразными) изменениями состояния. Получено А. Н. Колмогоровым в 1938 и У. Феллером (W. Feller) в 1940.

Пусть, напр., реализации случайного процесса $x(t)$ представляют собой кусочно-постоянные ф-ции, скач-