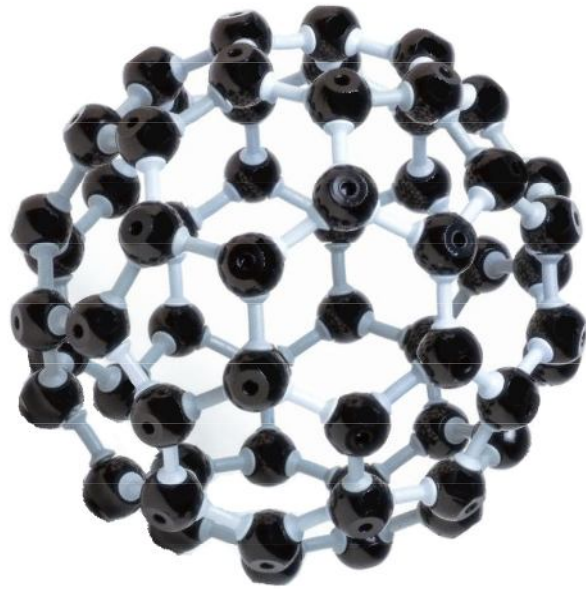


К ЕТЭ ГОТОВ!



Ф И З И К А

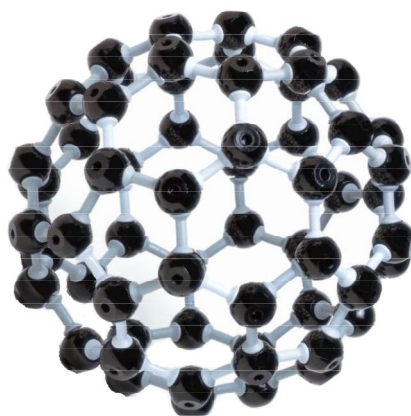
ЧАСТЬ II

*Молекулярная физика  
и термодинамика*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Санкт-Петербургский государственный университет  
технологии и дизайна»

О. Н. Урюпин К. О. Урюпина

**К ЕГЭ ГОТОВ!**



**Ф И З И К А**

**ЧАСТЬ II**

*Молекулярная физика  
и термодинамика*

Утверждено Редакционно-издательским советом  
университета в качестве учебного пособия

Санкт-Петербург

2011

УДК 53  
ББК 22.3я73  
У73

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей и  
экспериментальной физики РГПУ им. Герцена

*В. М. Грабов;*

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики СПГУТД

*Е. П. Романова*

**Урюпин, О.Н.**

**У73** К ЕГЭ готов! Физика. Ч. II. Молекулярная физика и термодинамика:  
учеб. пособие / О. Н. Урюпин, К. О. Урюпина. – СПб.: ФГБОУВПО  
«СПГУТД», 2011. – 76 с.

**ISBN 978-5-7937-0632-2**

Данное пособие является второй частью учебного пособия по физике и адресовано слушателям факультета довузовского образования, абитуриентам и выпускникам школ для подготовки к сдаче Единого государственного экзамена. Оно так же может быть полезно студентам технических специальностей 1 – 2 курсов для проверки уровня остаточных знаний по молекулярной физике и термодинамике перед изучением соответствующего вузовского курса.

Пособие включает краткое, но емкое изложение теоретических основ молекулярной физики и термодинамики. Кроме того в него включено большое количество практических заданий различного уровня сложности, выстроенных с учетом плавного нарастания умений и навыков, необходимых для их решения с одной стороны, и с учетом требований Единого государственного экзамена с другой.

УДК 53

ББК 22.3я73

**ISBN 978-5-7937-0632-2**

© ФГБОУВПО «СПГУТД», 2011

© Урюпин О. Н., Урюпина К. О., 2011

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Раздел В. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА . . . . .	4
Введение . . . . .	4
38. Молекулярное строение вещества . . . . .	6
39. Идеальный газ . . . . .	12
40. Температура. . . . .	14
41. Законы идеального газа. . . . .	17
Раздел Г. ТЕРМОДИНАМИКА. . . . .	19
42. Внутренняя энергия . . . . .	19
43. Работа в термодинамике. . . . .	21
44. I закон термодинамики . . . . .	22
45. Принцип действия тепловых двигателей. . . . .	23
46. Агрегатные состояния вещества. . . . .	25
47. Влажность воздуха. . . . .	27
48. Механические свойства твердых тел. . . . .	28
Раздел Д. ЗАДАЧИ . . . . .	33
49. Основные положения МКТ. . . . .	33
50. Идеальный газ . . . . .	37
51. Законы идеальных газов . . . . .	41
52. Теплопередача . . . . .	44
53. Работа в термодинамике. . . . .	46
54. Внутренняя энергия. . . . .	48
55. I закон термодинамики . . . . .	50
56. Принцип действия и КПД тепловых двигателей. . . . .	52
57. Парообразование и конденсация. . . . .	55
58. Влажность воздуха. . . . .	62
59. Кристаллические и аморфные тела. . . . .	63
60. Задачи повышенного и высокого уровня сложности. . . . .	65
61. Справочные данные. . . . .	70
62. Ключи к задачам . . . . .	74
Заключение. . . . .	75

## ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие по молекулярной физике и термодинамике продолжает издание серии учебных пособий по подготовке к Единому государственному экзамену по физике, ориентированных на изучение физики не только на факультете довузовской подготовки, но и при самоподготовке абитуриентов, а также при повторении и закреплении изученных ранее материалов непосредственно перед экзаменом. Особо полезным данная серия пособий окажется для тех, кто в силу различных причин, не имея достаточной школьной подготовки для сдачи ЕГЭ по физике, должен в сжатые сроки освоить большой объем теоретических знаний и получить необходимые для успешной сдачи экзамена навыки по их практическому применению при решении задач различного уровня сложности. Кроме того, у студентов 1-го и 2-го курса появляется возможность проверить свои остаточные знания и умения решать физические задачи перед изучением соответствующих разделов вузовского курса по общей физике и восстановить знания по выявленным проблемным разделам.

Деление серии пособий на традиционные части по механике, молекулярной физике и термодинамике, электричеству, оптике и ядерной физике обеспечивает оптимальную последовательность изучения теоретического курса в сочетании с выполнением посильных практических заданий, выстроенных с учетом нарастания сложности. Основным отличием от традиционных аналогичных пособий является постоянное стимулирование учащихся к использованию наблюдений физических процессов и явлений в окружающей действительности для лучшего понимания теоретических основ физики. Для активного включения обучающихся в познавательный процесс авторам представляется необходимым обращение к учащимся о проведении простейших наглядных физических экспериментов в домашних условиях, сопровождаемое ёмкими объяснениями их физической сущности. Комплексный экспериментально-теоретический подход к построению данного курса повышает, по мнению авторов, интерес к изучению физики и является наиболее эффективным в сложившихся экономических реалиях нынешней системы финансирования образования.

Предлагаемое учебное пособие по молекулярной физике и термодинамике состоит из теоретических разделов и 180 заданий различного уровня сложности по темам курса физики: молекулярное строение вещества; идеальный газ и законы идеального газа; внутренняя энергия; работа в термодинамике и I закон термодинамики; принцип действия тепловых двигателей; изменение агрегатных состояний вещества; влажность воздуха; механические свойства твердых тел. В теоретических разделах кратко, ясным и доступным языком изложены основные физические понятия и законы.

Тестовые задания для развития умений и навыков в решении физических задач структурированы и выстроены с учетом непрерывного плавного

повышения трудности. Каждое задание предполагает выбор правильного ответа из 4-х предлагаемых, что полностью соответствует государственным стандартам. Оригинальное построение заданий, по мнению авторов, должно способствовать сохранению длительного интереса учащихся к решению физических задач. При включении графических заданий авторами использовался ступенчатый подход постепенного усложнения при необходимости использования результатов решения предыдущего задания для выполнения последующего. Тестовые задания целесообразно выполнять параллельно с изучением теоретических вопросов в целях оперативного применения полученных теоретических знаний на практике и скорейшего выявления возможных пробелов в знаниях.

Задачи повышенного и высокого уровня сложности выделены в отдельный раздел пособия. Такие задания являются преимущественно комплексными физическими задачами, для решения которых требуется освоение нескольких разделов механики. Поэтому такие задания следует выполнять по окончании изучения теоретических разделов и выполнения тестовых заданий, когда учащиеся приобретают устойчивые навыки в решении базовых физических задач и оказываются подготовленными к качественному переходу на более высокий уровень освоения умений и навыков в анализе физических процессов и решении задач повышенного и высокого уровня сложности.

Требуемые для решения задач физические константы и величины сведены в таблицы, дополнены некоторыми полезными сведениями и приведены в конце сборника. Умение пользоваться этим разделом для поиска требуемых физических констант и величин является необходимым условием успешной подготовки к Единому государственному экзамену и последующему освоению курса общей физики в университете.

Авторы надеются, что данное пособие окажется интересным и полезным не только для учащихся, но и для широкого круга любителей физики.

# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

## Молекулярное строение вещества

В механике мы рассматривали и твердые и жидкие тела как тела непрерывные, сплошные. И такое упрощение не влияло на правильность наших рассуждений. Однако молекулярная физика, как это уже явствует из названия, изучает физические процессы, происходящие в телах на молекулярном уровне. Из химии Вам, конечно, хорошо известно, что **молекула** – это наименьшая частица ВЕЩЕСТВА, сохраняющая все его свойства и способная существовать самостоятельно. Сразу хочу подчеркнуть отличие молекулы от атома. Дело в том, что **атом** – это наименьшая частица ХИМИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА, сохраняющая все его химические, и только химические свойства. Вот мы собственно и коснулись первого основного положения молекулярно-кинетической теории. Целесообразно, я думаю, вначале сформулировать самые основные положения этой теории, а затем перейти к их опытному обоснованию.

Итак, назовем **основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ)**:

**I** – вещество состоит из частиц (молекулы, атомы, элементарные частицы);

**II** – эти частицы хаотично движутся;

**III** – частицы взаимодействуют друг с другом.

Данная теория МКТ, которая представляет собой учения о строении и свойствах вещества, основана на представлении об атомах и молекулах.

Рассмотрим **опытные обоснования** (экспериментальные доказательства) **первого основного положения** о строении вещества из частиц.

Простейший эксперимент, который Вы сами можете провести - это капнуть каплю оливкового масла в таз заполненный водой. Ну, если нет оливкового, то можно использовать хлопковое или подсолнечное. Надо только учесть, что капля масла объемом  $1 \text{ мм}^3$  займет на поверхности воды площадь в  $0,6 \text{ м}^2$  (для такого эксперимента нужно иметь таз диаметром не меньше 1 метра). Почему же капля не растекается на большую площадь? Не занимает всю поверхность воды? Вывод один – она не может дальше растекаться. А если ей помочь? Например, вентилятором попытаться разогнать пленку по всей водяной поверхности? Тогда пленка разорвется на отдельные части, но сумма площадей не изменится. То есть площадь  $0,6 \text{ м}^2$  – это предел для капли масла объемом  $1 \text{ мм}^3$ . Но при максимально достижимой поверхности пленки, мы получим минимально достижимую толщину, ибо масло растекается до тех пор, пока его молекулы не расположатся на поверхности воды толщиной в один слой

$$d_{\min} = V/S_{\max} \approx 2 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$$

Отсюда можно сделать вывод, что капля масла состоит из частичек с диаметром  $d_0 \approx 2 \cdot 10^{-9}$  м. Это наглядное доказательство первого положения МКТ – положения о том, что вещество состоит из частиц.

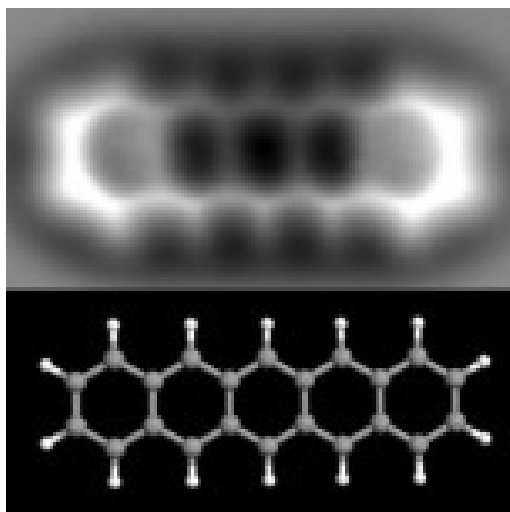


Рис. 1.

исследования молекулы пентацена на атомно-силовом микроскопе в сверхвысоком вакууме при температуре  $-268$  °С. На снимке и более детальной компьютерной модели можно увидеть пять колец углерода и расположение атомов. Расстояние между атомами всего  $0,14$  нм.

Конечно, список опытных обоснований, доказывающих существование молекул, можно продолжать долго, но мы, ограничившись уже приведенными примерами, перейдем к обоснованию второго положения, т. е. доказательству хаотичного движения частиц.

**Первым доказательством** такого движения молекул является броуновское движение.

*Броуновское движение* – это движение частиц, взвешенных в жидкости или газе, обусловленное хаотичным движением молекул. Оно никогда не прекращается и не зависит от внешних условий. Причиной броуновского движения являются различные импульсы (вспомнили, что это такое? Это  $mv!$ ), с которыми молекулы жидкости или газа действуют на взвешенные частицы при соударении.

Однако при изучении броуновского движения нельзя путать частицы, из которых состоит вещество (т. е. молекулы и атомы) с броуновскими частицами, хаотичное движение которых можно наблюдать через простой оптический микроскоп. В простом микроскопе вам никогда не удастся увидеть ни молекул, ни атомов. Так что **броуновские частицы** – это мелкие пылинки, соринки, кусочки пепла, которые скачут в совершенно беспорядочном танце. Молекулярно-кинетическую теорию броуновского движения создал в 1905 г. Алберт Эйнштейн, и сегодня мы не просто считаем, что броуновское движение



вызвано ударами молекул, а уверены в этом, ибо можем рассчитать действия этих ударов и подтвердить вычислениями наши наблюдения.

Почему же движение этих частиц столь беспорядочно? Это связано с хаотичностью движения молекул и атомов, создающих неуравновешенное внешнее воздействие на броуновские частицы, и это воздействие непрерывно меняется по величине и направлению. В результате броуновские частицы находятся в беспорядочном движении и имеют ломаную траекторию. Чем меньше размеры и масса броуновской частицы, тем более заметными становятся изменения ее импульса под микроскопом. Чем выше температура жидкости или газа, тем больше скорость наблюдаемого через микроскоп хаотичного движения.

Наблюдение броуновского движения стало первым доказательством хаотичного движения молекул.

**Вторым доказательством хаотичного движения молекул является диффузия.**

*Диффузия* – это проникновения молекул одного вещества в промежутки между молекулами другого. Она наблюдается в отличие от броуновского движения не только в жидкостях и газах, но и в твердых телах. Однако скорость диффузии в различных веществах сильно отличается. Например, пар из окна рассасывается через несколько секунд. Куда же исчезают молекулы воды, из которых состоит пар? Неужели все выпадают на землю? Нет, просто они рассредоточиваются, занимая место между молекулами воздуха. И так как для наблюдения отдельных молекул нам требуется электронный микроскоп, то невооруженным глазом мы их не замечаем.

На примере наполнения стакана водой и черничным соком рассмотрим диффузию в жидкостях. Если воду аккуратно налить поверх черничного сока, то в стакане будет видна четкая граница этих двух жидкостей. Однако через несколько дней в спокойно стоящем стакане окажется однородно окрашенный черничный нектар. Что же случилось? Кто перемешал сок и воду? Это сделала диффузия. За счет непрерывного хаотичного движения молекул взаимное проникновение достигло такой стадии, когда обе жидкости окончательно перемешались. Но ушло на это значительно больше времени, чем в случае с газами.

В твердых же телах классическим является пример срастания притертых и плотно прижатых пластин свинца и золота. Однако чтобы дожидаться в этом случае диффузии на глубину в 1 мм потребуется около пяти лет. Так как у нас с Вами такого времени нет, то перейдем **к третьему положению МКТ** о взаимодействии атомов и молекул друг с другом.

Проверить на опыте взаимодействие молекул достаточно легко. Возьмите простой велосипедный насос и установите поршень посередине насоса. Закройте пальцем нижнее отверстие насоса и потяните поршень вверх. Если насос хорошо притерт, то поршень удастся лишь немного сдвинуть вверх, но при снятии вашего усилия поршень вернется в исходное положение. Силы,

которые мешают нам поднять поршень, назвали **силами притяжения между молекулами**. Ведь поднимая поршень, мы увеличиваем объем, занимаемый воздухом, и тем самым увеличиваем расстояния между молекулами, а силы притяжения стремятся вернуть молекулы на исходное равновесное расстояние.

Если теперь попытаться сжать воздух, передвигая поршень насоса вниз, то мы получим аналогичный результат. Под нашим усилием поршень опустится немного вниз, но при снятии усилия вернется в исходное положение. Сжимая газ, мы уменьшаем объем, т. е. уменьшаем расстояние между молекулами. Значит, при уменьшении расстояния между молекулами **силы отталкивания** стремятся вернуть молекулы на исходное равновесное расстояние.

Некоторым может показаться, что мы зря не учитываем в объяснении атмосферное давление, однако такой же эксперимент можно провести с водой (наполнив ею насос) и, вдобавок посмотреть, что происходит со стирательной резинкой, если её сжать или растянуть. Последние эксперименты доказывают, что силы притяжения и отталкивания действуют между частицами, образующими вещество в любых агрегатных состояниях.

Следовательно, на соседние молекулы действуют как силы притяжения, так и силы отталкивания, и в зависимости от расстояния между центрами масс молекул сила их взаимодействия будет иметь различное направление. На *рис. 2* Вы видите, как меняются силы притяжения и отталкивания между двумя молекулами. **Сила взаимодействия является результирующей** и равна нулю при определенном расстоянии между центрами масс молекул  $r_0$ . Видно, что сила отталкивания и сила притяжения убывают с увеличением расстояния. Но сила отталкивания убывает быстрее, из-за этого сила взаимодействия на расстояниях больших  $r_0$  сонаправлена с силой притяжения.

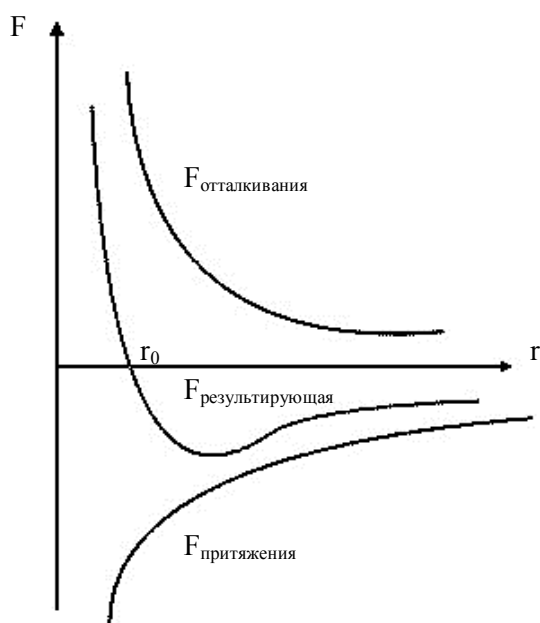


Рис. 2. Изменение сил притяжения и отталкивания между двумя молекулами в зависимости от расстояния между ними

С уменьшением расстояния между центрами молекул возрастает как сила отталкивания, так и сила притяжения, но сила отталкивания возрастает быстрее, поэтому сила взаимодействия молекул сонаправлена с силой отталкивания. Как видите, нам удалось получить опытные обоснования, доказывающие правильность основных положений МКТ и теперь мы двинемся дальше.

Введем понятие **количества вещества**  $\nu$ . Как мы уже отмечали, минимальной частицей вещества является молекула, поэтому количество вещества можно измерить в молекулах. Однако встречаются случаи образования вещества из атомов, поэтому количество вещества – физическая величина, определяемая количеством молекул или атомов, т. е. тех частиц, из которых состоит вещество.

Единицей количества вещества является **моль**. Один моль любого вещества содержит  $6,022 \cdot 10^{23}$  молекул, т. е. моль любого вещества можно представить как «коробочку», содержащую одно и то же количество молекул, **равное числу Авогадро**:

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}. \quad (1)$$

Почему же нельзя количество вещества измерять в килограммах? По той же причине, по которой количество авторучек или количество страниц в книге не измеряется в килограммах. Представьте себя на месте продавца, у которого хотят купить 0,2 килограмма авторучек, или читателя, который прочитал 150 грамм страниц в этом пособии. Так же чувствует себя любой физик, когда слышит, что количество вещества хотят измерить в килограммах. Надеюсь что теперь количество любого вещества (углерода, воды, азота и т. д.) Вы будете измерять только в молях, т.е. в «коробочках», каждая из которых содержит  $6,022 \cdot 10^{23}$  молекул.

При этом надо так же помнить о том, что масса 1 моля **называется молярной массой**, обозначается  $M$  и численно равна его молекулярной (атомной) массе. Для азота, имеющего двухатомную молекулу, масса 1 моля равна  $M_{N_2} = 28$  г/моль, а для углерода, состоящего из атомов,  $M_C = 12$  г/моль. Атомную массу для любых веществ легко найти из таблицы Менделеева, а зная химическую формулу вещества, без труда удастся вычислить его молярную массу. Так для воды молярная масса складывается из удвоенной атомной массы водорода и атомной массы кислорода, следовательно, молярная масса воды равна  $M_{H_2O} = (1 \cdot 2 + 16)$  г/моль =  $18 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Для вычисления количества вещества  $\nu$  достаточно массу тела  $m$  разделить на его молярную массу  $M$  или число молекул  $N$  разделить на число Авогадро  $N_A$ :

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}. \quad (2)$$

Теперь, вооружившись достаточными знаниями, мы можем приступить к расчету размеров и массы молекул. Взгляните еще раз на число Авогадро. Какое громадное число  $6,022 \cdot 10^{23}$ ! А для углерода все это огромное количество молекул имеет массу всего лишь  $M_C = 12$  г/моль – ведь именно такова масса одного моля углерода. Тогда масса одного атома углерода  $m_C^0$  равна

$$m_C^0 = M_C / N_A = 12 \cdot 10^{-3} \text{ (кг/моль)} / 6,022 \cdot 10^{23} \text{ (моль}^{-1}) \approx 2 \cdot 10^{-26} \text{ кг.} \quad (3)$$

Одна двенадцатая часть от массы атома углерода принята за **атомную единицу массы**

$$1 \text{ а.е.м} = m_C^0 / 12 = 2 \cdot 10^{-26} \text{ кг} / 12 = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.} \quad (4)$$

Зная значение атомной единицы массы легко рассчитать **массу одной молекулы**  $m^0$ , достаточно выполнить умножение

$$m^0 = m_{\text{одной молекулы}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot M_{\text{искомого вещества в граммах}} \text{ кг,} \quad (5)$$

ясно, что  $M$  обозначает молярную массу искомого вещества в граммах.

Проведем расчет массы одной молекулы воды двумя способами:

$$m_{H_2O}^0 = 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 18 \approx 3 \cdot 10^{-26} \text{ кг,}$$

$$m_{H_2O}^0 = M / N_A = 18 \cdot 10^{-3} / 6,022 \cdot 10^{23} \approx 3 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

Как видите, результат одинаков.

Теперь рассчитаем размеры молекулы воды. Масса 1 моля воды  $M_{H_2O} = 18 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, а плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Легко рассчитать объем, который займет 1 моль воды:

$$V_{H_2O} = M_{H_2O} / \rho_{H_2O} = 18 \cdot 10^{-3} / 10^3 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль.} \quad (6)$$

Однако, число молекул воды в 1 моле нам хорошо известно – это число Авогадро и, следовательно, для расчета объема одной молекулы  $V_{H_2O}^0$ , никаких препятствий больше нет:

$$V_{H_2O}^0 = V_{H_2O} / N_A = 1,8 \cdot 10^{-5} / 6,022 \cdot 10^{23} \approx 3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3. \quad (7)$$

Для определения приблизительных линейных размеров молекулы представим ее в виде шара с диаметром  $d$  и, используя (7), произведем вычисления:

$$V_{H_2O}^0 = \frac{\pi d^3}{6} \approx \frac{d^3}{2} \Rightarrow d^3 = 2V_{H_2O}^0 \Rightarrow d = \sqrt[3]{2V_{H_2O}^0}, \quad (8)$$

$$d_{H_2O} = \sqrt[3]{2 \cdot 3 \cdot 10^{-29}} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Как видите, и с расчетом размеров молекул мы успешно справились. Таким же образом можно рассчитать значение диаметра молекулы либо вещества. Только надо учитывать, что представление молекул в виде шара – это условность, которая тем дальше от реальности, чем сложнее молекула (*рис. 1*).

## Идеальный газ

Рассмотрим, теперь, как теория МКТ описывает процессы, происходящие в газообразных телах. Однако в этом курсе мы будем рассматривать только идеальный газ, который является идеализированной, т.е. упрощенной моделью реальных газов. Что же такое идеальный газ?

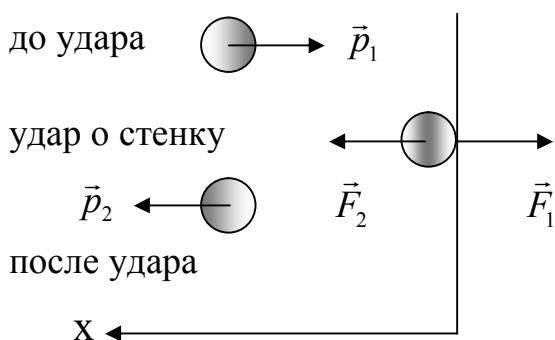
**Идеальный газ** – это газообразное вещество, молекулы которого:

**первое** – обладают пренебрежимо малыми размерами по сравнению с занимаемым газом объемом;

**второе** – при соударениях между собой и со стенками сосуда взаимодействуют, как упругие тела;

**третье** – между соударениями не взаимодействуют, т.е. между соударениями мы не учитываем силы притяжения и отталкивания между молекулами.

Но позволят ли такие упрощения получить правильные представления о реальных газах? Гелий, к примеру, **при нормальных условиях**, а таковыми считаются температура  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давление  $10^5\text{ Па}$ , достаточно хорошо описывается законами идеальных газов. Кроме того, одним из первых успехов МКТ идеальных газов было качественное и количественное объяснение давления газов на стенки сосудов. Уравнение, описывающее такое давление, **называется основным уравнением МКТ идеального газа**. Остановимся на этом подробнее. Взгляните на *рис. 3*. На нем изображен момент столкновения молекулы газа массой  $m^0$  со стенкой. Так как, согласно определению идеального газа, молекулы и стенка взаимодействуют как упругие тела, то импульс молекулы после удара  $\vec{p}_2$  будет равен импульсу молекулы до удара  $\vec{p}_1$ , но противоположно направлен. Если время удара принять за  $\Delta t$ , то можно записать



по второму положению МКТ:

$$\vec{p}_2 = -\vec{p}_1,$$

по третьему закону Ньютона:

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1,$$

по закону сохранения импульса:

$$\vec{F}_2 \cdot \Delta t = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = 2\vec{p}_2 = 2m^0\vec{v}_2. \quad (9)$$

Рис. 3.

$\vec{F}_1$  - сила, с которой молекула воздействовала на стенку. Однако по III

закону Ньютона сила  $\vec{F}_1$  будет равна по величине силе  $\vec{F}_2$  – силе, с которой стенка воздействовала на молекулу.

Естественно, что при нормальных условиях в сосуде находится не одна, а множество молекул, которые, непрерывно двигаясь, ударяются о стенки. Но с учетом различия в направлениях движения молекул в трехмерном

пространстве, можно считать, что результирующая сила, действующая на одну стенку сосуда, складывается из сил воздействия только одной трети всех молекул  $\sum_{i=1}^{N/3} F_i$  и направлена изнутри наружу. Для определения давления газа  $p$  необходимо величину этой силы разделить на площадь стенки  $S$ , как это записано в уравнении (10):

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{N/3} F_i}{S}. \quad (10)$$

Окончательный вид основного уравнения МКТ идеального газа выглядит так:

$$p = \frac{1}{3} nm^0 \bar{v}^2, \quad (11)$$

где  $m^0$  – масса одной молекулы, а  $n = N/V$  – это **концентрация молекул**, т.е. количество молекул в единице объема. Следует помнить, что у молекул скорости различны, и в этом уравнении  $\bar{v}$  – **среднеквадратичная скорость молекул**, которая вычисляется по уравнению

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N}}. \quad (12)$$

Обозначив среднее значение кинетической энергии поступательного движения одной молекулы идеального газа за  $\bar{W}_K^0$  получим

$$\bar{W}_K^0 = \frac{m^0 \bar{v}^2}{2}. \quad (13)$$

С учетом (13) уравнение (11) примет вид:

$$p = \frac{1}{3} nm^0 \bar{v}^2 = \frac{2}{3} n \frac{m^0 \bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3} n \bar{W}_K^0. \quad (14)$$

Таким образом, мы получили, что давление газа численно равно  $2/3$  средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объема.

Вот теперь, когда мы узнали не только причины давления газа на стенки сосуда, но и научились вычислять значения давления для различных газов, следует отметить, что давление является одним из параметров состояния идеального газа.

## Температура

Если Вы помните, мы в механике рассматривали основную задачу кинематики, как определение места положения тела в любой момент времени, и для решения этой задачи, вводили понятие перемещения, скорости, ускорения и т.д. В чем же видится **основная задача молекулярно-кинетической теории идеального газа**? Прежде всего, в описании состояния идеального газа. Что измеряет врач при определении состояния больного? Температуру, давление, массу, объем. Резкое изменение хотя бы одного из этих параметров является признаком перехода человека из здорового состояния в болезненное. **Состояние газа описывается** точно такими же **параметрами**: давление, занимаемый газом объем, температура, плотность газа и т.д. Но определение первых трех перечисленных параметров состояния является необходимым и достаточным условием для описания состояния известного количества идеального газа. О давлении мы с Вами уже поговорили, об объеме, занимаемом газом, много говорить не приходится. Газ своего объема не имеет, он занимает весь предоставленный ему объем того сосуда, в котором заключен газ. Измерение объема цилиндров, кубов, шаров заполненных газом не должно составить для Вас труда, но необходимо проверить свои знания в этом вопросе. Таким образом, остается последний необходимый параметр состояния – это **температура**. Вот о температуре давайте сейчас и поговорим. Каждый из вас неоднократно мерил у себя температуру, но прежде чем поставить градусник, мать, трогая рукой Ваш лоб, возможно говорила: « Горячий, надо поставить градусник». А глядя после измерения на градусник, произносила: « – 38 и 2, высокая температура!» Отсюда можно сделать вывод, что температура является степенью нагретости тела. (Это **первое «бытовое» определение температуры**).

Проведите эксперимент. В одну кастрюлю наберите холодной воды, а в другую – горячей. Опустите в одну кастрюлю правую ладонь, а в другую - левую. Через 2-3 минуты возьмите в руки металлическую ложку со стола. Странное ощущение, не правда ли? Одна ладонь сообщает Вам, что ложка горячая, а другая, в то же самое время утверждает, что ложка холодная. Значит, степень нагретости тела не может служить объективным показателем температуры. Степень нагретости понятие субъективное. Однако продолжим эксперименты.

В кастрюлю с холодной водой аккуратно влейте горячую воду. После этого опустите туда термометр и убедитесь, что на дне вода холодная, а сверху горячая. Закройте кастрюлю крышкой и оставьте в комнате на ночь. Утром термометром измерьте температуру воды в кастрюле и температуру воздуха в комнате. Они окажутся равны. То есть холодная вода нагревалась, а горячая охлаждалась до тех пор, пока их температуры не сравнялись с температурой окружающего воздуха. Наступило **тепловое равновесие**.

А тепловым или иначе **термодинамическим равновесием** называют такое состояние, при котором все **макроскопические параметры** ( $V, p, \rho, T$  и

т.д.) сколь угодно долго остаются неизменными. Следовательно, температура характеризует состояния теплового равновесия макроскопических систем – тел, состоящих из большого количества частиц. Это **второе, термодинамическое определение температуры**.

Как Вы знаете, для измерения температуры используется термометр. Сейчас в быту используются три различных температурных шкалы, называемых по фамилиям их создателей: это шкала Фаренгейта, по которой температура кипящей воды имеет 212 градусов; шкала Реомюра, по которой температура кипящей воды 80 градусов; и шкала Цельсия, по которой температура кипящей воды 100 градусов. За начало отсчета в шкалах Реомюра и Цельсия принята температура тающего льда. Однако у всех этих термометров есть общий недостаток – это особенности объемного расширения жидкостей, используемых в термометрах в качестве рабочего тела. Поэтому, например, показания ртутного и глицеринового термометров, совпадающие при 0 °С и 100 °С, различаются в середине шкалы. Следовательно, необходим более совершенный способ определения температур.

Экспериментальные исследования газов показали, что для любых газов, находящихся в термодинамическом равновесии, при температуре 0 °С справедливо уравнение (15):

$$\frac{p_1 V_1}{N_1} = \frac{p_2 V_2}{N_2} = \Theta = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}, \quad (15)$$

где  $p$  – давление,  $V$  – объем,  $N$  – количество молекул газа в данном объеме. Индексом 1 обозначены параметры одного газа, например кислорода ( $p_1, V_1, N_1$ ). Индексом 2 – параметры другого газа, например азота ( $p_2, V_2, N_2$ ). Так как температура газа одинакова и величина  $\Theta$  для них также одинакова, то это позволяет принять  $\Theta$ , измеряемую в Дж, как меру температуры. Однако физики еще раньше договорились измерить температуру в градусах. Что же делать? Чтобы решить эту проблему достаточно ввести коэффициент пропорциональности и написать уравнение (16):

$$\Theta = k \cdot T, \quad (16)$$

здесь  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – коэффициент пропорциональности или **постоянная Больцмана**.

Из уравнений (15) и (16) можно легко получить (17):

$$\frac{pV}{N} = kT. \quad (17)$$

Если взять газ при давлении  $p = 0$ , согласно уравнению (17) температура также будет равна нулю  $T = 0$ . Такая температура, при которой давление идеального газа равно 0 называется **абсолютным нулем температуры**. Температурная шкала, отправной точки которой является абсолютный нуль,



называется **абсолютной шкалой температур** или **шкалой Кельвина**. Единицей измерения температуры по этой шкале является 1 Кельвин равный 1 градусу Цельсия. При  $t^{\circ} = 0^{\circ}\text{C}$  значения температуры по абсолютной шкале можно вычислить по уравнению (18):

$$T = \frac{\Theta}{k} = \frac{3,76 \cdot 10^{-21}}{1,38 \cdot 10^{-23}} = 273,15 \text{ К}, \quad (18)$$

$$T = t^{\circ} + 273,15. \quad (19)$$

Видно, что для перехода в измерении температуры со шкалы Цельсия на шкалу Кельвина необходимо использовать уравнение (19). Однако разности температур и в той и в другой шкалах совпадают:

$$\Delta T = \Delta t^{\circ}. \quad (20)$$

Поэтому, решая задачу о нагретой на  $20^{\circ}\text{C}$  воде, не надо беспокоиться о выборе шкалы, ибо вода также нагрелась на 20 К. Заканчивая рассказ о температуре преобразуем уравнение (17):

$$\frac{pV}{N} = kT \Rightarrow p = \frac{N}{V} kT = nkT \Rightarrow p = nkT. \quad (21)$$

Мы получили, что давление изменяется прямо пропорционально концентрации молекул и абсолютной температуре газа. А теперь воспользуемся уравнениями (14) и (21):

$$\left. \begin{array}{l} p = \frac{2}{3} n \bar{W}_K^0 \\ p = nkT \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{2}{3} n \bar{W}_K^0 = nkT \Rightarrow \bar{W}_K^0 = \frac{3}{2} kT. \quad (22)$$

Обращаю Ваше внимание, что полученное выражение описывает кинетическую энергию одной молекулы. Для определения кинетической энергии, запасенной газом, необходимо уравнение (22) умножить на количество молекул в газе  $N$ . Из уравнения (22) можно сделать вывод, что температура – это мера средней кинетической энергии поступательного движения молекул. Вот Вам и **третье, энергетическое определение температуры**.

Из уравнений (13) и (22) следует, что **среднеквадратичная скорость теплового движения молекул** должна зависеть от температуры следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \bar{W}_K^0 &= \frac{m^0 \bar{v}_{KB}^2}{2} \\ \bar{W}_K^0 &= \frac{3}{2} kT \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{m^0 \bar{v}_{KB}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \Rightarrow \bar{v}_{KB} = \sqrt{\frac{3kT}{m^0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \quad (23)$$

здесь  $R = k \cdot N_A = 8,31$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная. Кстати **среднеарифметическая скорость теплового движения молекул** зависит от температуры подобным же образом, но отличается численным коэффициентом:

$$\bar{v}_{AP} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}. \quad (24)$$

### Законы идеального газа

Ну что ж, изучив такой важный параметр как температура, мы закончили знакомство с тремя основными параметрами состояния идеального газа. Но как они связаны между собой? Как меняется давление при изменении температуры или объема? Чтобы ответить на эти вопросы надо преобразовать уравнение (17) используя понятие количества вещества  $\nu$  (2) и число Авогадро  $N_A$ . Все перечисленные величины уже знакомы Вам, поэтому Вы легко разберетесь в выводе уравнения (25):

$$\left. \begin{aligned} \frac{pV}{N} &= kT \\ N &= \nu \cdot N_A \end{aligned} \right\} \Rightarrow pV = \nu N_A kT \Rightarrow pV = \nu RT, \quad (25)$$

$$\text{или} \quad pV = \frac{m}{M} RT. \quad (26)$$

Уравнение (25) называют **уравнением состояния идеального газа**, а (26) – **уравнением Менделеева – Клапейрона**. Оно устанавливает связь между давлением, объемом и температурой для любой массы любого газа. Однако если мы хотим решить упрощенную задачу, где не меняется количество вещества, заключенного в данном объеме, то справедливым будет полученное из (25) уравнение (27):

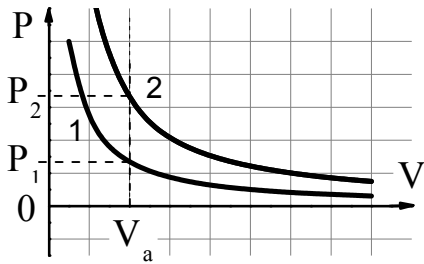
$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R = \nu R = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \quad (27)$$

Следовательно, при сохранении количества вещества  $\nu$ , и при любых значениях давления, объема и температуры газа соотношение параметров (27) будет неизменным. Если же вдобавок к сказанному **постоянна температура газа**, то уравнение (27) примет более простой вид:

$$pV = \text{const} \quad \text{или} \quad p_1V_1 = p_2V_2. \quad (28)$$

Процесс изменения состояния газа при постоянной температуре называется **изотермическим процессом**, следовательно, уравнение (28) описывает изотермический процесс. Графики таких процессов приведены на *рис. 4* и называются изотермами. **Изотерма** – кривая, на которой лежат точки, соответствующие состоянию газа при постоянной температуре.

Для сравнения параметров приведенных графиков необходимо воспользоваться уравнением (27). Видно, что температура второй изотермы больше чем первой, т. е. температура у того изопроецесса больше, чья изотерма на графике проходит выше.



В любой точке изотермы 1 температура постоянна и равна  $T_1$ . В любой точке изотермы 2 температура постоянна и равна  $T_2$ .

Какая температура выше? Так как при одинаковом объеме  $V_a$   $p_2 > p_1$ , то  $T_2 > T_1$ .

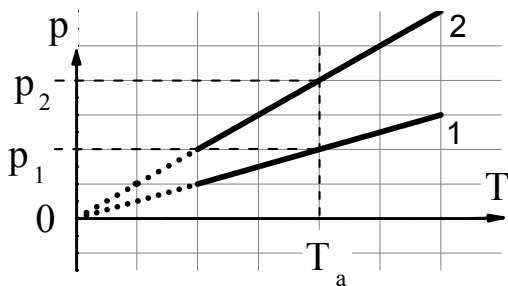
Рис. 4.

Если же рассмотреть процессы, происходящие в газах **при постоянном объеме**, то из уравнения (27) можно записать:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}. \quad (29)$$

Такой процесс называется **изохорным**, а графики, приведенные на *рис. 5* – **изохорами**. **Изохора** – кривая, на которой лежат точки, соответствующие состоянию газа при постоянном объеме.

Для сравнения параметров, приведенных графиков необходимо воспользоваться уравнением (27). Видно, что объем первой изохоры больше, чем второй, т. е. объем у того изопроецесса больше, чья изохора на графике проходит ниже.



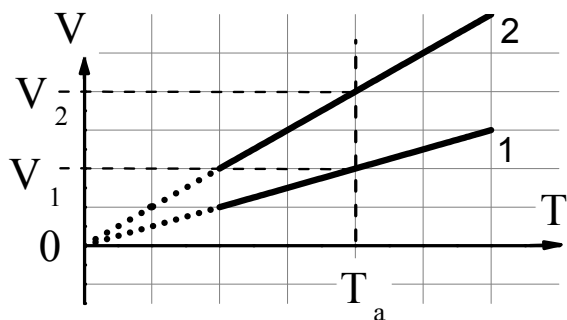
В любой точке изохоры 1 объем постоянен и равен  $V_1$ . В любой точке изохоры 2 объем постоянен и равен  $V_2$ .

Какой объем больше? Так как при одинаковой температуре  $T_a$   $p_1 < p_2$ , то  $V_1 > V_2$ .

Рис. 5.

Но почему изохоры начинаются пунктиром? Это связано с тем, что при низкой температуре газы вымерзают, превращаясь сначала в жидкость, а затем в лед и никогда не смогут существовать при температурах, близких к абсолютному нулю.

**Изобарный процесс** происходит при постоянном давлении и описывается уравнением (30), а **изобары** изображены на *рис. 6*.



В любой точке изобары 1 давление постоянно и равно  $p_1$ . В любой точке изобары 2 давление постоянно и равно  $p_2$ . Какое давление больше? Так как при одинаковой температуре  $T_a$   $V_1 < V_2$ , то  $p_1 > p_2$ .

Рис. 6.

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}. \quad (30)$$

Для сравнения параметров, приведенных графиков необходимо воспользоваться уравнением (27). Видно, что давление первой изобары больше, чем второй, т.е. давление у того изопроцесса больше, чья изобара на графике проходит ниже.

## ТЕРМОДИНАМИКА

### Внутренняя энергия

Теперь познакомимся с термодинамическим описанием тепловых процессов. **Термодинамика** изучает условие превращения энергии из одного вида в другой. К термодинамическим параметрам, описывающим термодинамическое состояние тела (системы тел) относятся температура, теплоемкость, плотность и т. д. Любое тело, состоящее из отдельных частиц, обладает внутренней энергией. Для любых макроскопических тел, находящихся в любом агрегатном состоянии, **внутренняя энергия тела  $U$**  складывается из потенциальной энергии взаимодействия молекул или атомов и кинетической энергии их теплового движения:

$$U = W_{\text{внутренняя}} = W_K + W_{\Pi}. \quad (31)$$

Но для идеального газа согласно определению, потенциальная энергия взаимодействия частиц равна нулю, следовательно, **для идеального газа**

$$W_{II} = 0 \quad \text{и} \quad U = W_K. \quad (32)$$

Для расчета внутренней энергии идеального газа, состоящего из  $N$  частиц  $U_N$ , используем уравнения (2) и (22):

$$\left. \begin{array}{l} N = \nu \cdot N_A \\ \bar{W}_K^0 = \frac{3}{2} kT \end{array} \right\} \Rightarrow U_N = U_0 \cdot N = \frac{3}{2} kT \cdot \nu N_A = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT. \quad (33)$$

Следовательно, для идеального газа определенной массы  $m$  внутренняя энергия зависит только от температуры.

Однако для реальных газов, жидкостей и т.п. внутренняя энергия зависит не только от температуры, но и от занимаемого телом объема. Ибо потенциальная энергия взаимодействия частиц определяется расстоянием между ними и **для реальных тел**

$$U = U(T, V).$$

Существуют **два способа изменения внутренней энергии** – это совершение механической работы и теплопередача. Механическую работу мы уже изучали ранее, а вот **теплопередача** – это незнакомка, которая определяется как процесс изменения внутренней энергии тела без совершения работы. А **количество теплоты** выступает в роли меры энергии, передаваемой от тела к телу в процессе теплопередачи. Надеюсь, что Вы сообразили, что это определение нового физического понятия – количества теплоты? Измеряется количество теплоты в Джоулях. Однако если вернуться к теплопередаче, то выясняется, что имеются **три способа передачи тепла**. Первый способ – **теплопроводность** – передача тепла от одного слоя частиц к другому слою. Как пример теплопроводности, можно привести нагревание сковороды на плите перед жаркой. Второй – **конвекция** – перемещение частиц осуществляется при обогреве комнат печью или радиатором парового отопления. Молекулы воздуха, соприкасаясь с нагретыми поверхностями, переносятся внутри комнаты и обеспечивают ее нагрев. И последний способ – **лучеиспускание** (излучение). Лучшего примера, чем солнца, здесь не найти. А нагревание тел под солнечными лучами, я думаю, наблюдали все.

Количество теплоты, полученное любым телом при любом способе теплопередачи, окажется прямо пропорционально его массе и разности конечной и начальной температур:

$$Q = cm(t_2 - t_1). \quad (34)$$

Коэффициент пропорциональности  $c$  в уравнении (34) называется удельной теплоемкостью вещества и различен для разных веществ. **Удельная**

**теплоемкость вещества** численно равна количеству теплоты, необходимому для нагревания единицы массы на один градус. В этом легко убедиться, так как из уравнения (34) следует:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}. \quad (35)$$

Иногда в задачах встречается **понятие теплоемкости тела**  $C = cm$ , эта величина представляет собой произведение массы тела  $m$  на удельную теплоемкость вещества  $c$ , из которого тело изготовлено. Поэтому такого словосочетания, как теплоемкость тела пугаться не следует.

При решении задач на составление теплового баланса необходимо разбираться в понятиях **удельной теплотворности топлива**  $q$  – как количества теплоты, выделяемой одним килограммом топлива при полном сгорании

$$Q_{\text{выделяемое при сгорании}} = qm; \quad (36)$$

**удельной теплоты плавления**  $\lambda$  – как количество теплоты, идущей на превращение 1 кг твердого тела в жидкое при температуре плавления

$$Q_{\text{потребляемое при плавлении}} = \lambda m; \quad (37)$$

и уметь определять **коэффициент полезного действия (КПД)  $\eta$  нагревателя**, с помощью уравнения (38):

$$\eta = \frac{Q_{\text{ПОЛЕЗНОЕ}}}{Q_{\text{СГОРАН.ТОПЛЕВА}}} = \frac{cm(t_2 - t_1) + \lambda m + \dots}{qm} \cdot 100 \%. \quad (38)$$

## Работа в термодинамике

Теперь несколько слов **о работе в термодинамике**. Если в механике затраченная работа (за исключением работы сил трения и сопротивления) переходит в кинетическую и потенциальную, то в термодинамике работа внешних сил при отсутствии теплопередачи идет на увеличение внутренней энергии тела. Причем эта работа, зависит не только от начальных и конечных значений давления и объема, но и от характера термодинамического процесса. Другими словами различные газовые процессы – изобарный, изохорный, адиабатный требуют совершения различной работы для перехода из одинаковых начальных в одинаковые конечные состояния. На этом основано действие всех **тепловых машин** – устройств для превращения тепловой энергии в механическую. **Газ совершает положительную работу  $A$** , если он расширяется и его объем увеличивается. Если объем газа уменьшается, то **над газом совершают работу сторонние (внешние) силы и  $A' = -A$** . При постоянстве объема занимаемого газом  $A = A' = 0$ .

## І закон термодинамики

Закон сохранения энергии, распространенный на тепловые явления носит название **І закон термодинамики** и гласит, что изменение внутренней энергии термодинамической системы  $\Delta U$  при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил  $A'$ , совершенной над телом, и количества теплоты  $Q$ , переданного системе (те есть полученного телом). Закон описывается уравнение (39):

$$\Delta U = A' + Q. \quad (39)$$

Как **следствие этого закона** можно утверждать, что внутренняя энергия изолированной термодинамической системы остается неизменной.

Применив первый закон термодинамики к изопроцессам, мы обнаружим, что для **изохорного процесса** в связи с постоянством объема работа газа  $A = 0$ , следовательно, изменение внутренней энергии газа при таком процесс определяется количеством теплоты, переданной в процессе теплопередачи:

$$\Delta V = 0 \Rightarrow A = 0 \Rightarrow \Delta U = Q, \quad (40)$$

если тепло поглощается газом  $Q > 0$ , то внутренняя энергия у него растет  $\Delta U > 0$ .

**При изотермическом процессе** постоянство температуры обеспечивает неизменность внутренней энергии идеального газа. В этом случае всё количество теплоты, поступающее газу в процессе теплопередачи, расходуется на совершение работы:

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q = (-A') = A. \quad (41)$$

При нагревании  $Q > 0$  газ расширяется сам, т. е. газ совершает положительную работу  $A > 0$ , а внешние силы, совершают при этом как бы отрицательную  $A' < 0$ , ведь именно работа внешних сил записана в уравнении (39). Значит, количество теплоты  $Q$ , которое передано газу, и работа сторонних сил над газом  $A'$  будут иметь при изотермическом процессе противоположные знаки.

**При изобарном процессе** количество теплоты, подводимое газу, расходуется и на увеличение внутренней энергии и на работу газа против внешних сил. Это условие для нагреваемого газа можно записать уравнением (42):

$$Q > 0 \Rightarrow A = (-A') > 0 \text{ и } \Delta U > 0. \quad (42)$$

Теперь пришло время познакомиться с **адиабатным процессом**, процессом, который происходит без обмена теплотой с окружающими телами, т. е. происходит в теплоизолированной системе  $Q = 0$ . В таких условиях положительная работа внешних сил  $A' > 0$  ведет к увеличению внутренней энергии тела. Значит, в адиабатных условиях работа внешних сил приводит к

сжатию газа, увеличению его внутренней энергии и температуры. Уравнение (43) и описывает этот процесс:

$$Q = 0 \Rightarrow \Delta U = A'. \quad (43)$$

**Под необратимостью тепловых процессов** следует понимать невозможность возвращения в исходное состояние всех частей системы и любых внешних тел, с которыми система взаимодействовала при осуществлении реальных термодинамических процессов.

А как поведут себя нереальные процессы, и чем они отличаются от реальных?

Все **реальные процессы** протекают с некоторой скоростью, отличной от 0. А **нереальные процессы** идут с бесконечно малой скоростью, т.е. со скоростью, практически равной 0. И за счет этой, бесконечно малой скорости, являются обратимыми процессами.

К примеру, накачав насосом волейбольный мяч, Вы почувствуете, что насос нагрелся. Если же теперь слегка перестроить его и насосом выкачать воздух из мяча, то он нагреется еще больше. Это нагревание вызвано наличием трения между поршнем и стенками насоса. Значит, даже если предположить, что газ вернулся в исходное состояние, то это не так для насоса – внешнего тела, с которым газ взаимодействовал. Следовательно, процесс, приведенный в примере, оказался необратимым.

Если провести описанный только что процесс с бесконечно малой скоростью, то в этом случае работа сил трения окажется практически равной 0:

$$v = 0 \Rightarrow A_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot vt = 0, \quad (44)$$

и процесс окажется обратимым, но нереальным, потому что с такой скоростью Вам никогда не накачать мяч.

## **Принцип действия тепловых двигателей**

Теперь, получив достаточные знания из термодинамики, рассмотрим **принцип действия тепловых двигателей**.

Прежде всего, определим само понятие двигателей как устройств, способных совершать работу. **Тепловые двигатели** – это устройства, превращающее внутреннюю энергию топлива в механическую энергию и затем в механическую работу.

В тепловом двигателе сгорает топливо для нагревания рабочего тела на температуру от 100 до 1000 градусов. При этом **рабочим телом всех тепловых двигателей является газ**. Тепловой двигатель совершает работу за счет изменения внутренней энергии рабочего тела при переходе теплоты от нагретого рабочего тела к холодильнику. Следовательно, тепловой двигатель не может работать при одинаковой температуре рабочего тела и окружающей



среды. Тепловой двигатель должен совершать периодические или, иначе говоря, стационарные, **циклические процессы**. А циклическими называются такие процессы, при которых рабочее тело возвращается в исходное состояние.

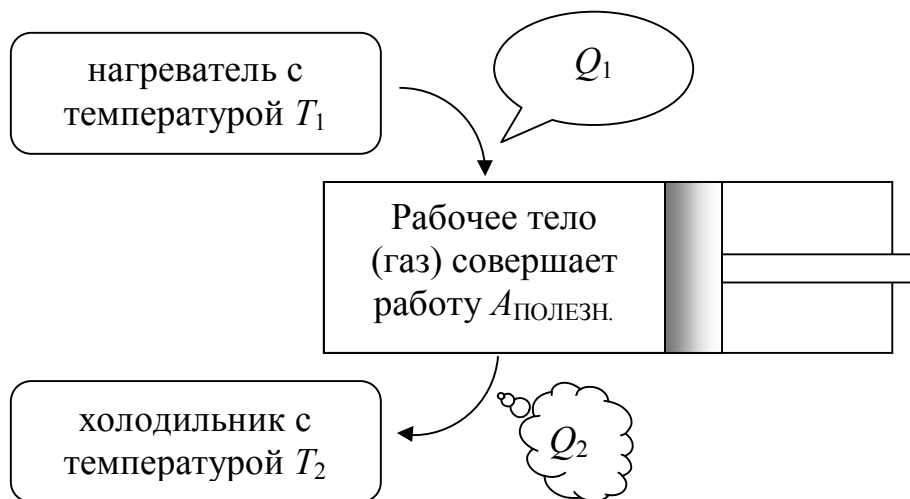


Рис. 7.

Однако вернемся к работе двигателя. Для периодической работы двигателя требуется сжатие газа до исходной начальной точки. Работа по сжатию газа будет меньше работы самого газа при расширении, если газ сжимать при меньшей температуре. Чтобы добиться этого, необходимо перед сжатием охладить газ – отдать количество теплоты  $Q_2$  холодильнику. После сжатия, получив количество теплоты  $Q_1$ , от нагревателя, рабочее тело совершает полезную работу и затем передает холодильнику количество теплоты  $Q_2$  меньшее, чем  $Q_1$ . Рис. 7 и служит иллюстрацией к принципу действия тепловых двигателей. В реальных двигателях нагревателем служит горючее, рабочим телом – смесь воздуха и паров топлива, а холодильником – либо охлаждающая жидкость, либо воздух в случае воздушного охлаждения двигателя.

Для расчета КПД теплового двигателя необходимо применить определение КПД к тепловым машинам:

$$\eta = \frac{A_{\text{ПОЛЕЗН.}}}{A_{\text{ЗАТР.}}} = \frac{A_{\text{ГАЗА}}}{Q_{\text{НАГРЕВ.}}} \cdot 100 \%. \quad (45)$$

Видно, что КПД теплового двигателя определяется отношением полезной работы, совершенной газом за цикл, к количеству теплоты, полученному от нагревателя, т. е. количеству теплоты, полученному при сгорании топлива. Так как за один цикл внутренняя энергия рабочего тела  $U$  не меняется, то работа газа  $A$ , согласно I закону термодинамики, будет равна

количеству теплоты полученной рабочим телом за цикл  $A_{\text{ГАЗА}} = (Q_1 - Q_2)$  (см. рис. 7), тогда:

$$\eta = \frac{A_{\text{ГАЗА}}}{Q_{\text{НАГРЕВ.}}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \cdot 100 \%. \quad (46)$$

Максимальное значение КПД теплового двигателя независимо от его конструкции определяется как

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \cdot 100 \%, \quad (47)$$

называется КПД идеальной тепловой машины и не может превышать 100 %. Любой, реально существующий тепловой двигатель не может превысить  $\eta_{\text{max}}$ , определяемого соотношением температуры нагревателя  $T_1$  и холодильника  $T_2$ . Надеюсь, что, глядя на уравнение (47), Вы сами сможете определить, как надо менять температуры нагревателя и холодильника для повышения КПД.

К чему ведет широкое использование тепловых двигателей? К облегчению жизни человечества, которое, однако, сопровождается шумом, грязью и нехваткой кислорода в местах массового применения таких двигателей. Чтобы снизить отрицательное воздействие тепловых двигателей на окружающую среду, необходимо повышать их КПД, очищать выхлоп и снижать шум при работе двигателей.

### Агрегатные состояния вещества

Любое твердое тело можно расплавить, затратив на это необходимую энергию. Уравнение этого теплового процесса было приведено ранее (37). Однако следует учитывать, что кроме процессов плавления возможны и обратные процессы – затвердевания, которые детально будут рассмотрены в разделе о свойствах твердых тел. Здесь же отметим, что при переходе любого твердого тела в жидкое состояние его внутренняя энергия возрастает, а при затвердевании – уменьшается, то есть часть энергии выделяется во внешнюю среду. При этом изменение энергии одного и того же тела при плавлении и при затвердевании численно равны.

Теперь разберемся с таким распространенным явлением, как **парообразование**, которое является переходом вещества в пар.

Парообразование может происходить двумя способами: **испарением** – парообразованием с открытой поверхности, и **кипением** – парообразованием не только с поверхности, но и изнутри жидкости. Вы обратили внимание, что ссылка на жидкость появилась только в определении процесса кипения? Дело в том, что испарение вещества происходит не только у жидкостей, но и у твердых тел. Испарение твердых тел называется возгонкой, или сублимацией. Запахи от новой мебели или от новых пластиковых панелей являются результатом

испарения твердых тел. Скорость испарения зависит от сил притяжения между молекулами вещества и различна у различных материалов. Однако у любых веществ скорость испарения зависит от площади свободной поверхности, температуры и скорости движения воздуха над поверхностью. Чем больше любой из этих показателей, тем выше скорость испарения.

Рассмотрим особенности процесса испарения на примере жидкости. То, что летом, когда воздух теплее воды, да еще греет солнце, можно замерзнуть после купания в теплом море, связано с механизмом испарения. Во время испарения воды, оставшейся на теле, её поверхность покидают только те молекулы, кинетическая энергия которых позволяет преодолеть силы притяжения к остающимся молекулам, поэтому поверхность жидкости покидают молекулы с наибольшей кинетической энергией. Это приводит к снижению средней кинетической энергии всех оставшихся в жидкости молекул и, по определению, ведет к снижению температуры жидкости. Вышедший из воды купальщик весь покрыт каплями воды, и поверхность испарения оказывается очень большой, а большая скорость испарения воды ведет к резкому охлаждению капель и, как следствие, кожного покрова. С испарением на открытом воздухе разобрались.

А каковы особенности испарения жидкости в закрытом сосуде?

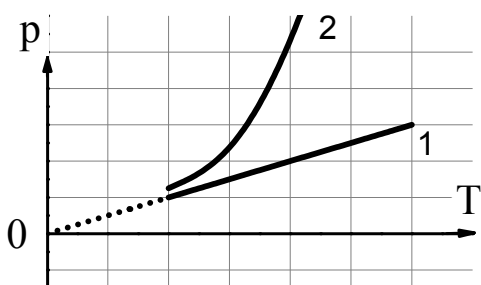
Механизм испарения там такой же, но в закрытом сосуде над жидкостью скапливается пар. В результате молекулы пара за счет своего хаотического движения могут возвращаться в жидкость. Такой процесс называется **конденсацией** – превращением пара в жидкость. Если в единицу времени с единицы площади поверхности жидкости количество испарившихся молекул  $N_{\text{ИСПАР}}$  больше сконденсировавшихся  $N_{\text{КОНД}}$ , значит, скорость испарения выше скорости конденсации и пар называется **ненасыщенным**. **Условие ненасыщенного пара:**

$$N_{\text{ИСПАР}} > N_{\text{КОНД}}. \quad (48)$$

При этом условии в закрытом сосуде количество молекул, сосредоточенных в паре будет расти, что приведет к увеличению скорости конденсации. Со временем наступит момент, когда скорость испарения и скорость конденсации сравняются – наступит **динамическое равновесие** между испарением и конденсацией. В этом случае пар называют **насыщенным** и **условие насыщенного пара** можно записать как

$$N_{\text{ИСПАР}} = N_{\text{КОНД}}. \quad (49)$$

Давление насыщенного пара в закрытом сосуде не зависит от объема, свободного от жидкости, а зависит только от температуры. Сравнение зависимостей  $p(T)$  для насыщенного пара и идеального газа приведено на *рис. 8*.



- 1 – изохора идеального газа;
- 2 – изохора насыщенного пара.

Видно, что насыщенный пар не подчиняется законам идеального газа и его давление очень быстро растёт с увеличением температуры.

Рис. 8.

Что же произойдет, когда давление насыщенного пара при увеличении температуры окажется равно внешнему давлению на поверхность жидкости? Начнется парообразование не только с поверхности, но и изнутри жидкости, т. е. кипение. Однако для закипания жидкости необходимо наличие центров парообразования – соринки или примесей, без которых кипение не начнется, и жидкость будет продолжать нагреваться выше температуры кипения. В этом случае жидкость называют перегретой. Всякая жидкость имеет свою температуру кипения, которая увеличивается с увеличением внешнего (в частности – атмосферного) давления на её поверхность. Эта зависимость температуры кипения жидкости от давления приводит к тому, что высоко в горах сварить картошку в открытой кастрюле невозможно, так как температура кипения воды не превышает 80 °С.

Уравнение теплового баланса процесса парообразования представлено уравнением (50):

$$Q = r \cdot m, \tag{50}$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования, численно равная количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг жидкости в пар при температуре кипения, а  $m$  – масса испарившейся жидкости. Для разных жидкостей удельная теплота парообразования  $r$  различна.

### Влажность воздуха

Прежде, чем изучать **влажность воздуха**, дыхните на стекло или зеркало – от вашего дыхания поверхность запотеет. Значит, если человека закрыть в совершенно сухой комнате с совершенно сухим воздухом, то постепенно воздух увлажнится за счет выделяемого водяного пара. Величина, измеряемая количеством водяного пара в 1 м<sup>3</sup> воздуха, называется **абсолютной влажностью** воздуха  $\rho_{\text{пар}}$ . Находящийся в воздухе водяной пар создает парциальное давление и при расчете общего давления на поверхность (в соответствии с законом Дальтона) его надо учитывать согласно уравнению (51):

$$\sum p = p_{\text{сухого воздуха}} + p_{\text{водяного пара}} \quad (51)$$

Абсолютную влажность как плотность пара  $\rho_{\text{пар}}$  можно выразить через парциальное давление пара  $p_{\text{пара}}$  с помощью уравнения Менделеева – Клапейрона (26):

$$\rho_{\text{пара}} = p_{\text{пара}} \frac{\mu}{RT} \quad (52)$$

Для определения насыщенности воздуха водяным паром вводят понятие **относительной влажности** как отношение абсолютной влажности к предельно возможной абсолютной влажности при данной температуре, т. е. к количеству пара в 1 м<sup>3</sup> насыщенного влагой воздуха. Относительная влажность вычисляется в процентах по уравнению (53):

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{ПАРА}}}{\rho_{\text{НАС}}} = \frac{p_{\text{ПАРА}}}{p_{\text{НАС}}} \quad (53)$$

Абсолютную влажность  $\rho_{\text{пара}}$  экспериментально можно определить, используя конденсационный гигрометр, **по точке росы**, т. е. по температуре, при которой пар, находящийся в воздухе становится насыщенным. Для этого необходимо из таблицы плотности насыщенных паров взять значение, соответствующие температуре начала образования росы на охлаждаемой поверхности.

Относительную влажность  $\varphi$  определяют волосяным гигрометром, считывая его показания, и психрометром, используя психрометрические таблицы.

### Механические свойства твердых тел

Прежде чем рассмотреть механические свойства твердых тел познакомимся с классификацией твердых тел. Твердыми телами называются тела, имеющие постоянную форму, которую они сохраняют за счет значительно более сильного притяжения и отталкивания между атомами и молекулами по сравнению с газами и жидкостями. Твердые тела делятся на **две группы – кристаллические и аморфные**. Аморфными называются твердые тела, не имеющие упорядоченной структуры. Такие тела иногда называют переохлажденной жидкостью. Для примера аморфных тел можно назвать – смолы, стекло, пластмассу. Особенностью аморфных тел является отсутствие точного значения температуры плавления и затвердевания. При прохождении этих процессов температура аморфных тел продолжает меняться и при плавлении плавно увеличивается, а при затвердевании – плавно уменьшается.

Кристаллические тела – это тела, имеющие упорядоченное периодически повторяющееся расположение частиц. Физики говорят, что частицы при этом

образуют кристаллическую решетку. Все кристаллические тела имеют точную **температуру плавления** и кристаллизации – **точку плавления**, которая остается неизменной, пока всё кристаллическое тело не поменяет своего агрегатного состояния. У каждого кристаллического тела собственная температура кристаллизации и плавления, которая обычно увеличивается с увеличением давления. Кристаллические твердые тела могут представлять из себя **монокристалл** – тело, состоящие исключительно из периодически повторяющихся частиц. В пример можно привести кристалл поваренной соли из вашей солонки, алмаз для резки стекол. Однако, большинство твердых тел – это **поликристаллы** – т. е. кристаллические тела, состоящие из большого количества сросшихся, хаотически расположенных мелких кристаллов. Здесь примеров может быть значительно больше. Укажем только гранит и чугунную сковороду, как наиболее наглядные поликристаллы. Общая схема классификации кристаллических тел представлена на *рис. 9*.

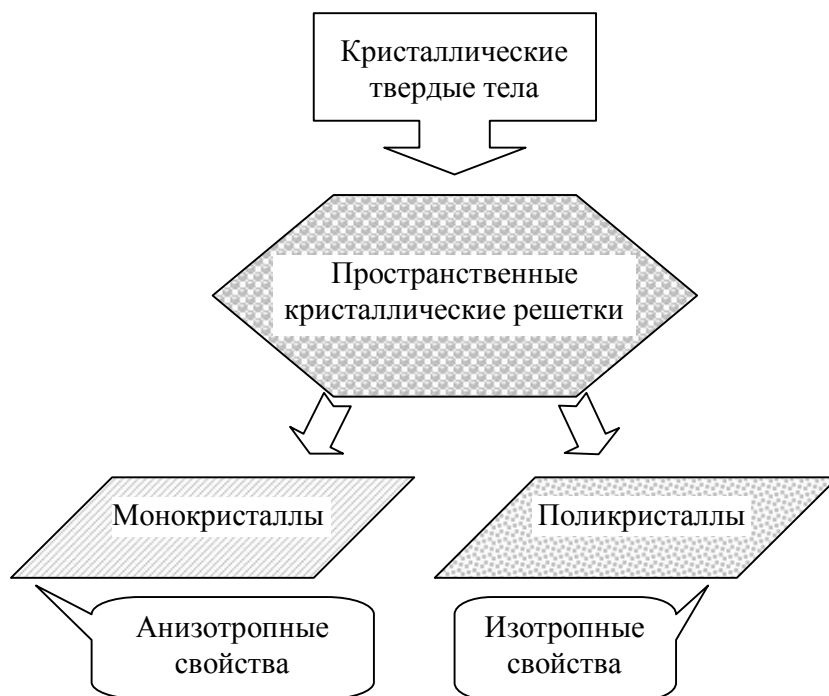


Рис. 9.

Видно, что классификация заканчивается указанием на различие свойства твердых тел. Так в поликристаллических твердых телах механические, электрические, оптические свойства не зависят от направления. Тела с одинаковыми свойствами в различных направлениях называются **изотропными**.

В отличие от них у монокристаллов физические свойства неодинаковы в различных направлениях и определяются размерами элементарной ячейки кристаллической решетки. Тела с различными свойствами по разным направлениям называются **анизотропными** телами.

Ну вот, закончив классификацию твердых тел, перейдем теперь к их свойствам. Для начала познакомимся с деформациями твердых тел.

**Деформации** бывают следующих видов:

**Растяжение** – удлинение тела в продольном и сужение его в поперечном направлении. Для примера возьмите стиральную резинку двумя руками и потяните в разные стороны. Вы почувствуете, как она сама удлиняется и сужается в середине.

**Сжатие** – деформация противоположная растяжению. Проведите опыт по сжатию стиральной резинки и запишите, как и в каких направлениях, она деформировалась.

**Изгиб** – это сложная деформация, при которой одна сторона тела испытывает сжатие, а другая – растяжение. Возьмите опять большим и указательным пальцами одной руки. Сожмите пальцами и Вы увидите деформацию изгиба.

**Сдвиг** – это смещение слоев твердого тела параллельно основанию под действием силы, приложенной к верхнему и нижнему основанию образца. Для наблюдения этой деформации возьмите пять спичек, выложенных рядом друг с другом, большим и указательным пальцем одной руки. Представив спички, как слои одного твердого тела, пошевелите большим пальцем. Наблюдаемое Вами движение аналогично параллельному перемещению слоев твердого тела, т. е. аналогично деформации сдвига.

Последний вид деформации – **кручение** – это относительный поворот параллельных между собой сечений. Для наглядности возьмите те же пять спичек, и проткните их все по середине одной иголкой. Если предположить, что каждая спичка – это сечение некоего твердого тела, то повернув по очереди спички на небольшой угол вокруг общей оси – иголки вы и получите деформацию кручения.

С классификацией деформаций мы закончили. Остается добавить, что механические свойства твердых тел определяются особенностями их деформации под воздействием внешних сил. Если после прекращения действия силы форма и объем тела полностью восстанавливаются – то тело абсолютно упруго. Деформация абсолютно упругого тела **называется упругой деформацией**. Пример такого абсолютно упругого тела – много испытывавшая уже стиральная резинка. Ясно, что наблюдаемые виды деформаций с помощью резинки так же были упругими деформациями.

Если же после прекращения действия внешней силы деформация тела сохраняется, то это **остаточная деформация**, а тело – **тело пластичное**. Примером в этом случае могут служить деформации пластилина.

Попробуем математически описать **малые упругие деформации**, вызванные незначительным растяжением упругого тела. Запишем **относительное удлинение  $\epsilon$**  такого тела уравнением (54):

$$\varepsilon = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}, \quad (54)$$

здесь  $\ell_0$  и  $\ell$  - соответственно длина тела до деформации и его длина во время деформации. В деформированном теле возникает **механическое напряжение**  $\sigma$ , измеряемое в Па и равное отношению модуля силы упругости  $F$ , возникшей в деформированном теле, к площади сечения этого тела  $S$ :

$$\sigma = \frac{F}{S}. \quad (55)$$

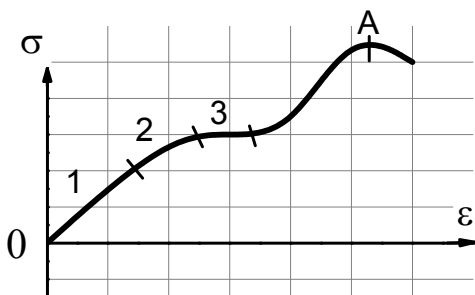
При малых деформациях механическое напряжение  $\sigma$  прямо пропорционально относительному удлинению  $\varepsilon$  и, введя коэффициент пропорциональности  $E$ , можно записать:

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon|. \quad (56)$$

Коэффициент пропорциональности  $E$  называется модулем упругости или модулем Юнга. Он у всех материалов различен, но не зависит от формы и размеров изделия. Подставив уравнение (54) и (55) в уравнения (56) получим окончательное выражение (57) для вычисления возникающей в теле силы упругости:

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{|\Delta \ell|}{\ell_0} \Rightarrow F_{\text{упругости}} = \frac{E \cdot S}{\ell_0} |\Delta \ell|. \quad (57)$$

Перед тем как расстаться с молекулярной физикой и тепловыми явлениями, взгляните на диаграмму растяжения твердого тела, представленную на *рис. 10*. По осям отложены знакомые вам по уравнениям (54) и (55)  $\varepsilon$  и  $\sigma$ . Первый участок кривой на зависимости  $\sigma(\varepsilon)$  соответствует малым упругим деформациям и подчиняется



уравнению (56). Вторым участком уже не подчиняется этому уравнению, но деформация все еще упругая, так как при снятии напряжения  $\sigma$  тело вернется к исходным размерам. Третий участок – это начало пластической деформации. В (·)А механическое напряжение  $\sigma$  достигает максимального значения  $\sigma_{\text{max}}$ ,

Рис. 10.

называемого пределом прочности. После

этого значение напряжения  $\sigma$  уменьшается вплоть до разрыва тела.



Вот и закончилась наша недолгая экскурсия по залу теории молекулярной физики и тепловых явлений. Теперь Вы можете самостоятельно пройтись по нему, внимательнее рассмотреть наиболее интересные или не сразу понятные экспонаты и без труда выполнить практические тестовые задания, приведенные в следующем разделе нашей экспозиции. После их успешного выполнения можно перейти к решению более сложных задач.

## Задачи

### Основные положения МКТ

1. Укажите, какие вещества состоят из частиц:

- |                |               |
|----------------|---------------|
| 1) А и Б;      | А) пластилин; |
| 2) А, Б, В;    | Б) стекло;    |
| 3) А, Б, В, Г; | В) водород;   |
| 4) В;          | Г) кирпич.    |

2. Из каких частиц состоят все вещества?

- |                |                        |
|----------------|------------------------|
| 1) А и Б;      | А) молекул;            |
| 2) А, Б, В;    | Б) атомов;             |
| 3) А, Б, В, Г; | В) броуновских частиц; |
| 4) В;          | Г) пылинок.            |

3. Чем атом отличается от молекулы?

- 1) первый – наибольшая частица химического элемента, вторая – наибольшая частица вещества;
- 2) первый- наибольшая частица вещества, вторая – наибольшая частица химического элемента;
- 3) первый – наименьшая частица химического элемента, вторая – наименьшая частица вещества;
- 4) первый- наименьшая частица вещества, вторая – наименьшая частица химического элемента.

4. Доказательством существования частиц в веществе является:

- |                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| 1) А и Б;      | А) броуновское движение;    |
| 2) А, Б, В;    | Б) диффузия;                |
| 3) А, Б, В, Г; | В) наблюдения в электронном |
| 4) В;          | микроскопе;                 |
|                | Г) пылевые бури.            |

5. В каких веществах частицы хаотически движутся?

- |                |               |
|----------------|---------------|
| 1) А и Б;      | А) пластилин; |
| 2) А, Б, В;    | Б) стекло;    |
| 3) А, Б, В, Г; | В) водород;   |
| 4) В;          | Г) кирпич.    |

6. В твердом теле расстояние между центрами соседних атомов:

- 1) примерно равны размерам атомов;
- 2) значительно больше размеров атомов;
- 3) значительно меньше размеров атомов;
- 4) равно нулю.

7. Число Авогадро – это:

- 1) масса одного моля;
- 2) число молей в 1 г;
- 3) число частиц в 1 г;
- 4) число частиц в 1 моле.

8. Определить число молей в 0,96 кг кислорода:

- |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1) 0,3 моля; | 2) 0,6 моля; | 3) 30 молей; | 4) 60 молей. |
|--------------|--------------|--------------|--------------|

9. Известно, что плотность льда в десять раз меньше меди. Из это следует, что число атомов меди в одном моле  $N_{\text{Cu}}$  и число молекул льда в одном моле  $N_{\text{л}}$  соотносятся:

- 1)  $N_{\text{Cu}}/N_{\text{л}} = 10$ ;
- 2)  $N_{\text{Cu}}/N_{\text{л}} = 5$ ;
- 3)  $N_{\text{Cu}}/N_{\text{л}} = 1$ ;
- 4)  $N_{\text{Cu}}/N_{\text{л}} = 6 \cdot 10^{23}$ .

10. Броуновское движение – это движение:

- |                |             |
|----------------|-------------|
| 1) А и Б;      | А) атомов;  |
| 2) В и Г;      | Б) молекул; |
| 3) А, Б, В, Г; | В) пылинок; |
| 4) Б, В, Г;    | Г) соринок. |

11. Броуновское движение происходит:

- 1) по законам равномерного движения;
- 2) по законам равнопеременного движения;
- 3) по окружности;
- 4) хаотично, не подчиняясь никаким законам.

12. Диффузия – это проникновение:

- 1) атомов одного вещества в атомы другого вещества;
- 2) молекул одного вещества в молекулы другого вещества;
- 3) атомов и молекул одного вещества в атомы и молекулы другого вещества;
- 4) атомов и молекул одного вещества в промежутки между атомами и молекулами другого вещества.

13. Диффузия происходит:

- 1) в жидкостях;
- 2) в газах;
- 3) в жидкостях и газах;
- 4) в жидкостях, газах и твердых телах.

14. В положении равновесия на молекулу действуют сила притяжения  $F_{\text{пр}}$  и сила отталкивания  $F_{\text{от}}$  равные:

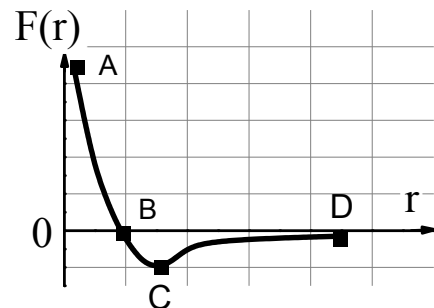
- 1)  $F_{\text{пр}} = F_{\text{от}} = 0$ ;
- 2)  $|F_{\text{пр}}| = |F_{\text{от}}|$ ;
- 3)  $F_{\text{пр}} > 0$ , а  $F_{\text{от}} < 0$ ;
- 4)  $F_{\text{от}} > 0$ , а  $F_{\text{пр}} = 0$ .

15. При уменьшении расстояния между молекулами относительно положения равновесия сила притяжения  $F_{\text{пр}}$  и сила отталкивания  $F_{\text{от}}$ :

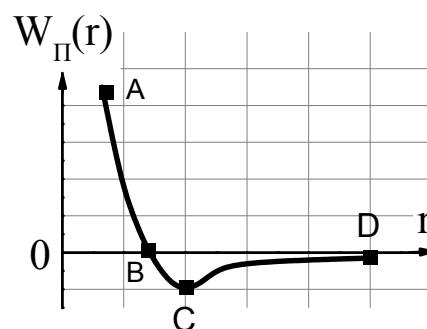
- 1)  $F_{\text{пр}}$  и  $F_{\text{от}}$  падают;
- 2)  $F_{\text{пр}}$  растет, а  $F_{\text{от}}$  падает;
- 3)  $F_{\text{от}}$  растет, а  $F_{\text{пр}}$  падает;
- 4)  $F_{\text{пр}}$  и  $F_{\text{от}}$  растут.

16. На рисунке представлена зависимость равнодействующей силы взаимодействия двух молекул. Какая из точек соответствует условию равновесия молекул?

- 1) A;    2) B;    3) C;    4) D.



17. На рисунке представлена зависимость потенциальной энергии взаимодействия двух молекул. Какая из точек соответствует условию равновесия молекул?



- 1) A;      2) B;      3) C;      4) D.

### Идеальный газ

18. Идеальный газ – это:

- 1) модель;              2) теория;              3) гипотеза;              4) понятие.

19. Найдите положение, противоречащее модели идеального газа:

- 1) молекулы сталкиваются как упругие шарики;
- 2) размеры молекул пренебрежимо малы;
- 3) молекулы взаимодействуют с силами притяжения и отталкивания;
- 4) молекулы сталкиваются со стенками абсолютно упругими ударами.

20. По каким параметрам врач анализирует состояние больного?

- |                |                 |
|----------------|-----------------|
| 1) A;          | A) температура; |
| 2) A, Б;       | Б) давление;    |
| 3) A, Б, В;    | В) масса тела;  |
| 4) A, Б, В, Г; | Г) объем тела.  |

21. Какие параметры необходимо знать для описания состояния идеального газа?

- |                |                      |
|----------------|----------------------|
| 1) А;          | А) давление;         |
| 2) А, Б;       | Б) температура;      |
| 3) А, Б, В;    | В) масса газа;       |
| 4) А, Б, В, Г; | Г) занимаемый объем. |

22. Какие из приведенных уравнений описывают давление газа?

- |             |                                       |  |
|-------------|---------------------------------------|--|
| 1) А;       | А) $p = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2$ ; | Б) $\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$ ; |
| 2) А, Б, Г; |                                       |  |
| 3) А, Б, В; | В) $p = \frac{2}{3} n \bar{W}_k$ ;    | Г) $p = \frac{F}{S}$ .                   |
| 4) А, Г;    |                                       |  |

23. Температура – это:

- |             |  |
|-------------|--|
| 1) А;       | А) мера средней кинетической энергии молекул;                    |
| 2) А, Б, Г; | Б) физическая величина, характеризующая степень нагретости тел;  |
| 3) А, Б, В; |  |
| 4) А, Г;    | В) физическая величина, характеризующая направление теплообмена; |
|             | Г) мера среднего размера молекул.                                |

24. Температуру можно измерять в градусах, используя шкалы:

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 1) А;          | А) Цельсия;    |
| 2) А, Б, Г;    | Б) Кельвина;   |
| 3) А, Б, В;    | В) Фаренгейта; |
| 4) А, Б, В, Г; | Г) Реомюра.    |

25. Абсолютной шкалой температур называется шкала:

- 1) Цельсия;
- 2) Кельвина;
- 3) Фаренгейта;
- 4) Реомюра.

26. Газ имеет температуру 127 °С, это:

- 1) 300 К;                    2) 327 К;                    3) 400 К;                    4) 427 К.

27. Тело нагрели на 47 °С. На сколько градусов изменилась температура тела по абсолютной шкале?

- 1) 47 К;                    2) 147 К;                    3) 320 К;                    4) 420 К.

28. При постоянной температуре газ характеризуется постоянной средней скоростью молекул. Какие из уравнений описывают среднеарифметическую скорость молекул?

- 1) А, Б;                    А)  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ ;                    Б)  $\bar{v} = 1,6\sqrt{\frac{RT}{M}}$ ;  
2) В, Г;                    В)  $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ;                    Г)  $\bar{v} = 1,7\sqrt{\frac{RT}{M}}$ .  
3) Б, В;  
4) А, Г;

29. Какие из уравнений описывают среднеквадратичную скорость молекул?

- 1) А, Б;                    А)  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ ;                    Б)  $\bar{v} = 1,6\sqrt{\frac{RT}{M}}$ ;  
2) В, Г;                    В)  $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ;                    Г)  $\bar{v} = 1,7\sqrt{\frac{RT}{M}}$ .  
3) Б, В;  
4) А, Г;



30. Среднеквадратичная скорость молекул воздуха ( $M = 29$  г/моль) при  $17\text{ }^\circ\text{C}$  равна:
- 1) 363 м/с;            2) 463 м/с;            3) 500 м/с;            4) 16 м/с;
31. Среднеквадратичная скорость молекул уменьшилась в 3 раза. Температура газа уменьшилась:
- 1) в 3 раза;            2) в 6 раз;            3) в 9 раз;            4) в  $\sqrt{3}$  раз.
32. При одинаковой температуре водорода и кислорода отношение среднеквадратичных скоростей их молекул  $\bar{v}_{\text{H}_2} / \bar{v}_{\text{O}_2}$  равно:
- 1) 16;            2) 4;            3) 0,25;            4) 1/16.
33. Для идеального газа при неизменной температуре средняя длина свободного пробега молекул:
- 1) прямо пропорциональна давлению;  
2) обратно пропорциональна давлению;  
3) не зависит от давления;  
4) прямо пропорциональна квадрату давлению.
34. Как изменится средняя длина свободного пробега молекул газа, если при сохранении температуры давление понизить в 2 раза?
- 1) уменьшится в 2 раза;  
2) возрастет в 2 раза;  
3) уменьшится в 4 раза;  
4) возрастет в 4 раза.
35. В десятилитровом баллоне водорода давление составляет  $0,5$  МПа. Определить среднюю тепловую энергию молекул водорода.
- 1) 7,5 кДж;            2) 5 кДж;            3) 10 кДж;            4) 7,5 мДж.

## Законы идеальных газов

36. Если в объеме  $V$  количество молей газа увеличили в 3 раза, а температура возросла только в 1,5 раза, значит давление в объеме изменилось:

- 1) в 3 раза уменьшилось;
- 2) в 4,5 раза увеличилось;
- 3) в 2 раза увеличилось;
- 4) в 3 раза увеличилось.

37. Найти объем 1 кмоль газа при температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении  $10^5$  Па.

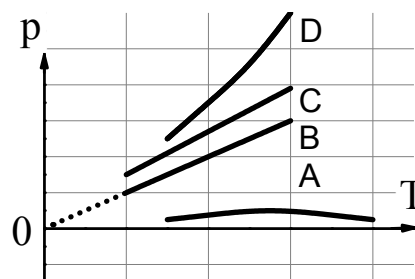
- 1)  $0,025\text{ м}^3$ ;
- 2)  $0,25\text{ м}^3$ ;
- 3)  $2,5\text{ м}^3$ ;
- 4)  $25\text{ м}^3$ .

38. Определить плотность водорода при  $127^\circ\text{C}$  и давлении  $8,3 \cdot 10^5$ .

- 1)  $500\text{ кг/м}^3$ ;
- 2)  $50\text{ кг/м}^3$ ;
- 3)  $5\text{ кг/м}^3$ ;
- 4)  $0,5\text{ кг/м}^3$ .

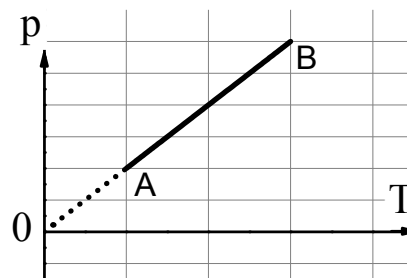
39. Какой из графиков соответствует изохорному процессу?

- 1) A;
- 2) B;
- 3) C;
- 4) D.



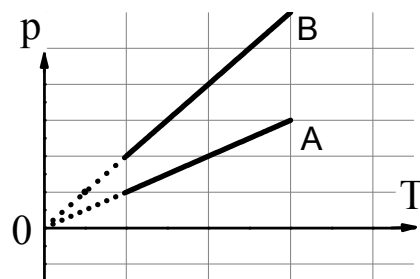
40. В процессе нагрева газа от  $T_A$  до  $T_B$  изменилось его давление  $p_B/p_A$  равно:

- 1) 3;
- 2) 2;
- 3) 1,5;
- 4) 1.



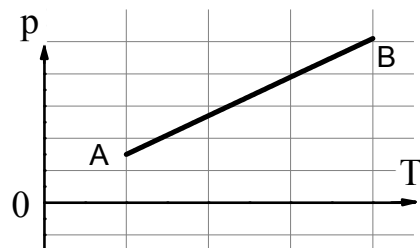
41. Соотношение объемов, занимаемых той же самой массой азота,  $V_A/V_B$  равно:

- 1) 0,2;    2) 0,5;    3) 1;    4) 2.



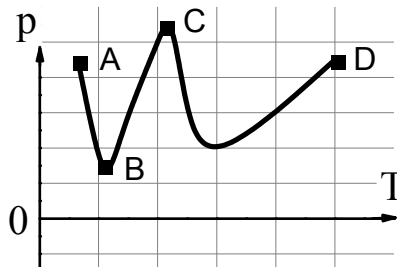
42. Объем, занимаемый газом, при переходе из состояния A в состояние B:

- 1) возрос в 4 раза;  
 2) остался неизменным;  
 3) уменьшился;  
 4) увеличился.



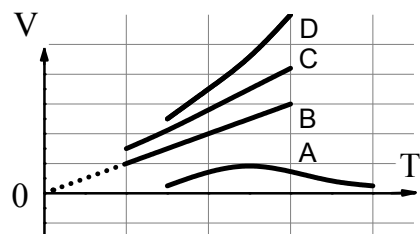
43. На графике представлены результаты экспериментов над постоянным количеством газа. В каком случае газ занимал наименьший объем?

- 1) A;    2) B;    3) C;    4) D.



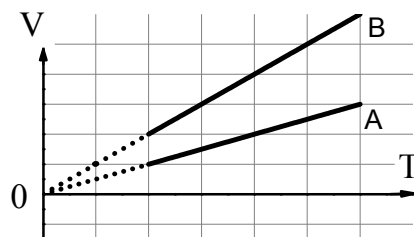
44. Какой из графиков соответствует изобарному процессу?

- 1) A;    2) B;    3) C;    4) D.



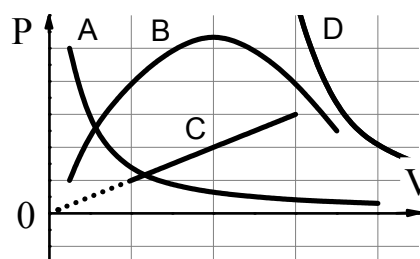
45. Соотношение давлений, создаваемых той же самой массой азота в указанных процессах,  $p_B/p_A$  равно:

- 1) 0,2;    2) 0,5;    3) 1;    4) 2.



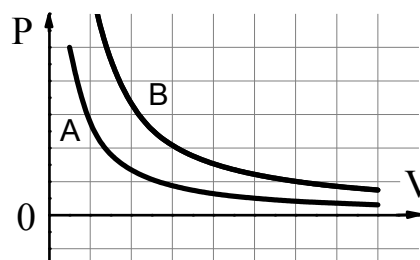
46. Какой из графиков соответствует изотермическому процессу?

- 1) A;    2) B;    3) C;    4) D.



47. Примерное соотношение температур той же самой массы гелия,  $T_B/T_A$  равно:

- 1) 0,2;    2) 0,5;    3) 1;    4) 2.



48. Объем воздушного пузырька, поднимавшегося с затонувшего предмета до поверхности водоема, увеличился за время подъема в 3 раза. Глубина водоема равна:

- 1) 10 м;                      2) 15 м;                      3) 20 м;                      4) 30 м.

49. Сосуд, содержащий 5 л воздуха при нормальном давлении, соединили с пустым сосудом в три раза большего объема. Если температуру газа считать неизменной, то давление воздуха станет равным:

- 1) 20 кПа;                      2) 25 кПа;                      3) 30 кПа;                      4) 33 кПа;

**50.** Два одинаковых объема, в одном из которых азот создает давление 60 кПа, а в другом – водород 50 кПа, соединили между собой. Температура газов одинакова, давление станет равным:

- 1) 50 кПа;                    2) 55 кПа;                    3) 60 кПа;                    4) 0,11 МПа.

## **Теплопередача**

**51.** Видами теплопередачи являются:

- |                |                            |
|----------------|----------------------------|
| 1) А;          | А) излучение;              |
| 2) А, Б;       | Б) конвекция;              |
| 3) А, Б, В;    | В) теплопроводность;       |
| 4) А, Б, В, Г; | Г) температуропроводность. |

**52.** Температура в комнатах устанавливается равномерной главным образом за счет:

- 1) излучения;
- 2) конвекции;
- 3) теплопроводности;
- 4) температуропроводности.

**53.** Теплопередача всегда идет:

- 1) от более нагретого тела к менее нагретому;
- 2) от менее нагретого тела к более нагретому;
- 3) при неизменной температуре тел;
- 4) при неизменном тепловом потоке.

**54.** Энергия, полученная телом в результате теплопередачи называется:

- 1) потенциальная энергия взаимодействия;
- 2) кинетическая энергия взаимодействия;
- 3) энергия поверхностного взаимодействия;
- 4) количество теплоты.

**55.** Количество теплоты  $Q$ , полученное телом при теплопередаче прямо пропорционально:

- |                |  |
|----------------|--|
| 1) А;          | А) массе тела $m$ ;                        |
| 2) А, Б;       | Б) изменению температуры тела $\Delta T$ ; |
| 3) А, Б, В;    | В) потенциальной энергии тела $W_{II}$ ;   |
| 4) А, Б, В, Г; | Г) кинетической энергии тела $W_K$ .       |

**56.** Количество теплоты, необходимое для нагревания тела можно рассчитать по формуле:

- 1)  $Q = cm\Delta T$ ;      2)  $Q = rm$ ;      3)  $Q = \lambda m$ ;      4)  $Q = qm$ .

**57.** Количество теплоты, необходимое для плавления тела можно рассчитать по формуле:

- 1)  $Q = cm\Delta T$ ;      2)  $Q = rm$ ;      3)  $Q = \lambda m$ ;      4)  $Q = qm$ .

**58.** Количество теплоты, необходимое для испарения тела можно рассчитать по формуле:

- 1)  $Q = cm\Delta T$ ;      2)  $Q = rm$ ;      3)  $Q = \lambda m$ ;      4)  $Q = qm$ .

**59.** Количество теплоты, выделяемое при горении можно рассчитать по формуле:

- 1)  $Q = cm\Delta T$ ;      2)  $Q = rm$ ;      3)  $Q = \lambda m$ ;      4)  $Q = qm$ .

60. При нагревании 100 г жидкости от 20 до 70 °С потребовалось 21 кДж.  
Удельная теплоемкость жидкости равна:

- 1) 4,2 кДж/(кг·К);                            2) 4,2 Дж/(кг·К);  
3) 420 Дж/(кг·К);                            4) 21 кДж/(кг·К).

61. На какую высоту можно поднять железобетонную плиту массой 1 т, затратив столько же энергии, сколько в задаче 60?

- 1) 2,1 см;                    2) 21 см;                    3) 2,1 м;                    4) 0,42 м.

62. До какой скорости можно разогнать вагон массой 46 т, за счет энергии, выделившийся при конденсации 1 кг водяного пара при температуре 100 °С ( $r_p=2,3$  МДж/кг), если избежать энергопотерь?

- 1) 36 см/ч;                    2) 3.6 м/с;                    3) 3,6 км/ч;                    4) 36 км/ч.

63. Сколько угля надо сжечь для растапливания 5 кг льда при температуре 0 °С, если  $q_y=33$  МДж/кг,  $\lambda_{л}=330$  кДж/кг, а КПД печки 10 %?

- 1) 5 кг;                    2) 0,5 кг;                    3) 50 г;                    4) 5 г.

### Работа в термодинамике

64. Газ совершил работу, если объем, занимаемый газом, при постоянном давлении:

- 1) уменьшился;                    2) увеличился;  
3) не изменился;                    4)изменил координаты.

65. Над газом совершили работу внешние силы, если объем газа при постоянном его давлении:

- 1) уменьшился;                    2) увеличился;  
3) не изменился;                    4)изменил координаты.

66. Работа газа при изобарном процессе может быть вычислена по формулам:

1) А;

$$A) A = p(V_2 - V_1);$$

2) А, Б;

$$B) A = p\Delta V;$$

3) А, Б, В;

$$B) A = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1);$$

4) А, Б, В, Г;

$$Г) A = \frac{m}{M}R\Delta T.$$

67. Определить работу газа при переходе

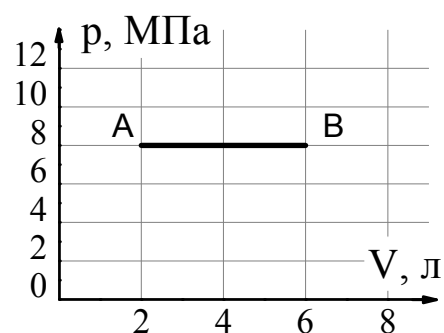
из состояния А в состояние В:

1) 32 МДж;

2) 32 кДж;

3) 48 МДж;

4) 48 кДж.



68. Определить работу газа в процессе

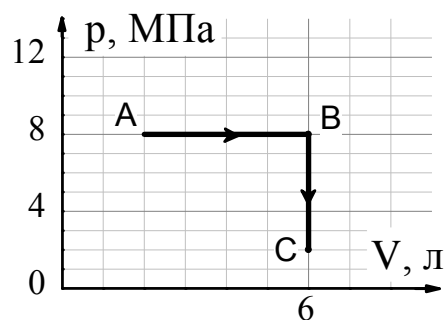
перехода из состояния А в состояние С:

1) 24 кДж;

2) 36 кДж;

3) 36 МДж;

4) 32 кДж.



69. Определить работу газа в замкнутом

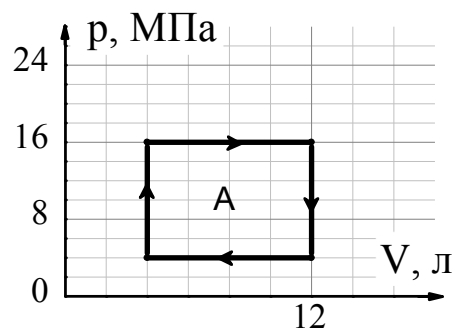
цикле А:

1) 192 МДж;

2) 192 кДж;

3) 96 МДж;

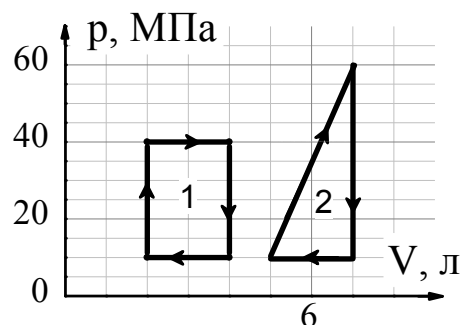
4) 96 кДж.



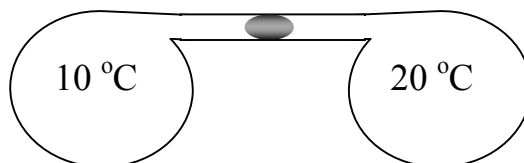


70. Сравните работу газа в замкнутых циклах 1 и 2:

- 1)  $A_1 = A_2$ ;                      2)  $A_1 > A_2$ ;  
 3)  $A_1 < A_2$ ;                      4)  $A_1 = -A_2$ .



71. В двух сосудах находится гелий при разных температурах. В соединительной трубке между



сосудами расположена подвижная пробка, не пропускающая газ.

При нагревании обоих сосудов на  $20\text{ }^\circ\text{C}$  пробка:

- 1) сместится направо;                      2) сместится налево;  
 3) останется на месте;                      4) значительно увеличится в объеме.

72. Газ, расширяясь при  $150\text{ кПа}$ , совершил работу равную  $450\text{ Дж}$ . Объем газа увеличился:

- 1) на  $3\text{ м}^3$ ;                      2) на  $5\text{ л}$ ;                      3) на  $3\text{ л}$ ;                      4) на  $5\text{ см}^3$ .

### Внутренняя энергия

73. Внутренняя энергия термодинамической системы складывается из

- 1) А;                      А) кинетической энергии теплового движения молекул и атомов;  
 2) А, Б;                      Б) потенциальной энергии взаимодействия молекул и атомов;  
 3) А, Б, В;                      В) потенциальной энергии объема, занимаемого системой;  
 4) А, Б, В, Г;                      Г) кинетической энергии объема, занимаемого системой.

74. Внутренняя энергия газа прямо пропорциональна:

- |                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| 1) А, Б, В, Г ; | А) объему;          |
| 2) А, Б;        | Б) давлению;        |
| 3) В, Г;        | В) температуре;     |
| 4) А, Б, В;     | Г) количеству газа. |

75. Внутренняя энергия одноатомного газа, находящегося в объеме 12 л под давлением 20 кПа составляет:

- 1) 360 Дж;      2) 360 кДж;      3) 3,6 кДж;      4) 36 кДж;

76. Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа можно рассчитать по уравнениям:

- |                |  |
|----------------|--|
| 1) А;          | А) $\Delta U = \frac{3m}{2M} R(T_2 - T_1)$ ;   |
| 2) А, Б;       |  |
| 3) А, В, Г;    | Б) $\Delta U = p\Delta V$ ;                    |
| 4) А, Б, В, Г; | В) $\Delta U = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$ ; |
|                | Г) $\Delta U = \frac{3m}{2M} R\Delta T$ .      |

77. Если абсолютная температура газа увеличилась в 4 раза, то внутренняя энергия этого газа:

- 1) возросла в 4 раза;
- 2) уменьшилась в 4 раза;
- 3) возросла в 2 раза;
- 4) уменьшилась в 2 раза.

## I закон термодинамики

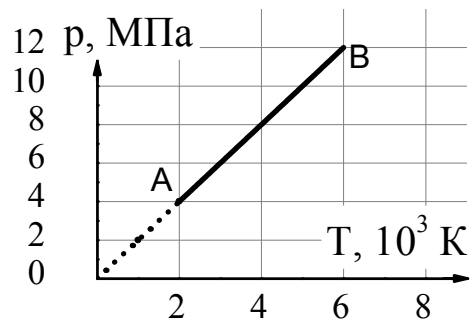
78. При изопроцессах в термодинамической системе запись I закона термодинамики иногда упрощается. При изохорном процессе:

- 1)  $Q = \Delta U + A$ ;      2)  $Q = A$ ;      3)  $Q = \Delta U$ ;      4)  $\Delta U + A = 0$ .

79. Газ перешел из состояния А в состояние В получив 500 кДж тепла.

Внутренняя энергия газа:

- 1) уменьшилась на 500 кДж;  
2) возросла на 500 кДж;  
3) уменьшилась на 200 кДж;  
4) осталась неизменной.

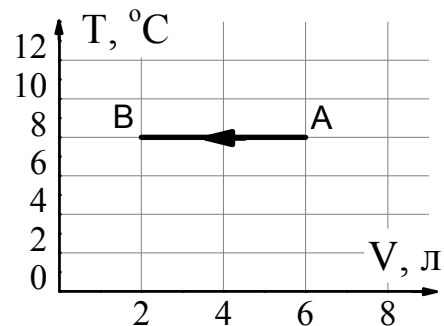


80. При изопроцессах в термодинамической системе запись I закона термодинамики иногда упрощается. При изотермическом процессе:

- 1)  $Q = \Delta U + A$ ;      2)  $Q = A$ ;      3)  $Q = \Delta U$ ;      4)  $\Delta U + A = 0$ .

81. При переходе из состояния А в состояние В газ передал холодильнику 20 кДж теплоты. Внутренняя энергия газа:

- 1) уменьшилась на 52 кДж;  
2) осталась неизменной;  
3) уменьшилась на 20 кДж;  
4) возросла на 12 кДж.

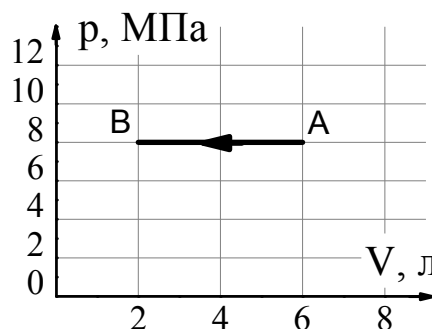


82. При изопроцессах в термодинамической системе запись I закона термодинамики иногда упрощается. При изобарном процессе:

- 1)  $Q = \Delta U + A$ ;                      2)  $Q = A$ ;                      3)  $Q = \Delta U$ ;                      4)  $\Delta U + A = 0$ .

83. При переходе из состояния А в состояние В газ передал холодильнику 20 кДж теплоты. Внутренняя энергия газа:

- 1) уменьшилась на 48 кДж;  
 2) возросла на 52 кДж;  
 3) уменьшилась на 20 кДж;  
 4) возросла на 12 кДж.

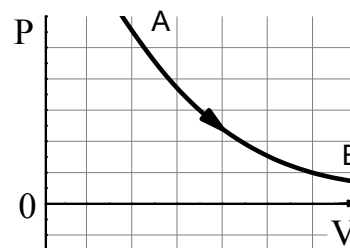


84. При изопроцессах в термодинамической системе запись I закона термодинамики иногда упрощается. При адиабатном процессе:

- 1)  $Q = \Delta U + A$ ;                      2)  $Q = A$ ;                      3)  $Q = \Delta U$ ;                      4)  $\Delta U + A = 0$ .

85. При адиабатном расширении газ совершил работу, равную 58 кДж. Изменение внутренней энергии газа равно:

- 1) 58 кДж;                      2) - 58 кДж;  
 3) 232 кДж;                      4) -232 кДж.



86. Сможет ли газ совершить работу, равную 500 Дж, получив от нагревателя только 450 Дж?

- 1) не сможет в любом случае;  
 2) сможет, если ему добавить еще 50 Дж энергии;  
 3) сможет, если понизит свою температуру;  
 4) сможет, если внутренняя энергия газа способна уменьшится на 50 Дж;

**87.** Идеальный одноатомный газ, находящийся в баллоне объемом 50 л нагрелся так, что давление в нем возросло на 2 кПа. Изменение внутренней энергии газа составило:

- 1) -150 Па;            2) 150 Па;            3) – 150 кПа;            4) 150 кПа.

### **Принцип действия и КПД тепловых двигателей**

**88.** Рабочим телом тепловых двигателей является:

- 1) газ;                                  2) корпус двигателя;  
2) нагреватель;                      4) холодильник.

**89.** В тепловом двигателе нагреватель нужен для передачи тепла:

- 1) газу;                                  2) корпусу двигателя;  
3) нагревателю;                      4) холодильнику.

**90.** В тепловом двигателе холодильник нужен для получения тепла:

- 1) от газа;                              2) от корпуса двигателя;  
3) от нагревателя;                  4) от холодильника.

**91.** В тепловом двигателе происходят термодинамические процессы:

- 1) периодические;                  2) циклические;  
3) спонтанные;                      4) постоянные.

**92.** В тепловом двигателе полезную работу совершает:

- 1) газ;                                      2) корпус двигателя;  
3) нагреватель;                      4) холодильник.

93. В тепловом двигателе полезная работа равна:

- 1)  $A = p\Delta V$ ;                      2)  $A = \frac{m}{M} R\Delta T$ ;  
3)  $A = Q_{\text{НАГР}} - Q_{\text{ХОЛ}}$ ;              4)  $A = Q_{\text{НАГР}}$ .

94. В тепловом двигателе затраченную работу совершает:

- 1) газ;  
2) корпус двигателя;  
3) нагреватель;  
4) холодильник.

95. В тепловом двигателе затраченная работа равна:

- 1)  $A = p\Delta V$ ;                      2)  $A = \frac{m}{M} R\Delta T$ ;  
3)  $A = Q_{\text{НАГР}} - Q_{\text{ХОЛ}}$ ;              4)  $A = Q_{\text{НАГР}}$ .

96. Какую полезную работу совершил тепловой двигатель, если от нагревателя отобрал 400 кДж, а холодильнику передал 220 кДж?

- 1) 180 кДж;    2) 220 кДж;    3) 400 кДж;    4) 620 кДж.

97. КПД идеального теплового двигателя можно рассчитать как:

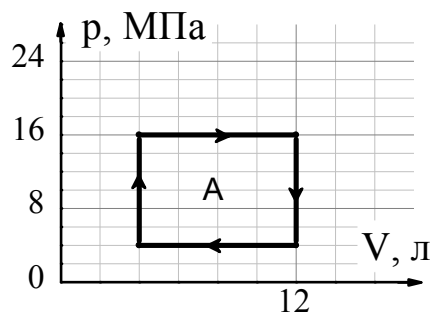
- 1)  $\eta = \frac{A}{Q_{\text{НАГР}}} \cdot 100\%$ ;                      2)  $\eta = \frac{A}{Q_{\text{ХОЛ}}} \cdot 100\%$ ;  
3)  $\eta = \left(1 - \frac{Q_{\text{ХОЛ}}}{Q_{\text{НАГР}}}\right) \cdot 100\%$ ;              4)  $\eta = \left(1 - \frac{T_{\text{ХОЛ}}}{T_{\text{НАГР}}}\right) \cdot 100\%$ .

98. Паровая турбина вращается под действием пара, начальная температура которого  $527\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а конечная –  $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ . КПД паровой турбины не может превысить:

- 1) 100 %;                      2) 83 %;                      3) 50 %;                      4) 1 %.

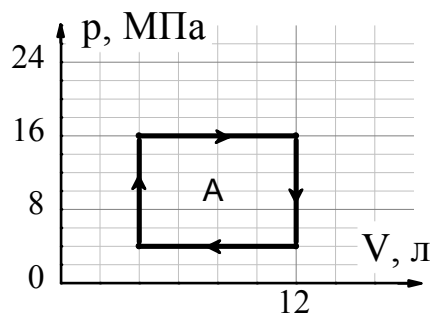
99. Определить количество теплоты, полученное газом от нагревателя в замкнутом цикле А:

- 1) 128 кДж;                      2) 128 МДж;  
3) 32 кДж;                      4) 96 кДж.



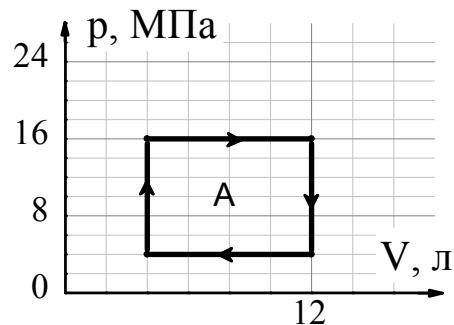
100. Определить количество теплоты, переданное газом холодильнику в замкнутом цикле А:

- 1) 128 МДж;                      2) 32 кДж;  
3) 96 МДж;                      4) 96 кДж.



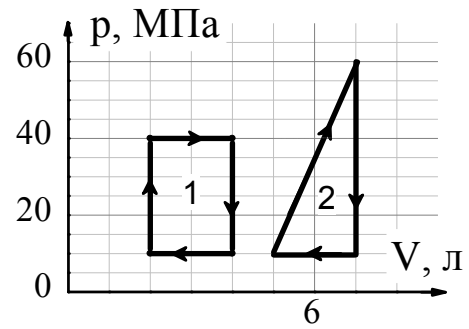
101. Определить КПД тепловой машины, работающей по замкнутому циклу А:

- 1) 100 %;                      2) 85 %;  
3) 75 %;                      4) 60 %.



**102.** Сравните КПД тепловых машин, работающих в замкнутых циклах 1 и 2  $\eta_1/\eta_2$ :

- 1)  $\eta_1/\eta_2 = 0,95$ ;      2)  $\eta_1/\eta_2 = 1,0$ ;  
 3)  $\eta_1/\eta_2 = 1,05$ ;      4)  $\eta_1/\eta_2 = 1,2$ .



### Парообразование и конденсация

**103.** Парообразование – это:

- 1) отрыв молекул жидкости с открытой поверхности;
- 2) образование пузырьков газа внутри жидкости;
- 3) круговорот воды в природе;
- 4) отрыв молекул с поверхности тел.

**104.** Видами парообразования являются:

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 1) А;          | А) кипение;    |
| 2) А, Б;       | Б) испарение;  |
| 3) А, Б, В;    | В) возгонка;   |
| 4) А, Б, В, Г; | Г) сублимация. |

**105.** Испарятся могут:

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| 1) А, В;       | А) твердые тела; |
| 2) А, Б;       | Б) жидкости;     |
| 3) Б, В;       | В) газы;         |
| 4) А, Б, В, Г; | Г) плазма.       |



**106.** При испарении поверхность тела покидают частицы, энергия хаотического движения которых:

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1) выше средней;  | 2) равна средней; |
| 3) менее средней; | 4) равна нулю.    |

**107.** Температура тела, с поверхности которого происходит испарение:

- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 1) увеличивается; | 2) уменьшается; |
| 3) не меняется;   | 4) испаряется.  |

**108.** Скорость испарения зависит:

- |                |   |
|----------------|---|
| 1) А;          | А) от температуры поверхности;                    |
| 2) А, Б;       | Б) от скорости движения молекул окружающей среды; |
| 3) А, Б, В;    | В) от размера открытой поверхности;               |
| 4) А, Б, В, Г; | Г) от толщины тела.                               |

**109.** Кипеть могут:

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| 1) А;          | А) твердые тела; |
| 2) Б;          | Б) жидкости;     |
| 3) А, Б;       | В) газы;         |
| 4) А, Б, В, Г; | Г) плазма.       |

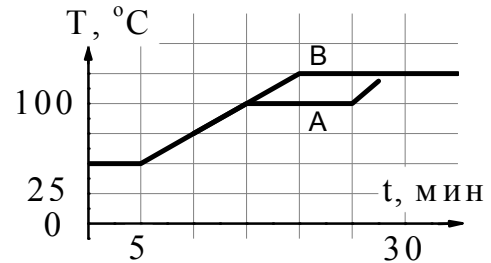
**110.** Температура кипящей жидкости в стационарных условиях:

- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 1) увеличивается; | 2) уменьшается; |
| 3) не меняется;   | 4) испаряется.  |

111. При увеличении внешнего атмосферного давления температура кипящей жидкости:

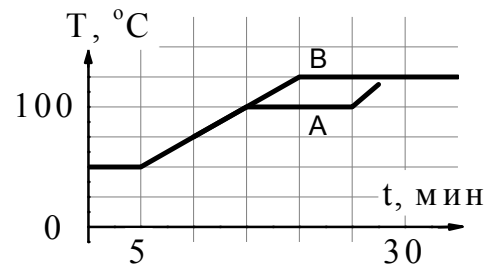
- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не меняется;
- 4) стабилизируется.

112. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. Нагрев жидкостей начался:



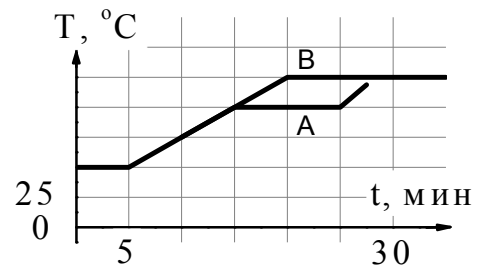
- 1) на 0 мин;
- 2) на 5 мин;
- 3) на 15 мин;
- 4) на 20 мин.

113. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. Кипение жидкости в емкости А началось:



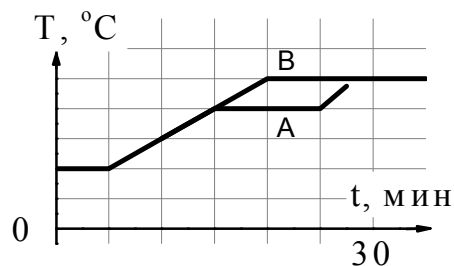
- 1) на 5 мин;
- 2) на 15 мин;
- 3) на 20 мин;
- 4) на 25 мин.

114. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. Кипение жидкости в емкости А происходит при температуре:



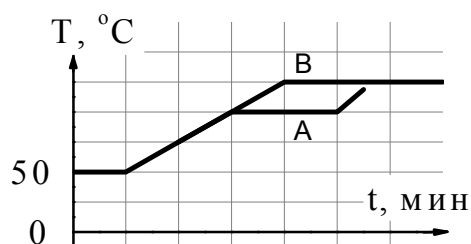
- 1) от 25 до 100 °С
- 2) 100 °С
- 3) от 100 до 115 °С
- 4) более 115 °С

115. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. Кипение жидкости в емкости В началось:



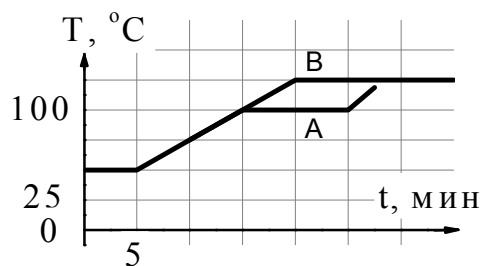
- 1) на 5 мин;
- 2) на 15 мин;
- 3) на 20 мин;
- 4) на 25 мин.

116. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. Кипение жидкости в емкости В происходит при:



- 1) от 25 до  $100^{\circ}\text{C}$ ;
- 2)  $100^{\circ}\text{C}$ ;
- 3)  $125^{\circ}\text{C}$ ;
- 4) более  $125^{\circ}\text{C}$ .

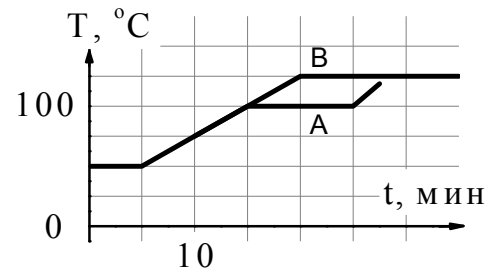
117. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. Кипение жидкости в емкости А закончилось:



- 1) на 15 мин;
- 2) на 20 мин;
- 3) на 25 мин;
- 4) после 30 мин.

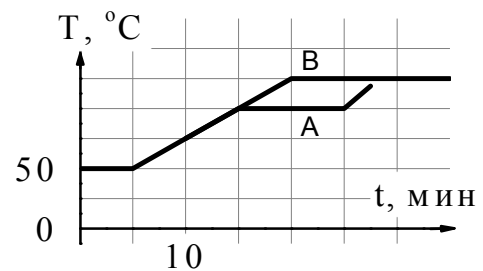
118. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. Кипение жидкости в емкости В закончилось:

- 1) на 15 мин;
- 2) на 20 мин;
- 3) на 25 мин;
- 4) после 30 мин.



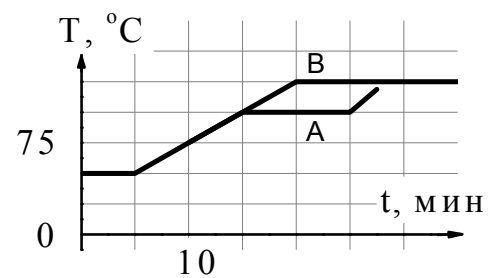
119. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. В емкости А после 25 минуты шел процесс:

- 1) нагрева жидкости;
- 2) кипения;
- 3) нагрева пара;
- 4) нагрева пустой емкости.

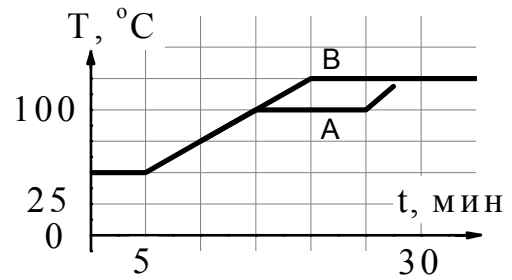


120. Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. В емкости В после 25 минуты шел процесс:

- 1)нагрева жидкости;
- 2) кипения;
- 3) нагрева пара;
- 4) нагрева пустой емкости.



**121.** Две одинаковые емкости А и В с одинаковым количеством жидкости разогревают одновременно на одинаковых горелках. Почему не совпадают графики нагрева в емкостях?



- 1) нагрев идет по-разному;
- 2) налиты различные жидкости;
- 3) емкость А плотно закрыта, а емкость В - открыта;
- 4) емкость В плотно закрыта, а емкость А – открыта.

**122.** Температура тела, на поверхность которого идет конденсация:

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не меняется;
- 4) испаряется.

**123.** Скорость конденсации зависит:

- |                |   |
|----------------|---|
| 1) А, Б, В, Г; | А) от температуры поверхности;                    |
| 2) А, Б, В;    | Б) от скорости движения молекул окружающей среды; |
| 3) Б, В, Г;    | В) от размера открытой поверхности;               |
| 4) В, Г;       | Г) от концентрации частиц у поверхности тела.     |

**124.** Почему не меняется температура воды в закрытом стакане при стационарных условиях?

- 1) отсутствует испарение;
- 2) отсутствует конденсация;
- 3) скорость испарения и конденсации молекул воды одинакова;
- 4) плотность молекул пара и жидкости одинакова.

**125.** В закрытом стакане с водой при стационарных условиях пар:

- 1) насыщенный, так как наступает динамическое равновесие пара и воды;
- 2) ненасыщенный, так как продолжается процесс испарения;
- 3) разреженный, так как идет процесс конденсации;
- 4) обычный, так как молекулы пара равномерно распределены в стакане.

**126.** Законы идеального газа описывают термодинамические процессы в газах:

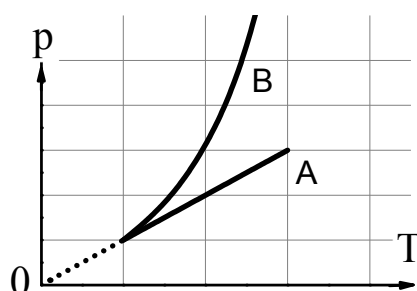
- 1) любых;
- 2) только насыщенных и ненасыщенных;
- 3) только насыщенных;
- 4) только ненасыщенных.

**127.** На представленных графиках

приведены зависимости давления пара некоторой жидкости от температуры.

Можно утверждать, что пар:

- 1) А и В – насыщенные;
- 2) А и В – ненасыщенные;
- 3) А насыщенный, В – ненасыщенный;
- 4) А ненасыщенный, В – насыщенный.



## Влажность воздуха

**128.** Абсолютная влажность воздуха – это:

- |                |   |
|----------------|---|
| 1) А, Б, В, Г; | А) масса водяного пара, содержащаяся в $1 \text{ м}^3$ воздуха; |
| 2) А, Б, В;    | Б) плотность водяного пара в воздухе;                           |
| 3) В, Г;       | В) парциальное давление водяного пара в воздухе;                |
| 4) Г;          | Г) влажность, при которой начинается выпадение росы.            |

**129.** Относительная влажность воздуха – это отношение:

- |                |  |
|----------------|--|
| 1) А, Б, В, Г; | А) массы водяного пара, содержащейся в $1 \text{ м}^3$ воздуха к массе насыщающего водяного пара, содержащейся в $1 \text{ м}^3$ ; |
| 2) А, Б, В;    | Б) плотности водяного пара в воздухе к плотности насыщающего водяного пара;  |
| 3) В, Г;       | В) парциального давления водяного пара в воздухе к давлению насыщающего водяного пара;   |
| 4) Г;          | Г) влажности, при которой начинается выпадение росы, к влажности, при которой выпадение росы заканчивается.                        |

**130.** Определить абсолютную влажность воздуха в комнате при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $60 \%$ , (по таблице):

- 1)  $17,3 \text{ г/м}^3$ ;      2)  $12,1 \text{ г/м}^3$ ;      3)  $10,4 \text{ г/м}^3$ ;      4)  $9,4 \text{ г/м}^3$ .

**131.** Точка росы – это:

- 1) температура появления росы;
- 2) капля воды, сформированная росой;
- 3) место появления росы;
- 4) масса сконденсировавшейся влаги.

**132.** Температура в комнате  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность воздуха  $65\%$ . При какой температуре оконного стекла на нем появится роса?

- 1)  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;    2)  $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;    3)  $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;    4) никогда не появится.

**133.** На психрометре термометры показывают  $19$  и  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность воздуха:

- 1)  $30\%$ ;    2)  $40\%$ ;    3)  $50\%$ ;    4)  $60\%$ ;

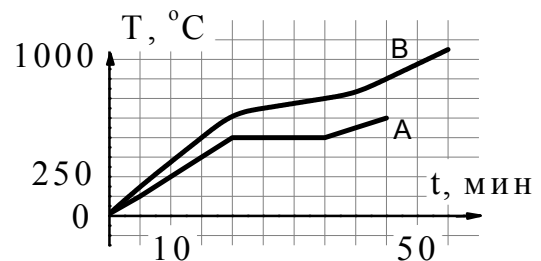
**134.** На психрометре термометры показывают  $21$  и  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Абсолютная влажность воздуха:

- 1)  $18,3\text{ г/м}^3$ ;    2)  $15,1\text{ г/м}^3$ ;    3)  $13,6\text{ г/м}^3$ ;    4)  $11\text{ г/м}^3$ .

### Кристаллические и аморфные тела

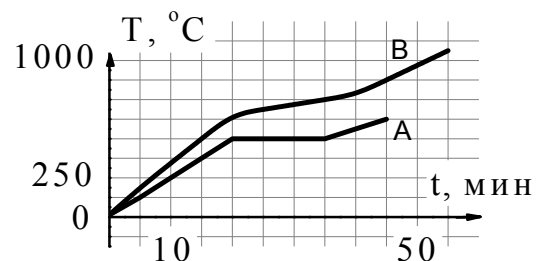
**135.** Два твердых тела подвергли нагреванию. Какие это тела?

- 1) оба кристаллические;  
 2) оба аморфные;  
 3) А - кристаллическое, В - аморфное;  
 4) В - кристаллическое, А – аморфное.



**136.** Температура плавления кристаллического тела:

- 1)  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;    2)  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
 3)  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;    4)  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

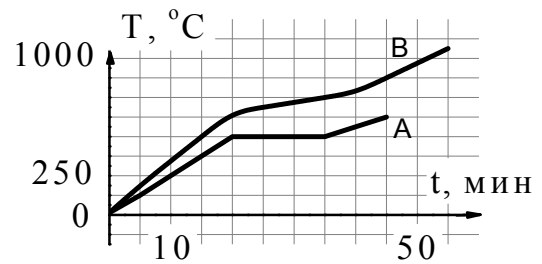




137. Расставьте последовательность

процессов, происшедших с телом А:

- А) в жидком состоянии охлаждалось;
- Б) плавилось;
- В) в жидком состоянии нагревалось;
- Г) в твердом состоянии нагревалось;



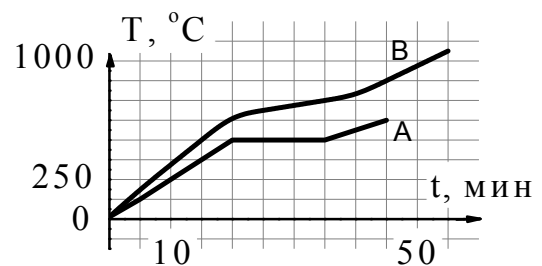
- 1) Г, Б, В;                    2) Б, В;                    3) В, А, Г;                    4) А, Г, В.

138. В процессе плавления тел их внутренняя энергия:

- 1) у обоих оставалась неизменной;
- 2) у обоих возрастала;
- 3) у тела А – возрастала, у тела В – не

менялась;

- 4) у тела В – возрастала, у тела А – не менялась.



139. В процессе кристаллизации тел их внутренняя энергия:

- 1) остается неизменной;
- 2) возрастает;
- 3) уменьшается;
- 4) зависит от свойств вещества.

140. Анизотропные вещества обладают:

- 1) изотропностью;
- 2) аморфностью;
- 3) температурой плавления;
- 4) температурой испарения.

## Задачи повышенного и высокого уровня сложности

141. В алюминиевом калориметре массой 50 г находится 250 г воды при температуре 20 °С. Определить температуру установившегося термодинамического равновесия после опускания в калориметр медного бруска массой 0,5 кг с температурой 359 К. (Ответ: 30 °С).
142. В теплоизолированную емкость с пренебрежимо малой теплоемкостью наливают 1 литр воды при температуре 20 °С. В этот момент в воду попадает 100 г расплавленного олова, находящегося при температуре плавления, и 15 г воды испаряется. Определить конечную температуру воды. (Ответ: 27 °С).
143. Из морозильника с температурой -18 °С достали 1,5 кг льда и нагревая растопили его полностью. Сколько висмута можно нагреть от 22 °С до температуры плавления таким же количеством тепла? (Ответ: 17 кг).
144. Брусок олова массой 0,5 кг в процессе нагревания начал плавиться и к моменту передачи олову 36,18 кДж тепла 40 % начальной массы олова оказалось расплавлено. Определить начальную температуру олова. (Ответ: 20°С).
145. При определении удельной теплоемкости алюминия в невесомый калориметр налили 520 г воды при температуре 20 °С и опустили в нее алюминиевый брусок массой 0,2 кг, нагретый к этому эксперименту в кипящей воде. Вода в калориметре нагрелась до 26 °С. Рассчитайте удельную теплоемкость алюминия. (Ответ: 885 Дж/кг·К).
146. Определить среднюю скорость теплового движения молекул воздуха\* при нормальном давлении и температуре 18 °С. (Ответ: 500 м/с).
- \* газы во всех задачах считать идеальными
147. Аргон находится в закрытом объеме при температуре 273 °С и давлении 15 МПа. Определить количество молекул газа в единице объема. (Ответ:  $2 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$ ).
148. При использовании азота из газового баллона, находящегося в отапливаемом помещении давление внутри баллона за месяц упало с 40 МПа до 8 МПа. Сколько процентов изначально имевшегося газа израсходовано? (Ответ: 80 %).
149. Газ при постоянном давлении охладил на 200 °С. Определить значение начальной и конечной температуры газа, если объем газа уменьшился в 1,5 раза. (Ответ: 600 К и 400 К).

- 150.** При какой начальной температуре находился газ в изолированном сосуде, если при нагревании на 120 К давление в сосуде возросло в 1,4 раза?  
(Ответ: 300 К).
- 151.** Тридцатипятилитровый сосуд заполнен кислородом, находящимся под давлением 1 МПа, а из пятнадцатилитрового сосуда, находящегося в том же помещении, откачен воздух. Какое давление установится при термодинамическом равновесии, если приоткрыть клапан газопровода между сосудами?  
(Ответ:  $7 \cdot 10^5$  Па).
- 152.** В баллоне объемом  $1,5 \cdot 10^{-2}$  м<sup>3</sup> содержится пропан под давлением в две атмосферы. Какое давление пропана нужно установить в пятилитровом баллоне, чтобы при подсоединении баллонов друг к другу общее давление при термодинамическом равновесии установилось на уровне  $3 \cdot 10^5$  Па?  
(Ответ: 0,6 МПа).
- 153.** Самолет летит на высоте 8 км. Температура за бортом самолета  $T = -10$  К, а давление воздуха при этом составляет 37,7 кПа. Определить плотность воздуха за бортом самолета.  
(Ответ: 0,5 кг/м<sup>3</sup>).
- 154.** В процессе изобарного теплообмена газ поменял свою температуру со 147 °С до 336 К. Как и на сколько процентов изменился объем газа?  
(Ответ: уменьшился на 20 %).
- 155.** Определить массу гелия, находящегося в сорокалитровом баллоне, нагревшимся на солнце до 47 °С, если при этом давление в баллоне поднялось до 16,6 МПа.  
(Ответ: 2 кг).
- 156.** Воздух при 47 °С занимал 80 % конечного объема. Определить конечную температуру воздуха.  
(Ответ: 127 °С).
- 157.** Какой объем займет водород, находящийся под давлением  $4 \cdot 10^4$  Па при температуре 87 °С, если при температуре 27 °С и нормальном давлении он занимает объем 1 м<sup>3</sup>.  
(Ответ: 30 л).
- 158.** При изменении состояния газа его объем с 9 л изменился до 5 л, температура увеличилась на 25 %, а давление изменилось на 60 кПа. Определить первоначальное давление газа.  
(Ответ:  $4,8 \cdot 10^4$  Па).
- 159.** Азот из нормального состояния перешел в состояние, при котором температура возросла на 25 %, а давление возросло на 20 %. На сколько процентов изменилась плотность газа?  
(Ответ: уменьшилась на 4 %).
- 160.** Кислород из нормального состояния перешел в состояние, при котором температура возросла на 34 %, а давление изменилось на 14 %. Определить плотность кислорода в конечном состоянии.  
(Ответ: при уменьшении давления 0,45 кг/м<sup>3</sup>, при его возрастании 0,6 кг/м<sup>3</sup>).
- 161.** В процессе проведения эксперимента газ, занимающий объем 2 л при температуре 177 °С и давлении  $2 \cdot 10^4$  Па, изохорно нагревают до

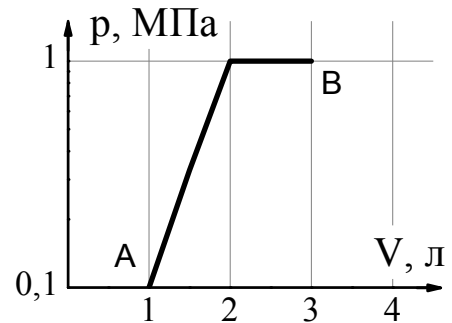
температуры  $T_2$  и давления  $P_2$ , затем изобарно охлаждают до температуры  $-23\text{ }^\circ\text{C}$  и изотермически доводят объем до  $1,5\text{ л}$ . Определить конечное давление газа. (Ответ:  $4,8 \cdot 10^5\text{ Па}$ ).

**162.** В баллоне с азотом, находящемся при температуре  $117\text{ }^\circ\text{C}$ , давление равно  $4 \cdot 10^5\text{ Па}$ . На каком уровне установится давление в баллоне, если в него закачать водород массой равной азоту и положить баллон в тающий лед. (Ответ:  $4,2\text{ МПа}$ ).

**163.** Из-за неплотного прилегания поршня к цилиндру при изотермическом уменьшении объема идеального газа в  $5$  раз давление возросло только в  $2$  раза. Во сколько раз изменилась величина внутренней энергии газа, заключенного в цилиндре? (Ответ: уменьшилась в  $2,5$  раза.)

**164.** Определить количество теплоты, необходимое для перевода идеального одноатомного газа из состояния А в состояние В.

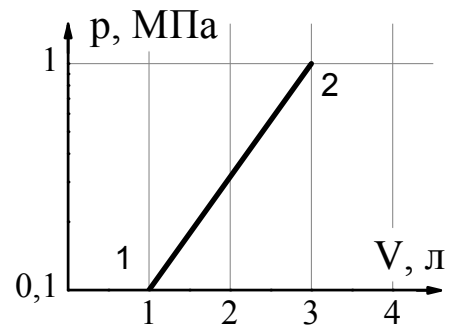
(Ответ:  $5,9\text{ кДж}$ )



**165.** В процессе перехода из одного состояния в другое идеальный одноатомный газ при изобарном расширении совершает работу  $50\text{ кДж}$ , а затем изохорно охлаждается до начальной температуры. Определить количество теплоты, полученной холодильником в процессе охлаждения газа. (Ответ:  $75\text{ кДж}$ ).

**166.**  $1,9\text{ г}$  кислорода изменяли свое состояние от первого состояния ко второму в соответствии с приведенным графиком. Какой была температура газа, когда кислород занимал объем  $1,5\text{ л}$ ?

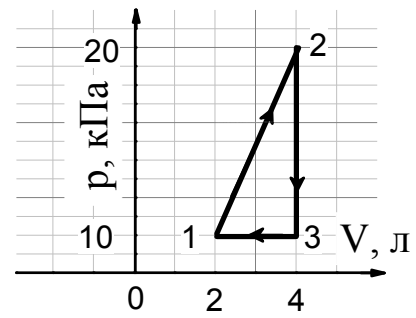
(Ответ:  $380\text{ К}$ .)



**167.** Давление углекислого газа, находящегося в трехлитровом сосуде, возросло в процессе нагревания на  $9\text{ МПа}$ . Определить изменение внутренней энергии газа. (Ответ:  $100\text{ МДж}$ ).

168. Одноатомный газ совершает цикл, меняя свое состояние в соответствии с приведенным рисунком. Найти КПД данного цикла.

(Ответ: 8 %.)



169. Идеально растяжимая оболочка воздушного шара массой 316 кг имеет рабочий объем  $2 \cdot 10^3 \text{ м}^3$ . Какую среднюю температуру должен иметь воздух внутри шара, чтобы он начал подниматься при нормальном атмосферном давлении и наружной температуре воздуха 300 К? (Ответ: 57 °С).

170. Идеально растяжимая оболочка воздушного шара массой 375 кг заполнена водородом. Сколько водорода ушло на заполнение шара, если он может поднять груз массой 300 кг? (Ответ: 50 кг).

171. Для подъема затонувшего в море груза, лежащего на глубине 40,6 м, в понтон массой 1370 кг закачивают воздух. После закачки  $21,5 \text{ м}^3$  воздуха понтон с грузом начинает всплывать. Найти массу поднимаемого груза, если температура воды 19 °С при нормальном атмосферном давлении на уровне моря. (Ответ: 20 т).

172. Как изменится давление воздуха в идеально растяжимой оболочке, поднимаемой с глубины 90 м на поверхность моря, если температура воды постоянна, а атмосферное давление на поверхности воды нормальное? (Ответ: уменьшится в 10 раз).

173. Как изменится объем идеально растяжимой оболочки, заполненной воздухом и поднимающейся с глубины 60 м на поверхность моря, если температура воды постоянна, а атмосферное давление на поверхности воды нормальное? (Ответ: увеличится в 7 раз).

174. Определить объем идеально растяжимой оболочки, заполненной воздухом, в момент всплытия на поверхность воды постоянной температурой 10 °С, если на глубине 40 м объем воздуха в оболочке достиг  $6 \text{ м}^3$ . Атмосферное давление на поверхности воды нормальное. (Ответ:  $30 \text{ м}^3$ ).

175. Стекланный запаянный цилиндр площадью сечения  $4 \text{ см}^2$  и длиной 100 см содержит внутри свободно перемещающуюся тонкую непроницаемую перегородку массой 12,5 г. Когда цилиндр стоит вертикально, перегородка опускается ниже середины цилиндра на 0,3 м. Определить давление газа в цилиндре в горизонтальном положении, если при этом перегородка располагается посередине? (Ответ: 1 кПа).

**176.** Откаченный стеклянный цилиндр площадью сечения  $4 \text{ см}^2$  и длиной  $1 \text{ м}$  разделён пополам тонкой пористой перегородкой с размерами пор  $0,3 \text{ нм}$ . В правую половину цилиндра ввели  $8 \text{ мг}$  кислорода и  $6 \text{ мг}$  водорода. Какое давление установится в каждой части цилиндра при температуре  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , если диаметр молекул кислорода  $0,37 \text{ нм}$ , а водорода –  $0,27 \text{ нм}$ ?

(Ответ: справа от перегородки –  $24 \text{ кПа}$ , слева –  $18 \text{ кПа}$ ).

**177.** Теплоизолированный откаченный невесомый цилиндр площадью сечения  $6 \text{ см}^2$  и длиной  $2 \text{ м}$  разделён пополам тонкой перегородкой с диаметрам отверстий  $0,25 \text{ нм}$ . В правую половину цилиндра ввели  $14$  молей гелия, а в левую –  $6$  молей азота. Температура гелия  $250 \text{ К}$ , а температура азота –  $400 \text{ К}$ . Определите температуру гелия после установления равновесия в системе, если диаметр молекул гелия  $0,22 \text{ нм}$ , а азота –  $0,37 \text{ нм}$ . (Ответ:  $295 \text{ К}$ ).

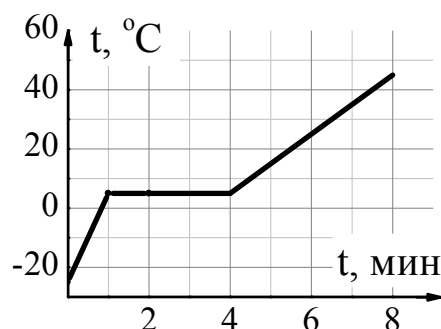
**178.** В процессе сжатия водяного пара начальный объём, занимаемый паром уменьшился в  $5$  раз, а давление возросло только в  $3$  раза, хотя температура не изменилась и пар из объема не выходил. Найти причину обнаруженного нарушения универсального газового закона.

(Ответ: достижение давления насыщенного пара в процессе сжатия и выпадения конденсата).

**179.** В процессе сжатия  $4$  моль водяного пара при температуре  $300 \text{ К}$  начальный объём, занимаемый паром уменьшился в  $3$  раза, а давление возросло только в  $1,5$  раза, хотя температура не изменилась и пар из объема не выходил. Найти массу сконденсировавшегося пара. (Ответ:  $36 \text{ г}$ ).

**180.** При исследовании теплоемкости некоторого вещества в идеальном калориметре была получена зависимость, приведенная на рисунке. Мощность нагревателя не менялась в процессе эксперимента, а его КПД составил  $70 \%$ . Определить температуру плавления и удельную теплоемкость этого вещества в жидком состоянии, если в твердом его теплоемкость равна  $2,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

(Ответ:  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $6,6 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ).



## Справочные данные

Таблица 1. Десятичные приставки

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
мега	М	$10^6$	милли	м	$10^{-3}$
кило	к	$10^3$	микро	мк	$10^{-6}$
гекто	г	$10^2$	нано	н	$10^{-9}$
деци	д	$10^{-1}$	пико	п	$10^{-12}$
санتي	с	$10^{-2}$	фемто	ф	$10^{-15}$

Таблица 2. Физические константы

Наименование	Численное значение
Число $\pi$	$\pi = 3,14$
Ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Примерное число секунд в году	$3 \cdot 10^7 \text{ с}$
Нормальные условия	давление $10^5 \text{ Па}$ , температура $0 \text{ }^\circ\text{C}$

Таблица 3. Соотношение между различными единицами

Величина	Численное соотношение
Температура	$0 \text{ К} = -273 \text{ }^\circ\text{C}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
1 атомная единица массы эквивалентна	$931,5 \text{ МэВ}$

Таблица 4. Температура плавления

Вещество	Температура	Вещество	Температура
Висмут	$271 \text{ }^\circ\text{C}$	Олово	$232 \text{ }^\circ\text{C}$

Таблица 5. Плотность некоторых веществ

Вещество	Плотность	Вещество	Плотность
Алюминий	2700 кг/м <sup>3</sup>	Парафин	900 кг/м <sup>3</sup>
Вода	1000 кг/м <sup>3</sup>	Пробка	250 кг/м <sup>3</sup>
Древесина (ель)	450 кг/м <sup>3</sup>	Ртуть	13600 кг/м <sup>3</sup>
Лед	900 кг/м <sup>3</sup>	Свинец	11300 кг/м <sup>3</sup>

Таблица 6. Удельная теплоемкость

Вещество	Удельная теплоемкость	Вещество	Удельная теплоемкость
Вода	4,2 кДж/(кг·К)	Алюминий	900 Дж/(кг·К)
Вед	2,1 кДж/(кг·К)	Медь	390 Дж/(кг·К)
Велезо	460 Дж/(кг·К)	Чугун	500 Дж/(кг·К)
Свинец	130 Дж/(кг·К)	Углекислый газ (C <sub>v</sub> )	700 Дж/(кг·К)
Олово	230 Дж/(кг·К)	Висмут	130 Дж/(кг·К)

Таблица 7. Различные удельные свойства

Свойство	Величина	Свойство	Величина
Теплота плавления льда	333 кДж/кг	Теплота плавления олова	59 кДж/кг
Теплотворность пропана	50 МДж/кг	Теплота парообразования воды	2,26 МДж/кг

Таблица 8. Молярная масса некоторых веществ

Вещество	Молярная масса	Вещество	Молярная масса
Азот	28·10 <sup>-3</sup> кг/моль	Кислород	32·10 <sup>-3</sup> кг/моль
Аргон	40·10 <sup>-3</sup> кг/моль	Литий	6·10 <sup>-3</sup> кг/моль
Водород	2·10 <sup>-3</sup> кг/моль	Неон	20·10 <sup>-3</sup> кг/моль
Водяной пар	18·10 <sup>-3</sup> кг/моль	Серебро	108·10 <sup>-3</sup> кг/моль
Гелий	4·10 <sup>-3</sup> кг/моль	Углекислый газ	44·10 <sup>-3</sup> кг/моль



Таблица 9. Давление и плотность насыщенного водяного пара

t, °C	p, кПа	$\rho$ , г/м <sup>3</sup>	t, °C	p, кПа	$\rho$ , г/м <sup>3</sup>
-5	0,40	3,2	19	2,20	16,3
0	0,61	4,8	20	2,33	17,3
1	0,65	5,2	21	2,48	18,3
2	0,71	5,6	22	2,64	19,4
3	0,76	6,0	23	2,81	20,6
4	0,81	6,4	24	2,99	21,8
5	0,88	6,8	25	3,17	23,0
6	0,93	7,3	26	3,36	24,4
7	1,0	7,8	27	3,56	25,8
8	1,06	8,3	28	3,79	27,2
9	1,14	8,8	29	4,0	28,7
10	1,23	9,4	30	4,27	30,3
11	1,33	10,0	40	7,37	51,2
12	1,40	10,7	50	12,3	83,0
13	1,49	11,4	60	19,9	130
14	1,60	12,1	70	31,0	198
15	1,71	12,8	80	47,3	293
16	1,81	13,6	90	70,1	424
17	1,93	14,5	100	101,3	590
18	2,07	15,4			

Таблица 10. Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Относительная влажность, %											
0	100	81	63	45	28	11						
1	100	83	65	48	32	16						
2	100	84	68	51	35	20						
3	100	84	69	54	39	24	10					
4	100	85	70	56	42	28	14					
5	100	86	72	58	45	32	19	6				
6	100	86	73	60	47	35	23	10				
7	100	87	74	61	49	37	26	14				
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7			
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11			
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5		
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8		
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11		
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17	10
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34

Таблица 11. Ключи к задачам с 1 по 140

1	3	21	4	41	4	61	3	81	2	101	3	121	4
2	1	22	2	42	4	62	4	82	1	102	3	122	1
3	3	23	3	43	1	63	2	83	4	103	4	123	4
4	2	24	4	44	2	64	2	84	4	104	4	124	3
5	3	25	2	45	2	65	1	85	2	105	2	125	1
6	1	26	3	46	1	66	4	86	4	106	1	126	4
7	4	27	1	47	4	67	2	87	2	107	2	127	4
8	3	28	1	48	3	68	4	88	1	108	3	128	2
9	3	29	2	49	2	69	4	89	1	109	2	129	2
10	2	30	3	50	2	70	2	90	1	110	3	130	3
11	4	31	3	51	3	71	1	91	2	111	1	131	1
12	4	32	2	52	2	72	3	92	1	112	2	132	2
13	4	33	2	53	1	73	2	93	3	113	2	133	3
14	2	34	2	54	4	74	3	94	3	114	2	134	4
15	4	35	1	55	2	75	1	95	4	115	3	135	3
16	2	36	2	56	1	76	3	96	1	116	3	136	2
17	3	37	4	57	3	77	1	97	4	117	3	137	1
18	1	38	4	58	2	78	3	98	3	118	4	138	2
19	3	39	2	59	4	79	2	99	1	119	4	139	3
20	4	40	1	60	1	80	2	100	2	120	2	140	3

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вы познакомились с начальными основами молекулярной физики и термодинамики. При этом не надо думать, что изложенные в этой книге материалы и приведенные в ней задачи охватывают весь круг вопросов, изучаемых современной наукой в этом направлении. Молекулярная физика изучает как строение газов, жидкостей и твёрдых тел, так и их изменение под влиянием внешних условий (давления, температуры, электрического и магнитного полей); как явления переноса (диффузия, теплопроводность, внутреннее трение), так и процессы фазовых переходов (кристаллизация и плавление, испарение и конденсация).

Начало изучения молекулярной физики было положено Р.Бойлем в 1652 г., когда он открыл взаимосвязи между давлением и объемом. С тех пор наука продвинулась далеко вперед. Сформулировав понятие «идеальный газ» и построив классическую молекулярную физику, основанную на том, что кинетическую энергию молекул газов можно описать механически  $E = mv^2/2$  и термодинамически  $E = 3/2kT$ , ученые пошли дальше и создали не только термодинамику равновесных (протекающих бесконечно медленно) процессов, но и термодинамику неравновесных процессов, в рамках которой сформулировали уравнения переноса массы, энергии, импульса, описывающие изменения состояния системы с течением времени. Интенсивное развитие молекулярной физики привело к выделению из неё целого ряда крупных самостоятельных разделов физики, таких, например, как статистическая физика, физика твёрдого тела, физическая химия, молекулярная биология. Успехи теоретической и экспериментальной физики твердого тела привели к созданию полупроводниковой электронной промышленности, разработке и производству компьютеров, созданию системы мобильной связи, изменивших жизнь человечества и в настоящее время определяющих темпы развития современного общества.

На основе общих теоретических представлений молекулярной физики получили развитие такие специальные области науки, как физика полупроводников, физика металлов, физика полимеров, физика плазмы, кристаллофизика, которые объединены основной идеей молекулярной физики - описанием макроскопических свойств вещества, исходя из особенностей его молекулярного (атомного) строения.

Современная физика не видит пределов структурной делимости материи, однако, показывает, что элементами, определяющими основные физические свойства тел, являются атомы и молекулы. Тела неживой природы и живые организмы построены из одних и тех же атомов и молекул. Поэтому органический мир подчиняется тем же единым законам, учитывающим ядерно-электронное строение всех тел. В настоящее время целый ряд ученых пытается рассматривать биологическое вещество как четвертую разновидность

агрегатного состояния вещества, т. е. к газу, жидкости и твердому телу они добавляют биологическое вещество. Проблемы соотношения физики и биологии стали особенно актуальными сейчас, когда биологическая физика и инженерная биология выходят на первые роли как наиболее значимые науки для построения безопасного будущего всего человечества.

Молекулярная физика и термодинамика внесли неоценимый вклад в развитие новой области научных исследований, которая получила название синергетика от греческого слова «синэргетикос», что означает «совместный» или «согласованно действующий». Главной целью синергетики является выявление общих закономерностей в различных процессах, происходящих в сложных, открытых, неравновесных системах различной природы: физических, химических, биологических, экологических.

Для более глубокого изучения молекулярной физики и термодинамики рекомендую обратиться к следующей литературе:

1. Квасников, И. А. Молекулярная физика / И. А. Квасников. – М.: Эдиториал УРСС, 2009.

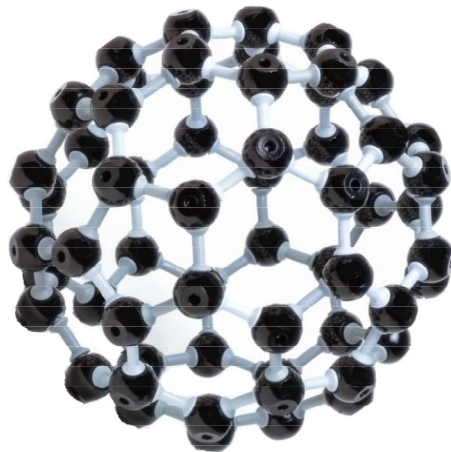
3. Бутиков, Е. И. Физика. Т. 3. Строение и свойства вещества / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев, В. М. Уздин. – М.: ФизМатЛит, 2008.

Учебное издание

Урюпин Олег Николаевич

Урюпина Ксения Олеговна

**К ЕГЭ ГОТОВ!**



**Ф И З И К А**  
**ЧАСТЬ II**

*Молекулярная физика и  
термодинамика*

Учебное пособие

Оригинал-макет подготовлен авторами и издан в авторской редакции  
Подписано в печать 09.11.11. Формат 60x84 1/16. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 4.4. Тираж 100 экз. Заказ 171/11

Сайт: <http://www.sutd.ru> E-mail: physicsutd@mail.ru

Отпечатано в типографии ФГБОУВПО «СПГУТД»  
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26