Средняя кинетическая энергия молекул газа при тепловом равновесии. Возьмём сосуд, разделённый пополам перегородкой, проводящей тепло. В одну половину сосуда поместим кислород, а в другую - водород, имеющие разную температуру. Спустя некоторое время газы будут иметь одинаковую температуру, не зависящую от рода газа, т.е. будут находиться в состоянии теплового равновесия. Для определения температуры выясним, какая физическая величина в молекулярно-кинетической теории обладает таким же свойством.

Из курса физики основной школы известно, что, чем быстрее движутся молекулы, тем выше температура тела. При нагревании газа в замкнутом сосуде давление газа возрастает. Согласно же основному уравнению молекулярно-кинетической ·теории (9. 7) давление газа прямо пропорционально средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

Так как концентрация молекул газа, то из уравнения (9. 7) получаем, согласно формуле.

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

Можно предположить, что при тепловом равновесии именно средние кинетические энергии молекул всех газов одинаковы.

Конечно, это пока только предположение. Его нужно экспериментально проверить. Практически такую проверку произвести непосредственно невозможно, так как измерить среднюю кинетическую энергию молекул очень трудно. Но с помощью основного уравнения молекулярно-кинетической теории её можно выразить через макроскопические параметры.

Если кинетическая энергия действительно одинакова для всех газов в состоянии теплового равновесия, то и значение давления должно быть тоже одинаково для всех газов при. Только опыт может подтвердить или опровергнуть данное предположение.

Газы в состоянии теплового равновесия. Рассмотрим следующий опыт. Возьмём несколько сосудов, заполненных различными газами, например водородом, гелием и кислородом. Сосуды имеют определённые объёмы и снабжены манометрами. Это позволяет измерить давление в каждом сосуде. 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 (рис. 9.4). После этого можно утверждать, что все газы имеют одинаковую температуру О 0 С. Давления газов р, их объёмы V и число молекул N различны. Найдём отношение для водорода. Если, к примеру, водород, количество вещества которого равно 1 моль, занимает объём, то при температуре О 0 С давление оказывается равным

Если взять водород в объёме, равном, то и число молекул будет равно и отношение останется равным.

Такое же значение отношения произведения давления газа на его объём к числу молекул получается и для всех других газов при температуре тающего льда. Обозначим это отношение через. Тогда.

Таким образом, наше предположение оказалось верным.

Средняя кинетическая энергия, а также давление р в состоянии теплового равновесия одинаковы для всех газов, если их объёмы и количества вещества одинаковы или если отношение.

Соотношение (9.10) не является абсолютно точным. При давлениях в сотни атмосфер, когда газы становятся весьма плотными, отношение перестаёт быть строго определённым, не зависящим от занимаемых газами объёмов. Оно выполняется для газов, когда их можно считать идеальными.

Если же сосуды с газами поместить в кипящую воду при нормальном атмосферном давлении, то согласно эксперименту отношение по-прежнему будет одним и тем же для всех газов, но больше, чем предыдущее.

Определение температуры. Можно, следовательно, утверждать, что величина 0 растёт с повышением температуры. Более того, 0 ни от чего, кроме температуры, не зависит. Ведь для идеальных газов 0 не зависит ни от рода газа, ни от его объёма или давления, а также от числа частиц в сосуде. Этот опытный факт позволяет рассматривать величину 0 как естественную меру температуры, как параметр газа, определяемый через другие макроскопические параметры газа. В принципе можно было бы считать температурой и саму величину 0 и измерять температуру в энергетических единицах - джоуля х. Однако, во-первых, зто неудобно для практического использования (температуре 100 °С соответствовало бы очень малое значение - порядка 1-0 21 Дж), а во-вторых, и это главное, уже давно температуру принято выражать в градусах.

Абсолютная температура.

Вместо температуры 0, выражаемой в энергетических единицах, введём температуру, выражаемую в привычных для нас градусах.

Будем считать величину 0 прямо пропорциональной температуре Т, измеряемой в градусах: - коэффициент пропорциональности.

Определяемая равенством (9.12) температура называется абсолютной.

Такое название, как мы сейчас увидим, имеет достаточные основания. Учитывая определение, получим.

По этой формуле вводится температурная шкала (в градусах}, не зависящая от вещества, используемого для измерения температуры.

Температура, определяемая формулой (9.1 3), очевидно, не может быть отрицательной, так как все величины, стоящие в левой части этой формулы, заведомо положительны. Следовательно, наименьшим возможным значением температуры является значение, если давление или объём равны 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.

Это самая низкая температура в природе, та наибольшая или последняя степень холода, существование которой предсказывал Ломоносов.

Английский учёный У. Томсон (лорд Кельвин) (1824- 1907) ввёл абсолютную шкалу температур. Нулевая температура по абсолютной шкале (её называют также шкалой Кельвина) соответствует абсолютному нулю, а каждая единица температуры по этой шкале равна градусу по шкале Цельсия.

Единица абсолютной температуры в СИ называется кельвином (обозначается буквой К).

Постоянная Больцмана. Определим коэффициент k в формуле (9.13) так, чтобы изменение температуры на один кельвин (1 К) было равно изменению температуры на один градус по шкале Цельсия (1 °С).

Мы знаем значения величины 0 при О 0 С и 100 ° С (см. формулы (9.9) и (9.11)). Обозначим абсолютную температуру при О 0 С через т" а при 100 ° С через Т?.. Тогда согласно формуле (9.12).

Коэффициент называется постоянной Больцмана в честь Л. Больцмана, одного из основателей молекулярно-кинетической теории газов.

Постоянная Больцмана связывает температуру 0 в энергетических единицах с температурой в кельвинах.

Это одна из наиболее важных постоянных в молекулярно-кинетической теории.

Зная постоянную Больцмана, можно найти значение абсолютного нуля по шкале Цельсия. Для этого найдём сна­ чала значение абсолютной температуры, соответствующее.

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

Изменение абсолютной температуры равно изменению температуры по шкале Цельсия.

На рисунке 9.5 для сравнения изображены абсолютная шкала и шкала Цельсия. Абсолютному нулю соответствует температура.

В США используется шкала Фаренгейта. Точка замерзания воды по этой шкале 32 °F, а точка кипения 212 °F. Пересчёт температуры из шкалы Фаренгейта в шкалу Цельсия производится по формуле t(°C) = 5/ 9 (t(°F) - 32).

Отметим важнейший факт: абсолютный нуль температуры недостижим!

Температура - мера средней кинетической энергии молекул. Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории (9.8) и определения температуры (9.13) вытекает важнейшее следствие: абсолютная температура есть мера средней кинетической энергии движения молекул.

Докажем это.

Из уравнений (9.7) и (9.13) следует, что и. Отсюда вытекает связь между средней кинетической энергией поступательного движения молекулы и температурой.

Средняя кинетическая энергия хаотичного поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре.

Чем выше температура, тем быстрее движутся молекулы. Таким образом, выдвинутая ранее догадка о связи температуры со средней скоростью молекул получила надёжное обоснование. Соотношение (9.16) между температурой и средней кинетической энергией поступательного движения молекул установлено для идеальных газов. Однако оно оказывается справедливым для любых веществ, у которых движение атомов или молекул подчиняется законам механики Ньютона. Оно верно для жидкостей, а так­ же и для твёрдых тел, где атомы могут лишь колебаться возле положений равновесия в узлах кристаллической решётки. При приближении температуры к абсолютному нулю энергия теплового движения молекул приближается к нулю, т.е. прекращается поступательное тепловое движение молекул.

Зависимость давления газа от концентрации его молекул и температуры. Учитывая, что из формулы (9.13) получим выражение, показывающее зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры.

Из формулы (9.17) вытекает, что при одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одна и та же.

Отсюда следует закон Авогадро, известный вам из курса химии.

В равных объёмах газов при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул.