



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

КАФЕДРА «ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по физике для иностранных студентов
предвузовского этапа обучения

«Молекулярная физика и термодинамика»

Часть 1

Авторы
Цветковская С.М.
Донец И.В.

Ростов-на-Дону, 2013



Аннотация

Учебное пособие предназначено для иностранных студентов предвузовской подготовки технического, естественнонаучного и медико-биологического профилей обучения. В пособии содержится объём учебной информации, необходимый для усвоения данного раздела физики. Включены вопросы и задания для самопроверки. Наглядный материал представлен в виде рисунков, графиков, таблиц.

Учебное пособие рекомендуется для аудиторной и самостоятельной работы студентов.

Авторы

Цветковская С.М., кандидат физико-математических наук, доцент

Донец И.В., кандидат физико-математических наук, доцент



Оглавление

Введение	4
1. Молекулярно-кинетическая теория (МКТ).....	5
1.1 Основные положения молекулярно-кинетической теории.....	5
1.2 Явления, которые подтверждают основные положения МКТ.....	5
2. Тепловые явления.....	6
2.1 Температура	6
2.2 Тепловое расширение тел.....	6
2.3 Термометры. Шкалы температур	7
3. Термодинамические процессы.....	9
3.1 Агрегатные состояния вещества	9
3.2 Нагревание и охлаждение тел	10
3.3 Фазовые переходы.....	11
3.4 Теплообмен. Уравнение теплового баланса	13
3.5 Удельная теплота сгорания.....	15
4. Идеальный газ	17
4.1 Экспериментальные газовые законы.....	17
4.2 Объединённый газовый закон (уравнение Клапейрона).....	21
4.3 Уравнения состояния идеального газа	23
4.4 Внутренняя энергия идеального газа	25
Вопросы и задания	27
Ключевые слова и словосочетания	29
Приложение 1 Масса атома. Молярная масса.....	30
Приложение 2 Насыщенный пар. Влажность воздуха	32
Приложение 3	34
Условные обозначения физических величин	34
Физические постоянные	35
Латинский алфавит	35
Греческий алфавит.....	36



ВВЕДЕНИЕ

Молекулярная физика и термодинамика изучают тепловые явления. Эти разделы отличаются различными методами при изучении тепловых явлений и физических свойств макроскопических тел.

Молекулярная физика изучает тепловые явления, физические свойства тел и веществ на основе их молекулярного строения и движения большой совокупности частиц. В молекулярной физике используют физические величины, которые характеризуют движение одной молекулы (масса, скорость, импульс, кинетическая и потенциальная энергии отдельной молекулы).

Микроскопические параметры – это физические величины, которые описывают движение отдельной молекулы.

Макроскопические свойства систем, состоящих из большого числа частиц, изучаются статистическим методом. Молекулярная физика основывается на **молекулярно-кинетической теории** строения вещества.

В термодинамике рассматриваются термодинамические системы – макроскопические объекты (тела и поля), которые могут обмениваться энергией. Для описания состояния термодинамической системы вводятся физические величины, которые называются термодинамическими параметрами (масса, давление, объём, температура тела).

Масса, давление, объём, температура – это **макро**скопические параметры. Они характеризуют свойства объекта как целого.



1. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ (МКТ)

Молекулярно-кинетической теорией называется учение, которое объясняет строение и свойства тел движением и взаимодействием атомов, молекул и ионов, из которых состоят тела.

Молекулярно-кинетическая теория изучает связь микро- и макро- параметров.

В основе молекулярно-кинетической теории лежат основные положения, которые полностью подтверждены экспериментально и теоретически.

1.1 Основные положения молекулярно-кинетической теории

1. Физические тела имеют дискретное строение. Они состоят из частиц (молекул, атомов, ионов).
2. Частицы находятся в непрерывном беспорядочном (хаотичном) движении.
3. Между частицами происходит взаимодействие, которое характеризуется силами притяжения и силами отталкивания.

1.2 Явления, которые подтверждают основные положения МКТ

Диффузия - физическое явление, при котором происходит самопроизвольное взаимное проникновение частиц одного вещества в другое при их контакте. Диффузия наблюдается в газах, жидкостях и твёрдых телах.

Броуновским движением называют непрерывное хаотическое движение частиц, помещённых в жидкость или газ в такие условия, что сила тяжести не влияет на их движение (взвешенные частицы). Причиной броуновского движения являются различные импульсы, с которыми молекулы жидкости действуют со всех сторон на броуновские частицы.

Строение и свойства твёрдых тел и жидкостей, свойства газов также подтверждают основные положения МКТ.



2. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

2.1 Температура

Физические процессы, связанные с нагреванием или охлаждением тел, изменением их агрегатного состояния, называют тепловыми явлениями. При изучении тепловых явлений вводится физическая величина – температура.

Температура тела – мера средней кинетической энергии хаотического поступательного движения его молекул.

$$\bar{E}_k = \frac{m_a \cdot \overline{V^2}}{2} = \frac{3}{2} kT,$$

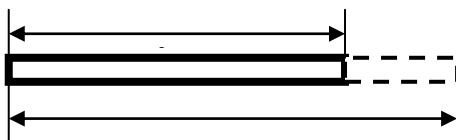
где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура. Единица термодинамической температуры кельвин (К).

При абсолютном нуле температуры средняя кинетическая энергия молекул равна нулю.

2.2 Тепловое расширение тел

Из опытов и наблюдений известно, что при нагревании размеры тел увеличиваются, а при охлаждении уменьшаются.

2.2.1 Линейное расширение тел. Коэффициент линейного расширения α



$$\alpha = \frac{l_T - l_0}{l_0 \cdot \Delta T},$$

Рис.1

где l_T – длина тела при температуре T ; l_0 – длина тела при температуре $T_0 = 273\text{K}$;

При изменения температуры на $\Delta T = T_T - T_0$ длина тела увеличилась на $\Delta l = l_T - l_0$.

α , K^{-1} – коэффициент линейного расширения равен относительному удлинению тела при его нагревании на 1К.

Формула для вычисления длины тела имеет вид :

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T).$$

2.2.2 Объёмное расширение тел. Коэффициент объёмного расширения β

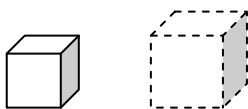


Рис.2

$$\beta = \frac{V_T - V_0}{V_0 \cdot \Delta T},$$

где V_T – объём тела при температуре T ; V_0 – объём тела при температуре $T_0=273$ К;

При изменении температуры на $\Delta T = T_T - T_0$ объём тела увеличился на $\Delta V = V_T - V_0$.

β , K^{-1} – коэффициент объёмного расширения равен отношению изменению объёма тела при его нагревании на 1К.

Формула для вычисления объёма тела имеет вид:

$$V = V_0(1 + \beta \cdot \Delta T).$$

Коэффициенты линейного α и объёмного β расширений связаны соотношением :

$$\beta \approx 3 \cdot \alpha.$$

2.3 Термометры. Шкалы температур

Явление расширения тел при нагревании используют в термометрах.

Термометры - это приборы для определения температуры тел.

Наиболее распространёнными температурными шкалами являются шкала Цельсия и шкала Фаренгейта, которые отличаются друг от друга выбором реперных (опорных) точек.

В шкале температур Цельсия температура таяния льда принята за $0^{\circ}C$, а температура кипения воды равна $100^{\circ}C$.

Связь между температурными шкалами Цельсия и Кельвина

$$t^{\circ}C = T - 273; \quad T = t^{\circ}C + 273; \quad 1 K = 1^{\circ}C.$$

Абсолютный нуль температуры ($T = 0 K = -273,15^{\circ}C$) – температура, при которой должно прекратиться движение молекул

Молекулярная физика и термодинамика

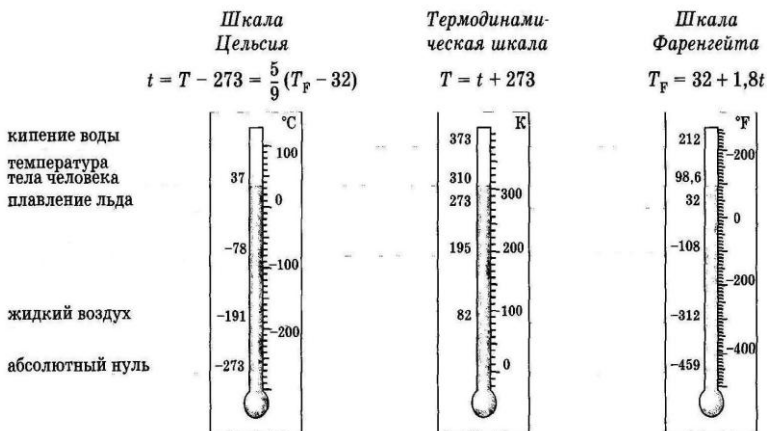


Рис.3

Реперные (опорные) точки	Шкала Цельсия	Шкала Кельвина
Температура таяния льда	0 ⁰ C	273 K
Температура кипения воды	100 ⁰ C	373 K

3. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

3.1 Агрегатные состояния вещества

Вещества в природе могут находиться в четырёх агрегатных состояниях: твёрдом, жидком, газообразном, плазменном.

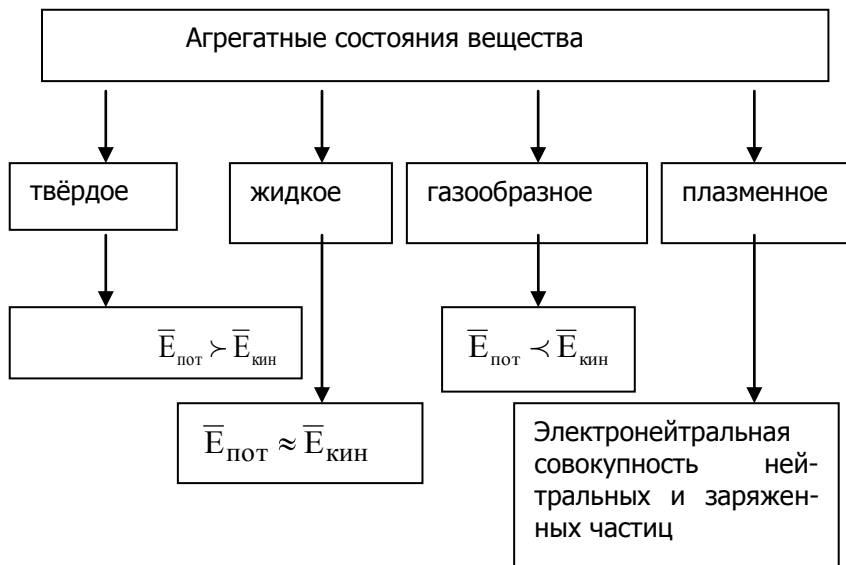


Рис.4

Тепловым движением называется хаотическое движение молекул, атомов и ионов в газах, твёрдых телах и жидкостях. Скорости теплового движения частиц вещества возрастают с повышением температуры и зависят от агрегатного состояния вещества.

Твёрдые тела имеют постоянную форму и объём. Тепловое движение частиц в твёрдых телах представляет собой хаотические колебания частиц относительно их положения равновесия – узлов кристаллической решётки. На Рис.5. показаны кристаллические решетки.

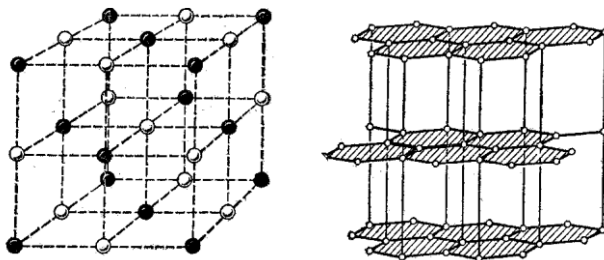


Рис.5

3.2 Нагревание и охлаждение тел

Нагревание – это процесс, при котором тело получает количество теплоты ΔQ .

Охлаждение – это процесс, при котором тело отдаёт количество теплоты ΔQ .

Единица количества теплоты – джоуль (Дж).

Количество теплоты ΔQ , которое необходимо для нагревания тела массой m от начальной температуры T_0 до температуры T , вычисляется по формуле:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot (T - T_0) = c \cdot m \cdot \Delta T,$$

где c – удельная теплоёмкость вещества.

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}.$$

Удельная теплоёмкость вещества c – это количество теплоты которое необходимо для нагревания 1 кг вещества на 1К. Единица удельной теплоёмкости вещества – джоуль на килограмм, кельвин (Дж/(кг·К)).

Теплоёмкостью тела C называется количество теплоты ΔQ , которое необходимо, чтобы нагреть тело на 1 К.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}.$$

Теплоёмкость тела (C) связана с удельной теплоёмкостью вещества (c) соотношением:

$$C = c \cdot m,$$

где m – масса тела.

Если известна теплоёмкость тела, то количество теплоты, необходимое для нагревания тела на ΔT , можно вычислить по формуле:

$$\Delta Q = C \cdot (T - T_0) = C \cdot \Delta T.$$



Количество теплоты ΔQ , которое выделяется телом массой m при охлаждении от температуры T до температуры T_0 , вычисляется по формуле:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot (T_0 - T) = c \cdot m \cdot \Delta T.$$

При охлаждении тело отдает такое же количество теплоты, какое оно получило при нагревании.

3.3 Фазовые переходы

В термодинамике фазой называется совокупность однородных, одинаковых по своим свойствам частей системы.

Фазовый переход (фазовое превращение) – это переход системы из одного фазового состояния в другое.

Например, лёд при нагревании переходит из твердой фазы в жидкую, при дальнейшем нагревании вода кипит и переходит в газообразную фазу – пар.

3.3.1 Плавление и кристаллизация

Плавление – это процесс превращения вещества из твердой фазы в жидкую.

Кристаллизация или отвердевание - это процесс превращения вещества из жидкой фазы в твердую.

Для каждого кристаллического вещества существует определенная температура плавления (при определенном давлении), равная температуре кристаллизации.

Количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела массой m , взятого при температуре плавления, вычисляется по формуле

$$\Delta Q_{\text{плавления}} = \lambda \cdot m,$$

где ΔQ – количество теплоты, λ - удельная теплота плавления, m – масса вещества.

Удельная теплота плавления λ - это количество теплоты, которое необходимо для перехода твердого кристаллического вещества из твердой фазы в жидкую при температуре плавления.

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{m}.$$

Единица удельной теплоты плавления - джоуль на килограмм (Дж/кг).



Молекулярная физика и термодинамика

При кристаллизации жидкости массой m выделяется такое же количество теплоты, которое было затрачено на плавление данной массы твёрдого вещества.

$$\Delta Q_{\text{кристаллизации}} = -\lambda \cdot m.$$

Поэтому λ называется также удельной теплотой кристаллизации.

3.3.2 Фазовый переход пар - жидкость

Процесс перехода вещества из жидкой фазы в газообразную называется парообразованием.

Переход из жидкой фазы в газообразную может происходить различными процессами: испарением или кипением.

Испарение – парообразование со свободной поверхности жидкости.

Скорость испарения зависит от *рода жидкости, температуры, площади поверхности, давления воздуха над поверхностью.*

Кипение – парообразование, которое происходит во всём объёме жидкости при определённой температуре.

Температура, при которой происходит кипение жидкости, называется температурой кипения.

Количество теплоты, которое необходимо для превращения массы m жидкости в пар при температуре кипения, определяется по формуле:

$$\Delta Q_{\text{парообразования}} = r \cdot m,$$

где r – удельная теплота парообразования.

Физическая величина, равная отношению количества теплоты, необходимого для превращения жидкости массой в 1кг в пар при температуре парообразования, к массе, называется удельной теплотой парообразования.

$$r = \frac{\Delta Q}{m}.$$

Единица удельной теплоты парообразования – 1 Дж/кг.

Обратный переход из газообразной фазы в жидкую называется конденсацией. Конденсация сопровождается выделением тепла.

При конденсации пар отдаёт то количество теплоты, которое было затрачено на его образование. Конденсация пара сопровождается выделением энергии.

Опыт показывает, что удельная теплота парообразования равна удельной теплоте конденсации.

$$\Delta Q_{\text{конденсации}} = -r \cdot m$$

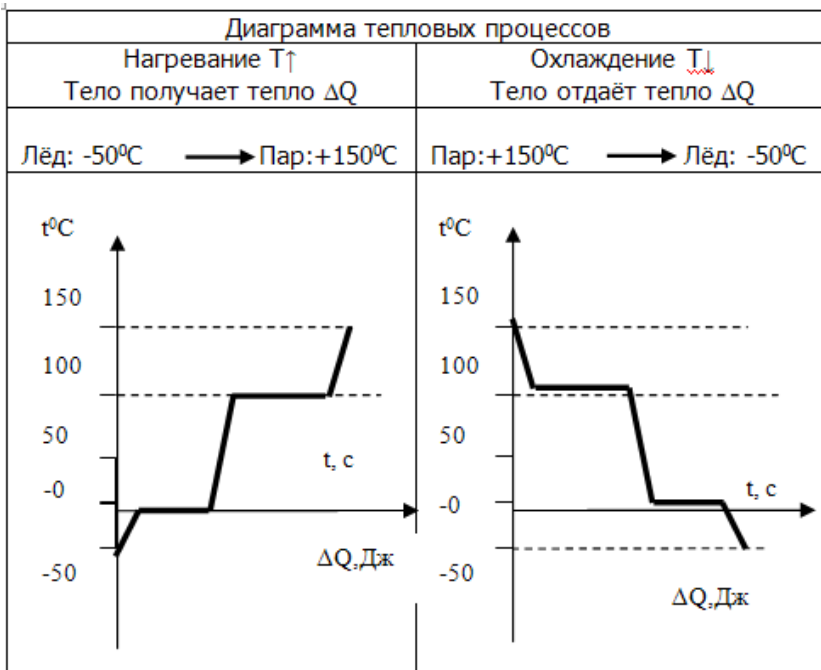


Рис.6

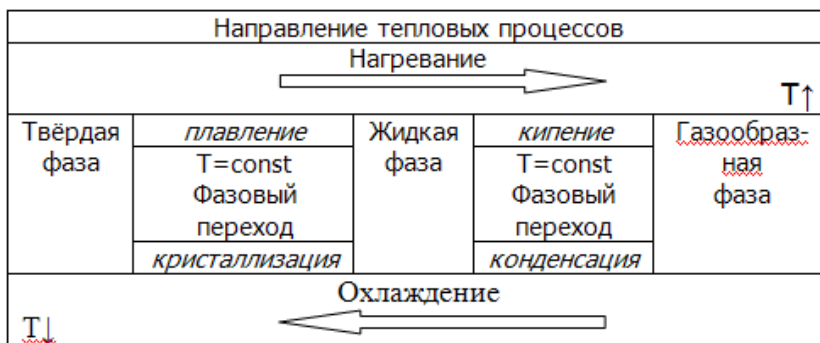


Рис.7

3.4 Теплообмен. Уравнение теплового баланса

Теплообмен – процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы. Мерой передачи энергии при теплообмене является количество теплоты ΔQ .

Процесс теплообмена всегда идёт в определённом на-



Молекулярная физика и термодинамика

правлении от горячего тела к холодному. Когда температуры тел становятся равными, процесс теплопередачи прекращается и наступает тепловое равновесие.

Существует три вида теплообмена: конвективный теплообмен, теплопроводность и теплообмен излучением.

Конвективным теплообменом называется передача теплоты движущимися неравномерно нагретыми частями газов, жидкостей (конвекционные потоки в жидкостях и газах), а также движением жидкостей и газов относительно твёрдых тел (батареи водяного отопления).

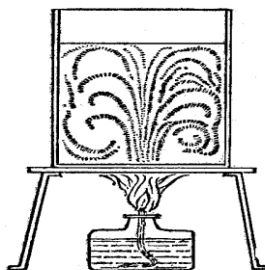


Рис. 8

Рис. 8 демонстрирует конвекционные потоки в жидкости при нагревании.

Явление теплопроводности состоит в передаче теплоты от одной части неравномерно нагретого тела к другой.

Теплообмен излучением происходит без непосредственного контакта тел, которые обмениваются энергией (солнечное излучение).

Замкнутой (изолированной) называется термодинамическая система, которая не обменивается энергией с внешней средой.

Примером изолированной системы является калориметр. Калориметр – это прибор, который служит для измерения количества теплоты (рис.9).

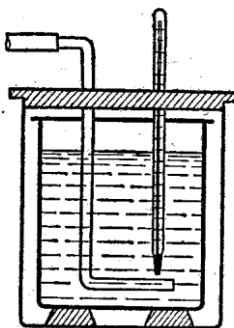


Рис.9

В замкнутой системе выполняется закон сохранения энергии:

полная энергия изолированной системы остаётся постоянной при любых процессах, в неё происходящих.

В изолированной системе в процессе теплообмена количество теплоты, которое горячее тело отдаёт, равно количеству теплоты, которое холодное тело получает.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$-\Delta Q_{\text{горячее}} = \Delta Q_{\text{холодное}}.$$

Если в теплообмене участвуют N горячих тел и M холодных тел, то уравнение теплообмена имеет вид:

$$-\sum_{i=1}^N \Delta Q_i = \sum_{j=1}^M \Delta Q_j.$$

При теплообмене горячие тела охлаждаются ($T \downarrow$), холодные нагреваются ($T \uparrow$).

3.5 Удельная теплота сгорания

Нагревание тел может происходить различными способами: при трении, при химических реакциях и т.д. Из химических реакций в качестве источника теплоты чаще всего используется реакция горения. В качестве топлива могут служить многие вещества: уголь, нефть, дрова, горючие газы. При сгорании разных видов топлива выделяется разное количество теплоты.



На рис.10 нагревательный прибор – это лабораторная спиртовка, топливом является спирт.

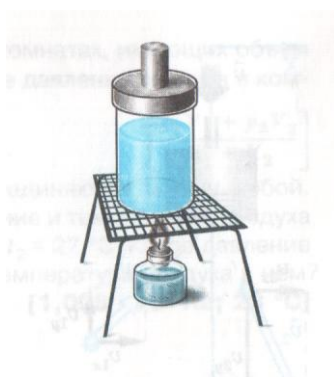


Рис.10

Количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании 1кг топлива, называется удельной теплотой сгорания топлива.

$$q = \frac{\Delta Q}{m},$$

где q – удельная теплота сгорания топлива или теплотворная способность топлива, единица удельной теплоты сгорания 1Дж/кг.

Всегда при сгорании топлива выделяется больше теплоты, чем используется в полезных целях.

Коэффициент полезного действия нагревателя η равен отношению количества полезной теплоты $\Delta Q_{\text{полезн.}}$ к количеству затраченной теплоты $\Delta Q_{\text{затрач.}}$:

$$\eta = \frac{\Delta Q_{\text{полезн.}}}{\Delta Q_{\text{затрач.}}}$$

Обычно коэффициент полезного действия выражается в процентах:

$$\eta = \frac{\Delta Q_{\text{полезн.}}}{\Delta Q_{\text{затрач.}}} \cdot 100\% .$$

4. ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

4.1 Экспериментальные газовые законы

В молекулярно - кинетической теории рассматривается идеализированная модель реальных газов.

Идеальный газ – это такая модель реального газа согласно которой газ состоит из материальных точек, между которыми отсутствуют силы взаимодействия и которые сталкиваются между собой по закону абсолютно упругого удара.

Условия идеальности газа:

- диаметр молекул много меньше среднего расстояния между ними;
- средняя кинетическая энергия молекул много больше средней потенциальной энергии их взаимодействия;
- молекулы взаимодействуют между собой и стенками упруго.

Атмосферный воздух является примером идеального газа.

Изопроцесс – процесс, при котором один из макроскопических параметров состояния данной массы газа остаётся постоянным.

4.1.1 Изотермический процесс

Изотермический процесс – процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянной температуре ($m=\text{const}$; $T=\text{const}$).

Закон Бойля-Мариотта

Для газа данной массы при постоянной температуре произведение давления газа на его объём постоянно:

$$p \cdot V = \text{const};$$

Изотермическое расширение газа:

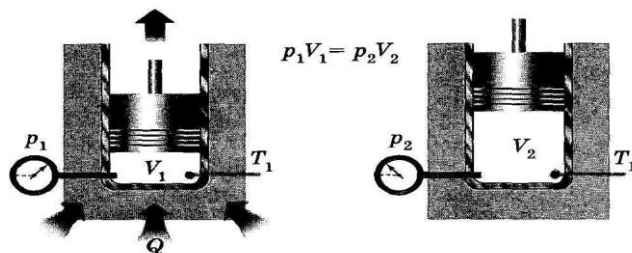


Рис.11

В начале процесса объём газа V_1 , давление p_1 , в конечном состоянии объём газа V_2 , давление p_2 .

График изотермического процесса в координатах p, V :

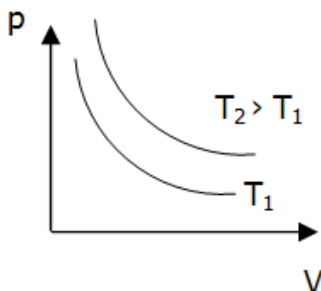
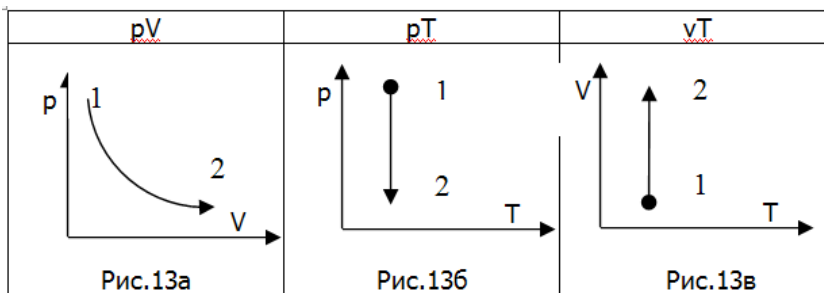


Рис.12

Изотерма - график изменения макроскопических параметров газа при изотермическом процессе.

Графики изотермического процесса в координатах:



4.1.2 Изобарный процесс

Изобарный процесс – процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном давлении ($m = \text{const}$; $p = \text{const}$).

Закон Гей-Люссака

Для газа данной массы при постоянном давлении отношение объёма газа к его термодинамической температуре постоянно:

$$\frac{V}{T} = \text{const.}$$

Изобарное расширение газа:

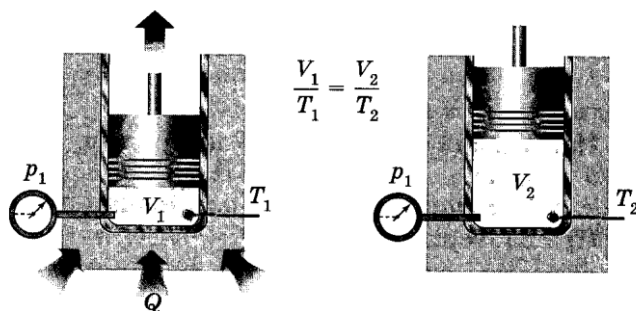


Рис.14

В начале процесса температура газа T_1 , объём V_1 , в конечном состоянии температура газа T_2 , объём V_2 .

Изобара - график изменения макроскопических параметров газа при изобарном процессе.

График изобарного процесса в координатах V, T :

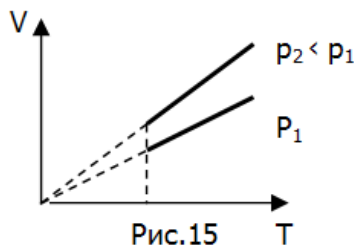
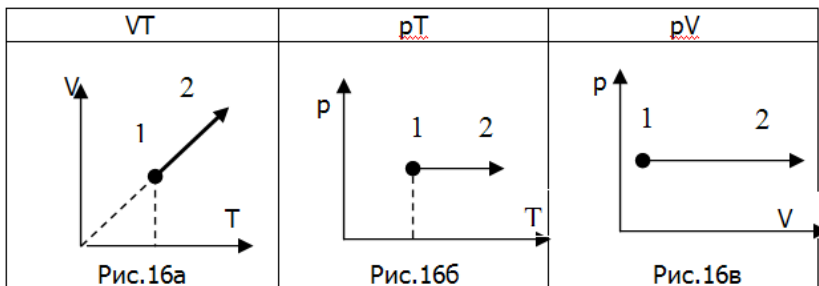


Рис.15 T

Графики изобарного процесса в координатах:



4.1.3 Изохорный процесс

Изохорный процесс – процесс изменения состояния определённой массы газа при постоянном объёме ($m = \text{const}$; $V = \text{const}$).

Закон Шарля

Для газа данной массы при постоянном объёме отношение давления газа к его термодинамической температуре постоянно:

$$\frac{P}{T} = \text{const};$$

Изохорное нагревание газа:

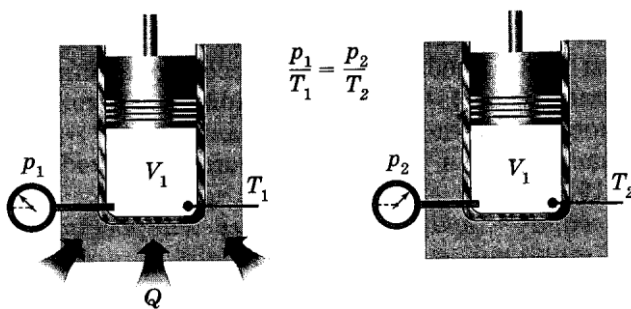


Рис.17

В начале процесса температура газа T_1 , давление p_1 , в конечном состоянии температура газа T_2 , давление p_2 .

Изохора - график изменения макроскопических параметров газа при изохорном процессе.

График изохорного процесса в координатах p, T

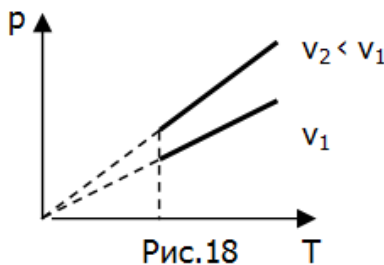
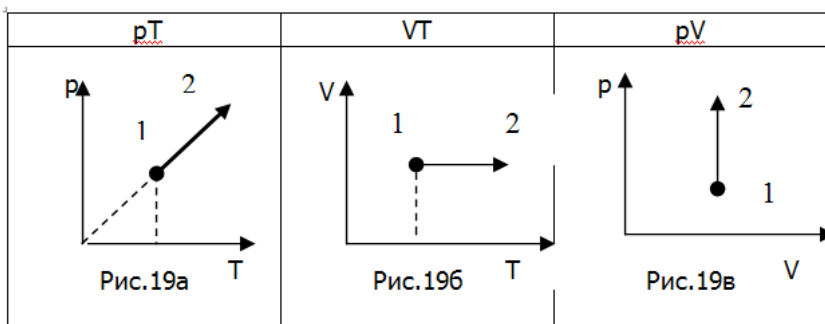


Рис.18

Графики изохорного процесса в координатах:



4.2 Объединённый газовый закон (уравнение Клапейрона)

Газ постоянной массы ($m = \text{const}$) может находиться в условиях, при которых изменяются все три параметра температура T , давление p , объём V .

Опытным путём было установлено, что при $m = \text{const}$ уравнение состояния идеального газа имеет вид:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const}.$$

Если начальное состояние газа данной массы m характеризуется параметрами p_1, V_1, T_1 , а конечное - p_2, V_2, T_2 , то уравнение состояния можно записать в виде:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}.$$

Такую ситуацию можно реализовать различными способами.

Например: газ из начального состояния (1) с параметрами p_1, V_1, T_1 перевести в состояние (2) с параметрами p_2, V_2, T_2 можно сначала изохорным процессом (1-1'), затем изобарным процессом (1'-2).

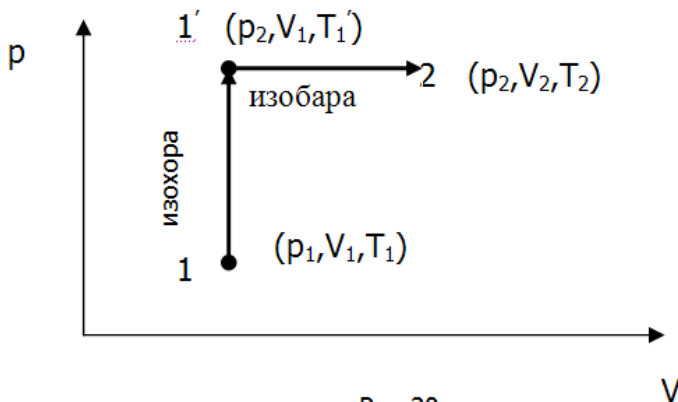


Рис.20

Рассмотрим изохорный процесс (1→1'). Из закона Шарля следует:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_1'}$$

Температура в конце изохорного процесса равна:

$$T_1' = \frac{p_2 \cdot T_1}{p_1}$$

Рассмотрим изобарный процесс (1'→2). Из закона Гей-Люссака следует: $\frac{V_1}{T_1'} = \frac{V_2}{T_2}$; Подставим значение T_1' , в результа-

те получим:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

В состоянии теплового равновесия последнее уравнение можно представить в виде: $\frac{p \cdot V}{T} = const$.

Вычислим газовую постоянную для одного моля газа при нормальных условиях: $V_M = 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль}$; $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $T_0 = 273 \text{ К}$:

$$R = \frac{p_0 \cdot V_M}{T_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 0,0224}{273} = 8,31 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \right)$$

R – молярная газовая постоянная.

4.3 Уравнения состояния идеального газа

4.3.1 Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

Задачей молекулярно – кинетической теории идеального газа является установление связи между его макроскопическими и микроскопическими параметрами.

Состояние газа массой m (единица - кг) определяется значениями трёх макроскопических параметров: давления p (единица - Па), объёма V (единица - m^3), температуры T (единица - К). Связь между этими параметрами называется уравнением состояния и может быть выражена формулой

$$F(p,V,T)=0,$$

где $F(p,V,T)$ – некоторая функция параметров.

Давление газа является результатом суммарного действия ударов молекул о стенки сосуда. Давление можно рассчитать, если известна концентрация молекул и их средняя кинетическая энергия. Концентрация молекул равна:

$$n = \frac{N}{V},$$

где n - концентрация молекул; N -число всех молекул в объёме V .

Средняя кинетическая энергия молекул определяется по формуле

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT,$$

где k – постоянная Больцмана, T – термодинамическая температура.

Давление идеального газа равно двум третям средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объёма.

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

Если в уравнение (3) подставить уравнение (2), то получим основное уравнение молекулярно-кинетической теории

$$p = nkT.$$

Это соотношение позволяет по двум известным макроскопическим параметрам (давлению и температуре газа) оценить



Молекулярная физика и термодинамика

микроскопический параметр (концентрацию молекул).

Найдём концентрацию молекул любого идеального газа *при нормальных условиях*: атмосферное давление $p=1,01 \cdot 10^5$ Па, температура $t = 0^\circ\text{C}$ или $T=273$ К:

$$n = \frac{p}{kT} = \frac{1,01 \cdot 10^5}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273} \text{ м}^{-3} \approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$$

Концентрация молекул идеального газа при нормальных условиях называется постоянной Лошмидта.

4.3.2 Уравнение Клапейрона - Менделеева

Получим уравнение состояния идеального газа, которое для данной массы идеального газа связывает между собой макроскопические параметры: давление, объём и температуру.

В основное уравнение молекулярно-кинетической теории (4) подставим концентрацию молекул (1), получим:

$$pV = NkT.$$

Число молей в газе с массой m равно

$$\frac{N}{N_A} = \frac{m}{M},$$

где N – число всех молекул, N_A -число Авогадро; M -молярная масса.

$$N = \frac{m}{M} \cdot N_A;$$

Подставив (6) в (5), получим

$$pV = \frac{m}{M} \cdot N_A kT$$

где $R=k \cdot N_A$ - молярная газовая постоянная; $R=8,31$ Дж/(моль·К).

Получим уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$pV = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T.$$

Уравнение Клапейрона-Менделеева – уравнение состояния идеального газа, которое связывает три макроскопических параметра (давление, объём и температуру) данной массы газа.

Уравнение Клапейрона-Менделеева справедливо для идеального газа любого химического состава. Специфику газа опре-



деляет молярная масса.

4.4 Внутренняя энергия идеального газа

Внутренняя энергия тела – сумма кинетической энергии хаотического теплового движения частиц (атомов или молекул) тела и потенциальной энергии их взаимодействия.

Для идеального газа потенциальная энергия взаимодействия мала по сравнению с их кинетической энергией теплового движения. Поэтому внутренняя энергия идеального газа определяется кинетической энергией теплового движения частиц.

Средняя кинетическая энергия одного атома согласно формуле (2) равна

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT.$$

Внутренняя энергия U одноатомного газа, состоящего из N атомов, в N раз больше энергии одного атома:

$$U = N\bar{E}_k = \frac{3}{2} NkT;$$

Число атомов N согласно формуле (6) равно:

$$N = \frac{m}{M} \cdot N_A.$$

Следовательно, внутренняя энергия одноатомного идеального газа равна:

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} N_a kT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT.$$

Внутренняя энергия данной массы идеального газа зависит лишь от одного макроскопического параметра – термодинамической температуры.

Используя уравнение Менделеева-Клапейрона, можно представить выражение для внутренней энергии идеального одноатомного газа в виде:

$$U = \frac{3}{2} pV.$$

Формулы для внутренней энергии идеального газа можно обобщить:

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{i}{2} pV,$$



Молекулярная физика и термодинамика

где i -число степеней свободы молекул газа ($i=3$ для одноатомного газа; $i=5$ для двухатомного газа).



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Введение

1. Какие явления изучают молекулярная физика и термодинамика?
2. Какие параметры называются макроскопическими? Приведите примеры макроскопических параметров.
3. Какие параметры называются микроскопическими? Приведите примеры микроскопических параметров.
Молекулярно-кинетическая теория (МКТ)
1. Назовите основные положения МКТ.
2. Что такое диффузия?
3. Какие частицы наблюдаются в броуновском движении?

Тепловые явления

1. Чему равен коэффициент линейного расширения?
2. Чему равен коэффициент объёмного расширения?
3. Сформулируйте определение температуры тела. Какая единица температуры используется в СИ?
4. Почему термодинамическая температура не может быть отрицательной?
5. Какое тепловое явление используется в термометрах?
6. Назовите реперные точки в шкалах Цельсия и Кельвина.

Термодинамические процессы

1. Назовите основные агрегатные состояния вещества. Какие изменения происходят в веществе при фазовых переходах?
2. При каком условии вещество находится в твёрдом состоянии? Как движутся молекулы в твёрдом теле?
3. При каком условии образуется жидкое состояние вещества? В чём особенности движения молекул в жидкости?
4. При каком условии вещество находится в газообразном состоянии?
5. В каких единицах измеряют количество теплоты?
6. Чему равна теплоёмкость тела? В каких единицах измеряют теплоёмкость тела?
7. Что называется удельной теплоёмкостью вещества? Назовите единицы удельной теплоёмкости.
8. Как определить теплоёмкость тела, если известны его удельная теплоёмкость и масса?
9. Какие процессы называются плавлением и кристаллизацией?



Молекулярная физика и термодинамика

- цией?
10. Что называется удельной теплотой плавления?
 11. Какие процессы называются испарением и конденсацией?
 12. От чего зависит скорость испарения жидкости с открытой поверхности?
 13. Какой процесс называется кипением?
 14. Что называется удельной теплотой парообразования?
 15. Какой процесс называется теплообменом? Назовите три вида теплообмена.
 16. Какая термодинамическая система называется замкнутой (изолированной)?
 17. Когда в процессе теплообмена наступает тепловое равновесие?
 18. Какой вид имеет уравнение теплового баланса?
 19. Как устроен калориметр?
 20. Что называется удельной теплотой сгорания? Приведите примеры топлива.
 21. Что называется коэффициентом полезного действия нагревателя?

Идеальный газ

1. Что называется идеальным газом?
2. Назовите условия идеальности газа.
3. Что называется изопроцессом?
4. Какой процесс называется изотермическим? Сформулируйте закон Бойля-Мариотта.
5. Какой процесс называется изобарным? Сформулируйте закон Гей-Люссака.
6. Какой процесс называется изохорным? Сформулируйте закон Шарля.
7. Сформулируйте объединённый газовый закон (уравнение Клапейрона).
8. Что называется уравнением состояния идеального газа?
9. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
10. Что такое концентрация молекул? Чему равна постоянная Ломоносова?
11. Какой вид имеет уравнение Клапейрона-Менделеева?
12. Как можно вычислить внутреннюю энергию идеального газа?

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И СЛОВСОЧЕТАНИЯ

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1. Абсолютная влажность | 30. Нагревать – нагревание |
| 2. Агрегатное состояние | 31. Насыщенный пар |
| 3. барометр | 32. Объёмное расширение |
| 4. Броуновское движение | 33. Относительная влажность |
| 5. Влажность воздуха | 34. Охлаждать – охлаждение |
| 6. Внутренняя энергия | 35. Пар |
| 7. Гореть - горение | 36. Параметр |
| 8. Давление | 37. Парообразование |
| 9. Динамическое равновесие | 38. Плавить-плавление |
| 10. Диффузия | 39. Расширение |
| 11. Замкнутая система | 40. Реперные точки |
| 12. Идеальный газ | 41. Совокупность частиц |
| 13. Изобарный - изобара | 42. Таяние льда |
| 14. Изолированная система | 43. Таять |
| 15. Изопроцесс | 44. Температура |
| 16. Изотермический - изобара | 45. Тепловое равновесие |
| 17. Изохорный –изохора | 46. Теплоёмкость |
| 18. Испарение | 47. Теплообмен |
| 19. Калориметр | 48. Теплопроводность |
| 20. Кипеть-кипение | 49. Теплота сгорания |
| 21. Конвективный теплообмен | 50. Теплотворная способность |
| 22. Конвекционный поток | 51. Термометр |
| 23. Конденсация | 52. Топливо |
| 24. Кристаллизация | 53. Точка росы |
| 25. Лёд - льда | 54. Фаза |
| 26. Линейное расширение | 55. Фазовый переход |
| 27. Макроскопический | 56. Шкала температур |
| 28. Манометр | |
| 29. Микроскопический | |



ПРИЛОЖЕНИЕ 1

МАССА АТОМА. МОЛЯРНАЯ МАССА

Моделью материального тела является совокупность движущихся и взаимодействующих между собой атомов (молекул).

Все вещества по составу можно разделить на два класса: простые и сложные.

Простые вещества состоят из атомов одного и того же химического элемента, сложные – из атомов различных элементов.

Атом - наименьшая частица химического элемента, которая сохраняет свойства элемента.

Условное обозначение любого химического элемента



Слева от символа химического элемента X указывается массовое число A (сверху) и зарядовое число Z (снизу).

Атомная единица массы (а.е.м.) – средняя масса нуклона в атоме углерода ${}^{12}_6 C$.

В ядре атома углерода ${}^{12}_6 C$ содержится 12 нуклонов, поэтому

$$m_{{}^{12}_6 C} = 12 \text{ а. е. м.}$$

Атомная единица массы равна $1/12$ массы атома углерода ${}^{12}_6 C$:

$$1 \text{ а. е. м.} = 1/12 m_{{}^{12}_6 C} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Масса произвольного атома может быть выражена в атомных единицах массы или в килограммах:

$$m_a = M_r (\text{а.е.м.}) = M_r \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} (\text{кг}),$$

где M_r – относительная атомная масса.

Относительная атомная масса M_r – число атомных единиц массы, содержащихся в массе атома.

Относительная атомная масса почти совпадает с числом нуклонов в его ядре: $M_r \approx A$.

Относительная атомная масса некоторых элементов

Элемент	Водород	Гелий	Литий	Углерод	Азот	Кислород	Уран
Изотоп	${}^1_1\text{H}$	${}^4_2\text{He}$	${}^6_3\text{Li}$	${}^{12}_6\text{C}$	${}^{14}_7\text{N}$	${}^{16}_8\text{O}$	${}^{238}_{92}\text{U}$
Относительная атомная масса, а. е. м.	1,0078	4,0026	6,0151	12,0000	14,0031	15,9949	235,043

Количеством вещества называется физическая величина, которая определяется числом структурных элементов – молекул, атомов или ионов, из которых состоит вещество.

Единицей количества вещества является моль.

Моль - количество вещества, масса которого, выраженная в граммах, численно равна относительной атомной массе.

Массу одного моля называют молярной массой и обозначают M :

$$M = M_r \cdot 1 (\text{г/моль}).$$

В системе СИ единица молярной массы - килограмм на моль (кг/моль):

$$M = M_r \cdot 10^{-3} (\text{кг/моль})$$

Постоянная Авогадро – число атомов (или молекул) в одном моле любого вещества:

$$N_a = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Молярная масса вещества

$$M = N_A \cdot m_a,$$

где m_a – масса атома.



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

НАСЫЩЕННЫЙ ПАР. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

Если жидкость находится в открытом сосуде, то в результате испарения количество жидкости будет со временем уменьшаться.

Если процесс парообразования происходит в закрытом сосуде, то через некоторое время количество жидкости в сосуде перестаёт убывать, хотя молекулы жидкости продолжают переходить в пар. В этом случае скорость парообразования становится равной скорости конденсации.

Скорость парообразования - количество жидкости, которая переходит в пар за единицу времени с единицы площади поверхности жидкости.

Скорость конденсации определяется числом молекул, которое переходит из пара в жидкость через единицу площади поверхности жидкости в единицу времени.

Динамическое равновесие между процессами парообразования и конденсации наступает тогда, когда скорость парообразования становится равной скорости конденсации.

Пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью, называется *насыщенным паром*.

Давление насыщенного пара при данной температуре – максимальное давление, которое может иметь пар над жидкостью при этой температуре. Давление насыщенного пара возрастает при увеличении температуры жидкости. Согласно модели идеального газа давление пара пропорционально концентрации его молекул, поэтому в состоянии динамического равновесия концентрация насыщенного пара становится максимальной. Содержание водяного пара в атмосфере Земли при одной и той же температуре может изменяться от нуля (абсолютно сухой воздух) до максимально возможного (насыщенный пар).

Степень влажности воздуха характеризуется **относительной влажностью**.

Относительная влажность воздуха φ – это процентное отношение концентрации водяного пара n в воздухе к концентрации насыщенного пара $n_{\text{нас. пара}}$ при той же температуре:

$$\varphi = \frac{n}{n_{\text{нас. пара}}} \cdot 100\%$$

Относительную влажность можно найти и как процентное отношение давления пара в воздухе к давлению насыщенного пара при той же температуре:



$$\varphi = \frac{P}{P_{\text{нас.пара}}} \cdot 100\%$$

Концентрацию водяного пара n (или давления p) можно найти по **точке росы**.

Точкой росы – называется температура, при которой водяные пары, ранее не насыщавшие воздух, становятся насыщающими.

Зная температуру воздуха и определив точку росы, рассчитывают влажность воздуха. При этом используется таблица давления p (или плотности ρ) насыщенного водяного пара при различных температурах.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 1

Условные обозначения физических величин

№	Обозначение величины	Название физической величины	Единицы измерения
1.	t	время	с
2.	m	масса	кг
3.	p	давление	Па
4.	S	площадь	м ²
5.	V	объём	м ³
6.	η	коэффициент полезного действия (к.п.д)	
7.	ρ, d	плотность	кг/м ³
8.	M	молярная масса	кг/моль
9.	A	атомная масса	а.е.м., кг
10.	N _A	постоянная Авогадро	моль ⁻¹
11.	t ⁰ C	температура Цельсия	⁰ C
12.	T	термодинамическая температура	К
13.	U	внутренняя энергия	Дж
14.	Q	количество теплоты	Дж
15.	θ	общая температура	К
16.	C	теплоёмкость	Дж/кг
17.	c	удельная теплоёмкость	Дж/(кг·К)
18.	λ	удельная теплота плавления	Дж/кг
19.	r	удельная теплота парообразования	Дж/кг
20.	q	удельная теплота сгорания	Дж/кг
21.	α	коэффициент линейного расширения	К ⁻¹
22.	β	коэффициент объёмного расширения	К ⁻¹
23.	k	постоянная Больцмана	Дж/К
24.	R	молярная газовая постоянная	Дж/(моль·К)



Таблица 2

Физические постоянные

Физическая величина	Числовое значение
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Молярная газовая постоянная	$R = k \cdot N_A = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$
Молярная масса воздуха (средняя)	$M = 28,9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Нормальное атмосферное давление	$p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$
Нормальные условия для газа	$p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па};$ $T_0 = 273 \text{ К}$
Молярный объём при нормальных условиях	$V_M = 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль}$

Таблица 3

Латинский алфавит

A a – а	H h – ан	O o – о	V v – вэ
B b – бэ	I i – и	P p – пэ	W w – дубль-вэ
C c – цэ	J j – жи	Q q – ку	X x – икс
D d – дэ	K k – ка	R r – эр	Y y – игрек
E e – э	L l – эль	S s – эс	Z z – зэд
F f – эф	M m – эм	T t – тэ	
G g – же	N n – эн	U u – у	

Греческий алфавит

Α α - альфа	Η η - эта	Ν ν - ню (ни)	Τ τ - тау
Β β - бета	Θ θ - тэта	Ξ ξ - кси	Υ υ - ипсилон
Γ γ - гамма	Ι ι - йота	Ο ο - омикрон	Φ φ - фи
Δ δ - дельта	Κ κ - каппа	Π π - пи	Χ χ - хи
Ε ε - эpsilon	Λ λ - лямбда	Ρ ρ - ро	Ψ ψ - пси
Ζ ζ - дзета	Μ μ - мю (ми)	Σ σ - сигма	Ω ω - омега