

## Тема урока: **Температура. Энергия теплового движения молекул**

На уроке рассматриваются понятия: температура и тепловое равновесие; шкалы Цельсия и Кельвина; абсолютная температура как мера средней кинетической энергии теплового движения частиц вещества, зависимость давления от концентрации молекул и температуры.

### **Теоретический материал для самостоятельного изучения**

Измеряя расположение звёзд на небе, расстояния на земле, время, люди знали, для чего они это делают и изобретали, телескопы, часы, прототипы современных линеек. О температуре такого же сказать было нельзя. О том, что такое тепловое равновесие и что означает степень нагрева тела (температура), существовали разные мнения. Но человек с незапамятных времен точно знал, что, когда два тела плотно соприкасаются, между ними устанавливается, выражаясь современным языком, тепловое равновесие.

Любое макроскопическое тело или группа макроскопических тел при неизменных внешних условиях самопроизвольно переходят в состояние теплового равновесия.

**Тепловым равновесием** называют такое состояние тел, при котором температура во всех точках системы одинакова.

**Температура** (от лат. *temperatura* — надлежащее смешение, соразмерность, нормальное состояние) - физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы.

К числу характеристик состояния макроскопических тел (твёрдых тел, жидкостей, газов) и процессов изменения их состояний, относят объём, давление и температуру. Эти величины описывают в целом тела, состоящие из большого числа молекул, а не отдельные молекулы. При этом микроскопические процессы внутри тела не прекращаются при тепловом равновесии: расположения молекул всё время меняются и меняются их скорости при столкновениях.

Величины объём, давление и температуру, характеризующие состояние макроскопических тел без учёта их молекулярного строения, называют **макроскопическими параметрами**.

**Тепловым или термодинамическим равновесием**, изолированной системы тел, называют состояние, при котором все макроскопические параметры в системе остаются неизменными.

Для точной характеристики нагретости тела, необходим прибор, способный измерить температуры тел и дать возможности их сравнения.

**Термометр** — это прибор для измерения температуры путём контакта с исследуемым телом. Различают жидкостные, газовые термометры, термопары, термометры сопротивления.

В 1597 году Галилей создал **термоскоп**, в собственных сочинениях учёного нет описания этого прибора, но его ученики засвидетельствовали этот факт. Аппарат представлял собой устройство для поднятия воды при помощи нагревания.

Изобретение термометра, данные которого не зависели бы от перепадов атмосферного давления, произошли благодаря экспериментам физика Э. Торричелли, ученика Галилея.

Во всех приборах, изобретённых в XVIII веке, измерение температуры было относительно расширению столбика воды, спирта или ртути и произвольности выбора начала отсчёта, т.е. нулевой температуры. Наполняющие их вещества замерзали или кипели и этими термометрами нельзя было измерять очень низкие или очень высокие температуры. Необходимо было изобрести такую шкалу, чтобы избавиться от зависимости выбранного вещества, на основе которого формировалось градуирование.

Шкала, предложенная шведским учёным Андерсом Цельсием в 1742 г., точно устанавливала положение двух точек: 0 и 100 градусов. По шкале Цельсия температура обозначается буквой  $t$ , измеряется в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ).

На территории Англии и США используется шкала Фаренгейта. Такая шкала была предложена немецким учёным Даниелем

Габриелем Фаренгейтом в 1724 г.: 0 °F — температура смеси снега с нашатырём или поваренною солью, 96 °F — температура здорового человеческого тела, во рту или под мышкой.

Рене Антуан де Реомюр не одобрял применения ртути в термометрах вследствие малого коэффициента расширения ртути. В 1730 году изобрёл водно-спиртовой термометр и предложил шкалу от 0 до 80°.

Шкала Реомюра очень долго использовалась на родине учёного во Франции вплоть до настоящего времени.

Различные жидкости при нагревании расширяются не одинаково. Поэтому расстояния на шкале между нулевой отметкой 0 °C и 100 °C будут разными.

Однако существует способ создать тело, которое приближенно обладает нужными качествами. Это идеальный газ. Было замечено, что в отличие от жидкостей все разряжённые газы – водород, гелий, кислород – расширяются при нагревании одинаково и одинаково меняют своё давление при изменении температуры. Это свойство газов позволяет избавиться в термометрах от одного существенного недостатка шкалы Цельсия – произвольности выбора начала отсчёта, то есть нулевой температуры.

При тепловом равновесии, если давление и объём газа массой  $m$  постоянны, то средняя кинетическая энергия молекул газа должна иметь строго определённое значение, как и температура.

Практически такую проверку произвести непосредственно невозможно, но с помощью основного уравнения молекулярно-кинетической теории её можно выразить через макроскопические параметры:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

$$n = \frac{N}{V}; p = \frac{2N}{3V} \bar{E}; p \frac{N}{V} = \frac{2}{3} \bar{E}; N = \frac{m}{M} N_A; \frac{pMV}{mN_A} = \frac{2}{3} \bar{E}$$

$$\bar{E} = \frac{3}{2} \frac{pV}{N} = \frac{3pMV}{2mN_A}$$

Если кинетическая энергия действительно одинакова для всех газов в состоянии теплового равновесия, то и значение давления  $p$  должно быть тоже одинаково для всех газов при постоянном значении отношения объёма к числу молекул. Подтвердить или опровергнуть данное предположение может только опыт.



Возьмём несколько сосудов, заполненных различными газами, например, водородом, гелием и кислородом. Сосуды имеют определённые объёмы и снабжены манометрами, для измерения давления газов в сосудах. Массы газов известны, тем самым известно число молекул в каждом сосуде. Приведём газы в состояние теплового равновесия. Для этого поместим их в тающий лёд и подождём, пока не установится тепловое равновесие и давление газов перестанет меняться.

Здесь устанавливается тепловое равновесие и все газы имеют одинаковую температуру 0 °С. При этом показания манометра показывают разное давление  $p$ , объёмы сосудов  $V$  изначально были разными и число молекул  $N$  различно, так как газы, закаченные в баллоны разные. Найдём отношение для водорода всех параметров для одного моля вещества:

$$\frac{pV}{N_A} = \frac{2,265 \cdot 10^4 \cdot 0,1 \text{ м}^3}{6,02 \cdot 10^{23}} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Такое значение отношения произведения давления газа на его объём к числу молекул получается для всех газов при температуре тающего льда. Обозначим это отношение через  $\Theta_0$  (тета нулевое):

$$\frac{pV}{N} (\text{H}_2) = \frac{pV}{N} (\text{He}) = \frac{pV}{N} (\text{O}_2) = \Theta_0$$

Таким образом, предположение, что средняя кинетическая энергия, а также давление  $p$  в состоянии теплового равновесия

одинаковы для всех газов, если их объёмы и количества вещества одинаковы или если отношение

$$\frac{pV}{N} = \text{const}$$

Если же сосуды с газами поместить в кипящую воду при нормальном атмосферном давлении, то согласно эксперименту, отношение макроскопических параметров будет также одинаковым для всех газов, но значение будет больше предыдущего

$$\frac{pV}{N_A} = \Theta_{100} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Отсюда следует, что величина  $\Theta$  растёт с повышением температуры и не зависит от других параметров, кроме температуры. Этот опытный факт позволяет рассматривать величину  $\Theta$  тета как естественную меру температуры и измерять в энергетических единицах — джоулях.

А теперь вместо энергетической температуры введём температуру, которая будет измеряться в градусах. Будем считать величину тета  $\Theta$  прямо пропорциональной температуре  $T$ , где  $k$ - коэффициент пропорциональности

$$\Theta = kT$$

Так как  $\frac{pV}{N} = \Theta$ , то тогда  $\frac{pV}{N} = kT$

По этой формуле вводится температура, которая даже теоретически не может быть отрицательной, так как все величины левой части этого равенства больше или равны нулю. Следовательно, наименьшим значением этой температуры является нуль, при любом другом параметре  $p$ ,  $V$ ,  $N$  равным нулю.

Предельную температуру, при которой давление идеального газа обращается в нуль при фиксированном объёме или при которой объём идеального газа стремится к нулю при неизменном давлении, называют **абсолютным нулём температуры**.

Тепловое движение молекул непрерывно и бесконечно, а при абсолютном нуле молекулы поступательно не двигаются. Следовательно, абсолютный нуль температур при наличии молекул вещества не может быть достигнут. Абсолютный нуль температур — это самая низкая температурная граница, верхней не существует, та «наибольшая или последняя степень холода», существование которой предсказывал М.В. Ломоносов.

В 1848 г. английскому физика Вильяму Томсону (лорд Кельвин) удалось построить абсолютную температурную шкалу (её в настоящее время называют шкалой Кельвина), которая имеет две основные точки 0 К (или абсолютный нуль) и 273К, точка в которой вода существует в трёх состояниях (в твёрдом, жидком и газообразном).

**Абсолютная температурная шкала** — шкала температур, в которой за начало отсчёта принят абсолютный нуль. Температура здесь обозначается буквой Т и измеряется в кельвинах (К).

На шкале Цельсия, есть две основные точки: 0°С (точка, в которой тает лёд) и 100°С (кипение воды). Температура, которую определяют по шкале Цельсия, обозначается t. Шкала Цельсия имеет как положительные, так и отрицательные значения.

Из опыта мы определили значения величины  $\Theta$  (тета) при 0 °С и 100 °С. Обозначим абсолютную температуру при 0 °С через  $T_1$ , а при 100 °С через  $T_2$ . Тогда согласно формуле:

$$\Theta = kT$$

$$\Theta_{100} - \Theta_0 = k \cdot (T_2 - T_1),$$

$$\Theta_{100} - \Theta_0 = k \cdot 100 \text{ К} = (5,14 - 3,76) \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Отсюда можно вычислить коэффициент  $k$ , который связывает температуру в  $\Theta$  энергетических единицах (Дж) с абсолютной температурой Т (К)

**$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  - постоянная Больцмана.**

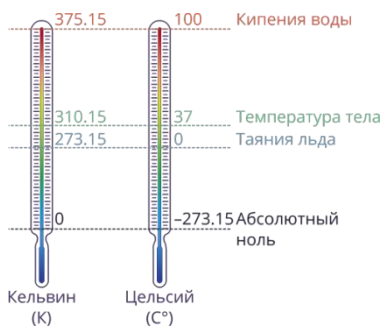
Зная постоянную Больцмана, можно найти значение абсолютного нуля по шкале Цельсия. Для этого найдём сначала значение абсолютной температуры, соответствующее 0°С:

$$kT_1 = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж, то } T_1 = \frac{3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}}{k \text{ Дж/К}}$$

$$T_1 = \frac{3,76 \cdot 10^{-21}}{1,38 \cdot 10^{-23}} \text{ К} \approx 273 \text{ К} - \text{значение абсолютной температуры.}$$

Один кельвин и один градус шкалы Цельсия совпадают. Поэтому любое значение абсолютной температуры  $T$  будет на 273 градуса выше соответствующей температуры  $t$  по Цельсию:

$$T (\text{К}) = (t + 273)(^\circ\text{C}) \text{ или } t = (T - 273) ^\circ\text{C}$$



Теперь выведем ещё одну зависимость температуры от средней кинетической энергии молекул. Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории и уравнения для определения абсолютной температуры

$$\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} E$$

$$\frac{pV}{N} = \theta \text{ или } \frac{pV}{N} = kT$$

Здесь видно, что левые части этих уравнений равны, значит правые равны тоже.

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

**Средняя кинетическая энергия хаотического поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре.**

**Абсолютная температура** есть мера средней кинетической энергии движения молекул.

Из выведенных формул мы можем получить выражение, которое показывает зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$\frac{pV}{N} = kT$$

$$p = \frac{NkT}{V} \text{ или}$$

$$p = nkT$$

Из этой зависимости вытекает, что при одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одна и та же. Отсюда следует закон Авогадро, известный нам из курса химии.

**Закон Авогадро:** в равных объёмах газов при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул.

**Рассмотрим задачи тренировочного блока урока.**

1. При температуре \_\_\_\_\_ ( $37^{\circ}\text{C}$ ;  $283^{\circ}\text{C}$ ;  $27^{\circ}\text{C}$ ) средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул равна  $6,21 \cdot 10^{-21}$  Дж.

**Дано:**

$$E_k = 6,21 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К - постоянная Больцмана

$t$  - ?

**Решение:**

Запишем значение средней кинетической энергии хаотического поступательного движения молекул с зависимостью от абсолютной температуры:

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

Отсюда выразим  $T$ :



$$T = \frac{2E_k}{3k}$$

$$T = \frac{2 \cdot 6.21 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}}{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}} = 3 \cdot 10^2 \text{ К} = 300 \text{ К}$$

Соотношение между абсолютной температурой и температурой в градусах Цельсия:

$$t = (T - 273) \text{ }^\circ\text{C}$$

Подставим значение абсолютной температуры:

$$t = (300 - 273) = 27^\circ\text{C}$$

**Правильный вариант ответа:**  $27^\circ\text{C}$

2. При температуре 290 К и давлении 0,8 МПа, средняя кинетическая энергия молекул равна \_\_\_\_\_ Дж, а концентрация составляет молекул \_\_\_\_\_  $\text{м}^{-3}$ .

**Дано:**

$$T = 290 \text{ К}$$

$$p = 0,8 \text{ МПа} = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} - \text{постоянная Больцмана}$$

$$E_k - ? \quad n - ?$$

**Решение:**

Значение средней кинетической энергии хаотического поступательного движения молекул:

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

Подставив значение абсолютной температуры, найдём ответ:

$$E_k = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 290 \text{ К}}{2} = 600,3 \cdot 10^{-23} \approx 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Определим концентрацию газа из соотношения:

$$p = nkT$$

$$n = \frac{p}{kT}$$

$$n = \frac{0,8 \cdot 10^6 \text{ Па}}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 290 \text{ К}} = 0,001999 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3} \approx 2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$$

**Правильный вариант ответа:  $6 \cdot 10^{-21}$ ;  $2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ .**

Домашнее задание: 1. Составить конспект.

Выполненные задания отправить на электронную почту

[Lelya.Stepanova.66@inbox.ru](mailto:Lelya.Stepanova.66@inbox.ru)