темп-рах были объяснены в *Дебая теории* твёрдого тела. Согласно этой теории, Д. и П. з. относится к области высоких темп-р (выше *Дебая температуры* θ_D), в к-рой возбуждены все колебат. степени свободы. При понижении темп-ры происходит «вымораживание» всё большего числа степеней свободы, что и приводит к уменьшению теплоёмкости. В кристаллах с высокой темп-рой Дебая (у алмаза $\theta_D=1860$ К, у бериллия $\theta_D=1000$ К) Д. и П. з. не выполняется уже при комнатной темп-ре.

Небольшие отклонения от Д. и П. з. наблюдаются и при высоких темп-рах ($T>\theta_D$). Они связаны с ангармонизмом колебаний кристаллич. решётки и дисперсией акустич. *фононов*, обусловленной дискретной структурой кристалла. Для сложных кристаллов Д. и П. з. может не выполняться по двум причинам: 1) кристалл плавится или разлагается при $T<\theta_D$, т. е. не существует в области, где справедлив Д. и П. з.; 2) существенный вклад в теплоёмкость вносят внутримолекулярные колебания (напр., такими колебаниями обусловлено 20% теплоёмкости бензола при $T=150$ К и 80% при 270 К).

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Статистическая физика, ч. 1, 3 изд., М., 1976; Ашкрофт Н., Мермин Н., Физика твёрдого тела, пер. с англ., т. 2, М., 1979.

Э. М. Эпштейн.

ДЮФУ́РА ЭФФЕ́КТ (термодиффузионный эффект) — появление теплового потока вследствие градиента концентрации в бинарной системе газов или жидкостей. Необратимый процесс, обратный термодиффузии. Открыт Л. Дюфуром (L. Dufour) в 1872, подробно исследован К. Клузиусом (K. Clusius) и Л. Вальдманом (L. Waldmann) в 1942—49. Тепловой поток $\boldsymbol{J}_q$, возникающий при пост. давлении вследствие градиента концентрации ∇c_1 и темп-ры ∇T, равен:

$$\boldsymbol{J}_q=-\lambda\nabla T-\rho_1 T\mu_{11}^c D''\nabla c_1,$$

где λ — коэф. теплопроводности, D'' — коэф. Дюфура, ρ_1 — плотность первого компонента, $\mu_{11}^c=(\partial\mu_1/\partial c_1)_T$, μ_1 — хим. потенциал первого компонента. Появление производной хим. потенциала по концентрации связано с тем, что в линейных соотношениях Онсагера (см. *Онсагера теорема*) термодинамич. силы пропорц. градиентам хим. потенциалов. Величину $\beta=\rho_1 T\mu_{11}^c D''$ называют коэф. диффузионного термоэффекта.

Кроме теплового потока в такой бинарной системе возникает и поток массы (диффузия):

$$\boldsymbol{J}_1=-\rho c_1 c_2 D'\nabla T-\rho D\nabla c_1,$$

где D' — коэф. термодиффузии, D — коэф. диффузии; величина $K_T=c_1c_2TD'/D$ наз. термодиффузионным отношением. Д. э. и перенос массы наз. перекрёстными процессами. Согласно теореме Онсагера, коэф. Дюфура и коэф. термодиффузии равны: $D''=D'$ (соотношение Онсагера). Значения коэф. Дюфура (и соответственно коэф. термодиффузии) могут быть как положительными, так и отрицательными, но при этом всегда

$$(D'')^2\leqslant\frac{\lambda D}{T\rho c_1^2 c_2\mu_{11}^c},$$

что следует из положительности производства энтропии и условия термодинамич. устойчивости. В стационарном состоянии, когда диффузионный поток обращается в нуль,

$$\frac{D'}{D}=-\frac{1}{c_1c_2}\frac{\nabla c_1}{\nabla T};$$

это отношение наз. коэффициентом Соре и в жидких и газовых смесях имеет порядок величины 10^{-3}—10^{-5} К$^{-1}$. Т. о., зная значение D, можно определить D', а следовательно, и D''. Для жидкостей $D''\sim10^{-8}$—10^{-10} см/с·К, для газов $D''\sim10^{-4}$—10^{-6} см^2/с·К.

Коэф. D'' можно измерить и непосредственно по градиенту темп-ры, возникающему при смешивании разл. жидкостей или газов:

$$\frac{D''}{\lambda}=\frac{1}{T\rho_1\mu_{11}^c}\frac{\Delta T}{\Delta c},$$

где ΔT — макс. разность темп-р разл. жидких или газообразных веществ, имевших до смешивания одинаковую темп-ру. В газах ΔT порядка неск. К, а жидкостях в 10^4 раз меньше. Эти результаты подтверждают соотношение Онсагера.

Лит.: Гроот С. де, Мазур П., Неравновесная термодинамика, пер. с англ., М., 1964, гл. 11; Хаазе Р., Термодинамика необратимых процессов, пер. с нем., М., 1967, гл. 4.

Д. Н. Зубарев.

Е

ЕВКЛИ́ДОВА КВА́НТОВАЯ ТЕО́РИЯ ПО́ЛЯ (ЕКТП) — раздел квантовой теории поля и один из осн. методов *конструктивной квантовой теории поля*, в к-ром изучаются квантовополевые объекты (матричные элементы S-матрицы, *Уайтмена функции* и т. д.) в четырёхмерном евклидовом пространстве, в отличие от обычного подхода, в к-ром те же объекты изучаются в четырёхмерном пространстве-времени Минковского. В основе ЕКТП лежит тот факт, что решения временно́го ур-ния Шрёдингера как в квантовой механике, так и в КТП аналитически продолжаются по времени t в ниж. полуплоскость $t\to-i\tau$. Это является следствием предположения о положительности энергий физ. состояний, т. е. ограниченности полного гамильтониана системы снизу, что соответствует предположению о стабильности физ. мира.

Впервые идея перехода к мнимым временам и замены индефинитной метрики Минковского положительно определённой евклидовой метрикой появилась в работе Ф. Дж. Дайсона (F. J. Dyson) в нач. 1950-х гг. Затем предложение рассматривать продолжения ф-ций Грина в область мнимых времён выдвинули Е. С. Фрадкин, Т. Накано (T. Nakano), Дж. К. Вик (G. C. Wick) и Ю. Швингер (J. Schwinger). В 1975 К. Остервальдер (K. Osterwalder) и Р. Шрадер (R. Schrader) сформулировали необходимые и достаточные условия, при к-рых описания квантовополевых систем в ЕКТП и в обычном подходе полностью совпадают. Бурный расцвет ЕКТП был связан с открытием, что евклидово квантовое поле может интерпретироваться как обобщённое случайное поле, что позволило применить в ЕКТП методы статистич. физики и теорию гауссовых случайных процессов. Это привело к существ. прогрессу в конструктивной квантовой теории поля. С др. стороны, методы ЕКТП позволили получить ряд новых результатов в статистич. физике.

Лит.: Саймон Б., Модель $P(\varphi)_2$ евклидовой квантовой теории поля, пер. с англ., М., 1976; Евклидова квантовая теория поля. Марковский подход. Сб. ст., пер. с англ., М., 1978.

Г. В. Ефимов.

ЕВКЛИ́ДОВО ПРОСТРА́НСТВО — конечномерное векторное пространство с положительно определённым *скалярным произведением*. Является непосредств. обобщением обычного трёхмерного пространства. В Е. п. существуют декартовы координаты, в к-рых скалярное произведение (xy) векторов $x=(x_1,\ldots,x_n)$ и $y=(y_1,\ldots,y_n)$ имеет вид $(xy)=x_1y_1+\ldots+x_ny_n$. В произвольных координатах скалярное произведение по определению удовлетворяет условиям: 1) $(xx)\geqslant0$, $(xx)=0$ лишь при $x=0$; 2) $(xy)=(yx)^*$; 3) $(\alpha xy)=\alpha(xy)$; 4) $(x\{y+z\})=(xy)+(xz)$, где α — любое комплексное число, * означает комплексное сопряжение. В Е. п. имеет место неравенство Коши — Буняковского $|(xy)|^2\leqslant(xx)(yy)$. Число $|x|=\sqrt{(xx)}$ наз. нормой (или длиной)