где $H(\boldsymbol{p}, \boldsymbol{r})$ — ф-ция Гамильтона системы, p_i — соответствующий обобщённой координате x_i импульс. [Ф-ла (3), в отличие от ф-лы (2), справедлива в случае, когда нет внеш. магн. поля.] Следствием (3) является теорема о равнораспределении ср. энергии по степеням свободы в классич. статистич. механике. Ср. вириал внеш. сил, обеспечивающих нахождение системы N частиц внутри сосуда с объёмом V и поддерживающих в нём давление P, равен $3PV/2$, поэтому В. т. (2) с учётом (3) можно записать в виде:

$$PV = N\theta - 3^{-1} \sum_i \boldsymbol{r}_i \, \partial U_{\text{вз}} (\boldsymbol{r}_1, \ldots, \boldsymbol{r}_N)/\partial \boldsymbol{r}_i, \qquad (4)$$

где $U_{\text{вз}}$ — энергия взаимодействия частиц системы друг с другом. Это соотношение может служить исходным при получении ур-ния состояния неидеального классич. газа, в частности *вириального разложения* для него.

Область применения ф-л (3) и (4) определяется условиями применимости классич. статистич. механики, т. е. условиями статистич. невырожденности системы по отношению к каждому из видов микроскопич. движения (трансляц. движения молекул, их вращений, внутр. колебаний и т. д.).

Лит.: Гиршфельдер Дж., Кертисс Ч., Берд Р., Молекулярная теория газов и жидкостей, пер. с англ., М., 1961; Леонтович М. А., Введение в термодинамику. Статистическая физика, М., 1983.

И. А. Квасников.

ВИРИА́ЛЬНОЕ РАЗЛОЖЕ́НИЕ — представление давления неидеального газа в виде ряда по степеням плотности $N/V=v^{-1}$: $P=kTv^{-1}(1+B_2(T)v^{-1}+B_3(T)v^{-2}+ +\ldots)$, где N — число молекул, V — объём, T — темп-ра; иногда В. р. наз. также вириальным уравнением состояния (см. *Уравнение состояния*). Первый член соответствует давлению идеального газа, коэф. $B_2(T)$, $B_3(T)\ldots$ — вириальные коэффициенты, соответствующие учёту взаимодействий молекул в группах из двух, трёх и т. д. молекул, поэтому В. р. наз. также *групповым разложением*. (Аналогич. разложения имеют место и для др. термодинамич. ф-ций.) Обычно предполагают, что газ подчиняется классич. статистике и его молекулы взаимодействуют с помощью парного потенциала сил $U(r)$. Второй вириальный коэф., равный

$$B_2(T) = 2\pi \int_0^\infty [1 - \exp(-U(r)/kT)]\, r^2\, dr,$$

позволяет получить простейшее ур-ние состояния для неидеального газа.

Впервые В. р. введено из эмпирич. соображений Х. Камерлинг-Оннесом (H. Kamerlingh-Onnes) в 1912. В дальнейшем В. р. получали с помощью *вириала теоремы*.

Полное В. р. можно вывести на основе канонич. или большого канонич. распределения Гиббса при помощи группового разложения, полученного Х. Урселлом (H. Ursell) в 1927 и обобщённого Дж. Майером (J. Mayer) в 1937:

$$Pv/kT = 1 - \sum_{n \geqslant 1} n\beta_n / v^n (n+1),$$

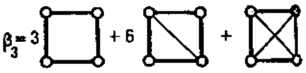
где β_n — неприводимые (не поддающиеся упрощению) групповые интегралы, связанные с вириальными коэф. соотношением $B_n = -\beta_{n-1}(n-1)/n$. Для них справедливы выражения:

$$\beta_1 = V^{-1} \int f_{12}\, d\boldsymbol{r}_1\, d\boldsymbol{r}_2; \quad \beta_2 = (^1/_2!\, V) \int f_{12} f_{23} f_{31}\, d\boldsymbol{r}_1\, d\boldsymbol{r}_2 d\boldsymbol{r}_3;$$

$$\beta_3 = (^1/_3!\, V) \int (3 f_{12} f_{23} f_{34} f_{41} + 6 f_{12} f_{23} f_{34} f_{41} f_{13} + + f_{12} f_{23} f_{34} f_{41} f_{13} f_{24})\, d\boldsymbol{r}_1\, d\boldsymbol{r}_2\, d\boldsymbol{r}_3\, d\boldsymbol{r}_4;$$

$$f_{ij} = \exp(-U_{ij}/kT) - 1.$$

Для вычисления β_n в любом порядке Дж. Майером в 1937 разработана диаграммная техника, к-рая была первым примером использования диаграммных методов в теоретич. физике см. (*Майера диаграммы*).



Неприводимым групповым интегралам β_n сопоставляют связные неприводимые диаграммы. Напр., β_3 соответствует сумме вкладов от связных диаграмм, изображённых на рис., где каждой молекуле сопоставляется кружок (вообще говоря, с номером молекулы), ф-циям f_{ij} сопоставляются прямые линии, проведённые между i-м и j-м кружками (f-связи). Цифра перед каждой диаграммой означает число одинаковых диаграмм, соответствующих данному числу f-связей. В. р. справедливы лишь для достаточно малых плотностей, вдали от точки конденсации, когда не образуются большие комплексы взаимодействующих молекул и β_n можно считать не зависящими от объёма V.

Вириальное разложение имеет место также для невырожденных квантовых газов, т. е. при достаточно малой плотности.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Статистическая физика, ч. 1, 3 изд., М., 1976, гл. 7; Майер Дж., Гепперт-Майер М., Статистическая механика, пер. с англ., 2 изд., М., 1980; Хилл Т., Статистическая механика, пер. с англ., М., 1960, гл. 5; Исихара А., Статистическая физика, пер. с англ., М., 1973, гл. 5.

Д. Н. Зубарев.

ВИРТУА́ЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕ́НИЯ — то же, что *возможные перемещения*.

ВИРТУА́ЛЬНЫЕ ПЕРЕХО́ДЫ в квантовой теории — переходы физ. микросистемы из одного состояния в другое, связанные с рождением и уничтожением *виртуальных частиц*.

ВИРТУА́ЛЬНЫЕ СОСТОЯ́НИЯ в квантовой теории — короткоживущие промежуточные состояния микросистемы, в к-рых нарушается обычная связь между энергией, импульсом и массой системы (см. *Виртуальные частицы*). Обычно возникают при столкновениях микрочастиц. Напр., при столкновении электрона с позитроном пара e^+e^- аннигилирует в адроны через виртуальный γ-квант.

Г. Я. Мякишев.

ВИРТУА́ЛЬНЫЕ ЧАСТИ́ЦЫ — кванты релятивистских волновых полей, участвующих в вакуумных флуктуациях. С общей квантовомеханич. точки зрения, В. ч. можно рассматривать как частицы, возникающие в промежуточных состояниях процессов перехода и взаимодействия частиц. В. ч. имеют те же квантовые числа, что и обычные реальные частицы и (формально) отличаются от последних тем, что для них не выполняется соотношение спец. теории относительности между энергией $\mathscr{E}$, импульсом $\boldsymbol{p}$ и массой m, $\mathscr{E}^2 - c^2 p^2 \neq m^2 c^4$. Соотношение $\mathscr{E}^2 - c^2 \boldsymbol{p}^2 = m^2 c^4$ наз. ур-нием массовой поверхности (в пространстве переменных $\mathscr{E}$, $\boldsymbol{p}$), поэтому говорят, что В. ч. не лежат на массовой поверхности. Величина отклонения В. ч. от массовой поверхности (т. е. отклонение релятивистского инварианта — квадрата 4-импульса частицы $p^2 = \mathscr{E}^2 - c^2 \boldsymbol{p}^2$ от $m^2 c^4$) иногда наз. виртуальностью.

В. ч. ответственны за квантовый механизм взаимодействия частиц — именно они являются переносчиками взаимодействий. Напр., рассеяние заряж. частиц за счёт эл.-магн. взаимодействия между ними по квантовополевым представлениям осуществляется через обмен виртуальными фотонами.

Концепция В. ч. играет важную роль в понимании внутр. структуры частиц, особенно адронов. Низкоэнергетич. картина строения адронов использует понятие «шубы» из В. ч., «облачающих» соответствующую «голую» частицу. Напр., распределение электрич. заряда на периферии протона (низкоэнергетич. электрич. *формфактор* протона) объясняется наличием оболочек виртуальных пионов, каонов и т. д. В то же время структура адронов, проявляющаяся в высокоэнергетич. *жёстких процессах* с большой передачей импульса (глубоко неупругие процессы рассеяния лептонов на адронах), объясняется с помощью *партонов*, к-рые, по совр.