

КЛАПЕЙРОНА — КЛАУЗИУСА УРАВНЕНИЕ — выражает связь наклона кривой равновесия двух фаз с теплотой фазового перехода и изменением фазового объёма. Согласно К.—К. у., вдоль кривой фазового равновесия

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L_{12}}{T(V_2 - V_1)},$$

где L_{12} — уд. теплота фазового перехода 1→2 (испарения, плавления, сублимации), $V_2 - V_1$ — скачок объёма, V_1, V_2 — уд. (мольные) объёмы фаз, T — абс. темп-ра, p — давление.

К.—К. у. получено Б. П. Э. Клапейроном в 1832 для фазового равновесия жидкости с паром с помощью *Карно теоремы*. Р. Клаузиус (R. Clausius) в 1850 дал его термодинамический вывод для любого фазового перехода 1-го рода.

К.—К. у. является следствием общего условия равновесия фаз Гиббса — равенства их хим. потенциалов ($\mu_1 = \mu_2$), из к-рого следует, что вдоль кривой равновесия фаз выполняется равенство

$$\frac{dp}{dT} = \frac{S_2 - S_1}{V_2 - V_1},$$

где $S_2 - S_1$ — скачок энтропии при фазовом переходе 1→2; скачок энтропии связан с теплотой перехода соотношением: $L_{12} = (S_2 - S_1)T$. Из К.—К. у. следует, что темп-ра фазового перехода изменяется с давлением согласно ур-нию

$$\frac{dT}{dp} = \frac{T(V_2 - V_1)}{L_{12}}.$$

Для фазовых переходов с поглощением теплоты ($L_{12} > 0$) знак dp/dT определяется знаком разности $V_2 - V_1$. Для испарения и сублимации $dp/dT > 0$, т. к. уд. объём пара V_2 больше уд. объёма конденсированной фазы V_1 , и темп-ра фазового перехода повышается с ростом давления. Для плавления возможен случай, когда $dp/dT < 0$, т. к. для нек-рых веществ (воды, висмута, чугуна и др.) $V_2 < V_1$. В этом случае темп-ра плавления понижается с ростом давления.

Лит. см. при ст. Термодинамика.

Д. Н. Зубарев.

КЛАССИЧЕСКИЙ РАДИУС ЭЛЕКТРОНА — фундам. константа размерности длины, входящая во мн. ф-лы классич. и квантовой электродинамики, $r_0 = e^2/m_e c^2 = 2,81794 \cdot 10^{-13}$ см (e и m_e — заряд и масса электрона). К. р. э. имеет смысл радиуса заряж. шара с зарядом e (распределённым сферически-симметрично), при к-ром энергия эл.-статич. поля шара $\mathcal{E} = \gamma e^2/r_0$ (γ — коэф. ~ 1 , характеризующий распределение заряда по радиусу) равна энергии покоя электрона $m_e c^2$. В нек-рых задачах классич. электродинамики электроны ведут себя как частица с радиусом r_0 . Напр., полное сечение рассеяния эл.-магн. волн ($h\nu \ll m_e c^2$, ν — частота) одиночным электроном имеет порядок площади круга с радиусом r_0 (см. *Томпсоновское рассеяние света*).

К. р. э. определяют малые расстояния, на к-рых классич. электродинамика становится внутренне противоречивой. Однако расхождение между классич. электродинамикой и опытом начинает наблюдаться на значительно больших расстояниях — расстояниях порядка *комптоновской длины волны* электрона $\lambda_C = r_0/\alpha \approx 137 r_0$, на к-рых становятся существенными квантовые эффекты (α — *тонкая структура постоянная*).

КЛАССЫ КРИСТАЛЛОВ — см. в ст. *Точечные группы симметрии*.

КЛАСТЕР (англ. cluster, букв. — пучок) — система из большого числа слабо связанных атомов или молекул. К. занимают промежуточное положение между *ван-дер-ваальсовыми молекулами*, содержащими нек. атомов или молекул, и мелкодисперсными частицами (аэрозолями). Если К. содержит ион, то он наз. *кластерным ионом* или *ионным К.*; в этом случае энергия связи, отнесённая к одной молекуле, обычно выше, чем в *ван-дер-ваальсовых молекулах*. К. можно характеризовать макроскопич. параметрами, к-рые по мере увеличения

числа частиц в нём приближаются к соответствующим характеристикам частиц дисперсной конденсированной фазы. Макроскопич. параметры малых К. могут зависеть монотонно от числа образующих их атомов или молекул. В частности, проявлением этого является существование магич. чисел — энергетически наиболее выгодного числа элементарных частиц в К. К. эффективно образуются в пересыщ. паре, при истекании газа из сопла, являясь центрами конденсации и промежуточной стадией образования капелек жидкости.

Понятием К. как системы большого числа слабо связанных нуклонов в ядре пользуются в кластерной модели ядра (см. *Нуклонных ассоциаций модель ядра*).

Лит. см. при ст. Кластерные ионы.

Б. М. Смирнов.

КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА — то же, что *нуклонных ассоциаций модель ядра*.

КЛАСТЕРНЫЕ ИОНЫ — сложные ионы, состоящие из простых ионов (положительных или отрицательных) и комплексов атомов или молекул, причём эти компоненты в составе К. и. сохраняют свою индивидуальность. К. и., содержащий простой ион A^+ и атомную нейтральную частицу B , обозначается как A^+B . Напр., К. и. $K^+ \cdot (H_2O)_n$ состоит из положит. иона калия и n молекул воды. К. и. наз. также *комплексными ионами*.

Компоненты К. и. мало изменяют свои параметры, к-рыми они характеризуются в изолированном виде, что означает отсутствие обычной *химической связи* в К. и. Поэтому энергия диссоциации К. и. меньше, чем энергия хим. связи. С др. стороны, энергия диссоциации К. и. значительно больше энергии диссоциации *ван-дер-ваальсовых молекул*, представляющих собой совокупность двух или неск. молекул (или атомов) в газовой фазе (напр., $Ar_2, He_2, CsHg$ и т. д.), у к-рых связь осуществляется за счёт дальнедействующих *ван-дер-ваальсовых сил*. Связь в К. и. прочнее, чем в *ван-дер-ваальсовых молекулах*, т. к. взаимодействия с участием заряж. частиц сильнее, чем для нейтральных частиц, к тому же в К. и. обычно имеется слабое перераспределение заряда у нейтральной компоненты, заметно усиливающее связь. Т. о., по энергии диссоциации К. и. занимают промежуточное место между молекулами и молекулярными ионами с хим. связью, а также *ван-дер-ваальсовыми молекулами* (рис.).

Относительно небольшая энергия диссоциации К. и. приводит к тому, что они могут эффективно разрушаться и образовываться при тепловых энергиях. Это создаёт большое разнообразие К. и. в зависимости от темп-ры, давления и др. условий, в к-рых находится система. Напр., в парах воды при темп-ре порядка комнатной наблюдаются положит. К. и. $H_3O^+ \cdot (H_2O)_n$, $n=0 \div 3$, и отрицат. К. и. ионы $OH^- \cdot (H_2O)_n$, $n=1 \div 4$.

К. и. проявляются в разных процессах, протекающих в газе и плазме. В табл. представлен перечень воз-

Процесс	Схема процесса
Образование при тройных столкновениях	$A^+ \cdot B + M \rightarrow A^+ \cdot B + M$
Разрушение при парных столкновениях	$A^+ \cdot B + M \rightarrow A^+ + B + M$
Переходы между сортами кластерных ионов	$A^+ \cdot B + C \rightarrow A^+ \cdot C + B$
Рекомбинации с электронами	$A^+ \cdot B + e \rightarrow A + B$
Взаимная нейтрализация	$A^+ \cdot B + C^- \rightarrow A + B + C$
Фотораспад	$A^+ \cdot B + h\nu \rightarrow A^+ + B$

можных процессов образования и распада К. и. Схемы процессов даны для положит. ионов, но точно такие же процессы возможны и для отрицательных.

Важную роль К. и. играют как ядра конденсации при конденсации паров воды и др. веществ в объёме, когда давление паров превышает давление насыщ. пара