

эф. теплового расширения $V^{-1}(\partial V/\partial T)_P$ и изохорный коэф. давления $(\partial P/\partial T)_V$ стремятся к нулю. Т. н. т. не применимо к веществам, к-рые не находятся в состоянии полного статистич. равновесия, напр. к аморфным телам (см. *Аморфное состояние*) или неупорядоченным сплавам, к-рые могут существовать и при очень низких темп-рах как «замороженные» метастабильные состояния с очень большим временем жизни. Сомнения в справедливости Т. н. т. высказывались в связи с его неприменимостью к подобным веществам. Статистич. механика квантовых систем проясняет физ. смысл теоремы Нернста. Принцип Больцмана в формулировке Планка связывает энтропию со *статистическим весом* состояния W соотношением

$$S = k \ln W. \quad (3)$$

При $T=0\text{K}$

$$S_0 = k \ln W_0; \quad (4)$$

если осн. состояние невырождено, то $W_0 = 1$ и $S_0 = 0$.

Однако, как показано Х. Крамерсом (Н. А. Кратерс) и Х. Казимиром (Н. В. Casimir), дискретность уровней лишь косвенно связана со стремлением энтропии к нулю. Даже если осн. уровень вырожден и $W_0 \gg 1$, но *термодинамический предел* $\lim_{V \rightarrow \infty} [\ln W_0/V] = 0$, то можно считать, что $S_0 = 0$.

Для макроскопич. тел квантовые уровни расположены чрезвычайно плотно и расстояние между ними стремится к нулю в термодинамич. пределе. Влияние дискретности квантовых уровней на поведение энтропии при стремлении темп-р к нулю могло бы быть обнаружено лишь при очень низких темп-рах, не достижимых экспериментально. Наблюдаемое поведение энтропии проявляется при гораздо более высоких темп-рах (когда длина волны де Бройля, соответствующая энергии ср. теплового движения частиц, становится сравнимой со ср. расстоянием между ними) и связано с явлением квантового вырождения газов и жидкостей (см. *Вырожденный газ*, *Вырождения температура*).

Темп-ра Θ_1 (в энергетич. единицах), при к-рой начала бы сказываться дискретность уровней, равна разности энергий первого возбужденного уровня ϵ_1 и осн. уровня ϵ_0 , т.е. $\Theta_1 = \epsilon_1 - \epsilon_0$, а поскольку спектр макроскопич. тел практически непрерывен, это очень низкие ненаблюдаемые темп-ры. Напр., для идеального газа из атомов с массой m в объеме $V = L^3$

$$\epsilon_1 - \epsilon_0 = \frac{\hbar^2}{2m} k_{\min}^2 = \hbar^2 / (2m V^{2/3}), \quad (5)$$

где $k_{\min} = 2\pi/L$ — мин. значение волнового вектора. Для кристаллич. решеток

$$\epsilon_1 - \epsilon_0 = \hbar v_s k_{\min} = \hbar v_s / V^{1/3}, \quad (6)$$

где v_s — скорость звука в среде.

В действительности поведение энтропии, требуемое Т. н. т., начинает проявляться при значительно более высоких темп-рах. Для идеального *бозе-газа* соответствующее поведение энтропии начинает проявляться при темп-рах порядка темп-ры вырождения:

$$\Theta_0 = \frac{\hbar^2}{m} \left(\frac{N}{V} \right)^{2/3}, \quad (7)$$

а для идеального *ферми-газа* — при темп-рах, соответствующих макс. энергии частиц при абс. нуле темп-ры (*ферми-энергии*); величина этой темп-ры определяется тем же выражением (7), но для электронов в металле Θ_0 может быть очень большой ($\sim 10^4 \text{K}$) из-за малости их *эффективных масс*.

Для кристаллич. решеток Т. н. т. начинает проявляться при темп-рах порядка *Дебая температуры*:

$$\Theta_D = \hbar v_s \left(\frac{6\pi^2 N}{V} \right)^{1/3}$$

Пропорциональность темп-ры вырождения постоянной Планка показывает, что Т. н. т. связано с квантовыми свойствами системы.

В отличие от первого и второго начал термодинамики, нет общего доказательства Т. н. т. на основе статистич. механики. Для того чтобы обосновать Т. н. т. для общего случая, нужно было бы исследовать распределение собственных значений *гамильтониана* системы вблизи осн. уровня. Во всех случаях, когда ниж. часть спектра можно представить в виде идеального газа квазичастиц (ферми-или бозе-типа), Т. н. т. оказывается выполненным.

Лит.: 1) Ван-дер-Ваальс И. Д., Констамм Ф., Курс термостатики, пер. с нем., ч. 1, М., 1936, гл. 2; 2) Хаар Д., Вергеланд Г., Элементарная термодинамика, пер. с англ., М., 1968; 3) Кубо Р., Термодинамика, пер. с англ., М., 1970; 4) Wilks J., The Third law of thermodynamics, Oxf., 1961; 5) Клейн М., Законы термодинамики, в сб.: Термодинамика необратимых процессов, пер. с англ., М., 1962; 6) Зубарев Д. Н., Неравновесная статистическая термодинамика, М., 1971, § II; 7) Casimir H. В., Über die statistische Begründung des nernstischen Wärmethorems, «Z. Phys.», 1963, Bd 171, S. 246.

Д. Н. Зубарев.

ТРЕТЬЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ — см. *Космическая скорость*.

Трибололюминесценция — *люминесценция*, возникающая при растирании, раздавливании или раскалывании кристаллич. тел. Причины Т. различны: в нек-рых случаях она объясняется возбуждением *фотолюминесценции* электрич. разрядами, происходящими при раскалывании кристаллич. тела, в др. случаях она вызывается движением *дислокаций* при деформации.

Трибометрия — система методов и средств измерения сил трения, фрикционного разогрева, износа и несущей способности трущихся тел, а также определения шероховатости, контактной деформации при разл. видах трения и изнашивания с обязательной оценкой погрешности измерений. Измерения и оценки, полученные непосредственно в процессе фрикционного взаимодействия, позволяют простыми расчётами определить величины коэф. трения, интенсивности изнашивания, допустимых нагрузок, скоростей и темп-р (последнее особо важно при использовании смазки).

Силу трения измеряют по углу закручивания вала, по потребляемой мощности, по деформации силоизмерителя — упругого элемента (динамометра), воспринимающего нагрузку. Чаще всего используют электрич. силоизмерители, включающие в себя чувствит. элемент, преобразователь, усилитель и регистрирующий прибор. Обычно применяют тензорезисторные и индуктивные преобразователи, а также цифровые приборы. Наряду с контактными методами замера скорости и темп-ры (тахогенераторы, термометры) получают распространение бесконтактные методы (напр., фотоэлектрический и инфракрасный).

Т. реализуется, напр., с помощью универсальных машин трения, имеющих соответственно общие измерит. системы и общий привод для неск. испытат. схем. При этом производятся замеры сил трения, темп-ры, нагрузки, частоты вращения, а также автоматизированное управление экспериментом и обработкой его результатов, что позволяет с учётом стохастич. природы трения учесть виды распределения параметров, оценить их дисперсию, погрешности при определении фрикционно-износных характеристик. Это важно для сопоставления результатов испытаний, осуществляемых на разл. машинах, а особенно при сопоставлении результатов ускоренных испытаний, основанных на моделировании трения и изнашивания. Испытания, выполняемые на разл. машинах трения, проводятся, как минимум, в три этапа (т.н. рациональный цикл испытаний): определение области применения триботехн. материалов (включая смазки) по нагрузке, скорости и темп-ре (напр., получение характеристик фрикционной теплостойкости, т.е. зависимости коэф. трения и интенсивности износа от темп-ры при разл. давлениях); модельные испытания на малогабаритных образцах с учётом масштабных коэф. перехода от модели к натуре и стендовые натурные (или модельные) испытания узла трения в целом.