

**Группа 12. Физика**

**Дата: 27.10.2021**

**Уроки № 35, 36**

Тип урока: комбинированный урок

**Темы уроков:**

**Контрольная работа №5: «Взаимное превращение жидкостей и газов»  
Внутренняя энергия. Работа в термодинамике. Количество теплоты.**

*Задание:*

*Выполнить контрольную работу №5.*

*Ознакомиться с текстом по теме следующего урока. Написать в тетради краткий конспект. Ответить на контрольные вопросы.*

---

**План конспекта:**

1. Термодинамика
2. Термодинамическая система
3. Внутренняя энергия
4. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа
5. Работа в механике и в термодинамике
6. Изменение внутренней энергии при совершении работы
7. Геометрическое истолкование работы
8. Теплообмен
9. Количество теплоты
10. Удельная теплоёмкость
11. Удельная теплота парообразования и плавления

---

**Контрольная работа №5: «Взаимное превращение жидкостей и газов»**

1. Что такое испарение и конденсация?
2. От каких факторов зависит интенсивность испарения?
3. Что такое насыщенный пар? В каком сосуде он может образоваться?
4. Как изменяется плотность насыщенного пара при увеличении его объёма?
5. Какие физические величины характеризуют влажность воздуха?
6. Какую температуру называют точкой росы?
7. Какими приборами измеряют влажность воздуха?

---

**Внутренняя энергия**

Тепловые явления можно описывать с помощью величин (макроскопических параметров), измеряемых такими приборами, как манометр и термометр. Эти приборы не реагируют на воздействие отдельных молекул. Теория тепловых процессов, в которой не учитывается молекулярное строение тел, называется *термодинамикой*. В термодинамике рассматриваются процессы с точки зрения превращения теплоты в другие виды энергии.

*Вспомните из курса физики основной школы, что такое внутренняя энергия.*

*Какие способы изменения внутренней энергии вы знаете?*

Термодинамика была создана в середине XIX в. после открытия закона сохранения энергии. В её основе лежит понятие *внутренняя энергия*. Само название «внутренняя» предполагает рассмотрение системы как ансамбля движущихся и взаимодействующих молекул. Остановимся на вопросе о том, какая связь существует между термодинамикой и молекулярно-кинетической теорией.

**Термодинамика и статистическая механика.** Первой научной теорией тепловых процессов была не молекулярно-кинетическая теория, а термодинамика.

**ИНТЕРЕСНО**

Термодинамика возникла при изучении оптимальных условий использования теплоты для совершения работы. Это произошло в середине XIX в., задолго до того, как молекулярно-кинетическая теория получила всеобщее признание. Тогда же было доказано, что наряду с механической энергией макроскопические тела обладают ещё и энергией, заключённой внутри самих тел.

Сейчас в науке и технике при изучении тепловых явлений используется как термодинамика, так и молекулярно-кинетическая теория. В теоретической физике молекулярно-кинетическую теорию называют *статистической механикой*.

**Важно**

Термодинамика и статистическая механика изучают различными методами одни и те же явления и взаимно дополняют друг друга.

**Запомни**

**Термодинамической системой** называют совокупность взаимодействующих тел, обменивающихся энергией и веществом.

Главное содержание термодинамики состоит в двух основных её законах, касающихся преобразования энергии. Эти законы установлены опытным путём. Они справедливы для всех веществ независимо от их внутреннего строения.

**Внутренняя энергия в молекулярно-кинетической теории.**

Основным понятием в термодинамике является понятие внутренней энергии.

**Запомни**

**Внутренняя энергия тела** (системы) — это сумма кинетической энергии хаотичного теплового движения молекул и потенциальной энергии их взаимодействия.

Механическая энергия тела (системы) как целого не входит во внутреннюю энергию. Например, внутренняя энергия газов в двух одинаковых сосудах при равных условиях одинакова независимо от движения сосудов и их расположения относительно друг друга.

Вычислить внутреннюю энергию тела (или её изменение), учитывая движение отдельных молекул и их положения относительно друг друга, практически невозможно из-за огромного числа молекул в макроскопических телах. Поэтому необходимо уметь определять значение внутренней энергии (или её изменение) в зависимости от макроскопических параметров, которые можно непосредственно измерить.

**Внутренняя энергия идеального одноатомного газа.** Вычислим внутреннюю энергию идеального одноатомного газа.

Согласно модели молекулы идеального газа не взаимодействуют друг с другом, следовательно, потенциальная энергия их взаимодействия равна нулю. Вся внутренняя энергия идеального газа определяется кинетической энергией беспорядочного движения его молекул.

Для вычисления внутренней энергии идеального одноатомного газа массой  $m$  нужно умножить среднюю кинетическую энергию одного атома на число атомов. Учитывая, что  $kN_A = R$ , получим формулу для внутренней энергии идеального газа:

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT. \quad (13.1)$$

**Важно**

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре.

Она не зависит от объёма и других макроскопических параметров системы.

**Важно**

Изменение внутренней энергии идеального газа

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1),$$

т. е. определяется температурами начального и конечного состояний газа и не зависит от процесса.

### Работа в термодинамике

*В результате каких процессов может изменяться внутренняя энергия?*

*Как определяется работа в механике?*

### Работа в механике и термодинамике.

В *механике* работа определяется как произведение модуля силы, модуля перемещения точки её приложения и косинуса угла между векторами силы и перемещения. При

действию силы на движущееся тело работа этой силы равна изменению его кинетической энергии.

Работа в *термодинамике* определяется так же, как и в механике, но она равна не изменению кинетической энергии тела, а изменению его внутренней энергии.

**Изменение внутренней энергии при совершении работы.** Почему при сжатии или расширении тела меняется его внутренняя энергия? Почему, в частности, нагревается воздух при накачивании велосипедной шины?

Причина изменения температуры газа в процессе его сжатия состоит в следующем:

**Важно**

при упругих соударениях молекул газа с движущимся поршнем изменяется их кинетическая энергия.



Понаблюдайте за изменением температуры насоса при накачивании велосипедной камеры.

**ИНТЕРЕСНО**

При сжатии или расширении меняется и средняя потенциальная энергия взаимодействия молекул, так как при этом меняется среднее расстояние между молекулами.

Так, при движении навстречу молекулам газа поршень во время столкновений передаёт им часть своей механической энергии, в результате чего увеличивается внутренняя энергия газа и он нагревается. Поршень действует подобно футболисту, встречающему летящий на него мяч ударом ноги. Нога футболиста сообщает мячу скорость, значительно большую той, которой он обладал до удара.

И наоборот, если газ расширяется, то после столкновения с удаляющимся поршнем скорости молекул уменьшаются, в результате чего газ охлаждается. Так же действует и футболист, для того чтобы уменьшить скорость летящего мяча или остановить его, — нога футболиста движется от мяча, как бы уступая ему дорогу.

Вычислим работу силы  $\vec{F}$ , действующей на газ со стороны внешнего тела (поршня), в зависимости от изменения объёма на примере газа в цилиндре под поршнем (рис. 13.1), при этом давление газа поддерживается постоянным. Сначала вычислим работу, которую совершает сила давления газа, действуя на поршень с силой  $\vec{F}'$ . Если поршень поднимается медленно и равномерно, то, согласно третьему закону Ньютона,  $\vec{F} = \vec{F}'$ . В этом случае газ расширяется изобарно.

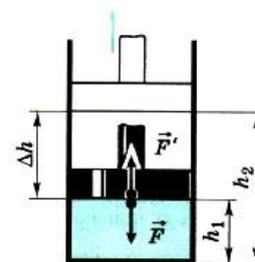


Рис. 13.1



Объясните, почему процесс расширения газа должен происходить очень медленно.

Модуль силы, действующей со стороны газа на поршень, равен  $F' = pS$ , где  $p$  — давление газа, а  $S$  — площадь поверхности поршня. При подъёме поршня на малое расстояние  $\Delta h = h_2 - h_1$  работа газа равна:

$$A' = F'\Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(Sh_2 - Sh_1). \quad (13.2)$$

Начальный объём, занимаемый газом,  $V_1 = Sh_1$ , а конечный  $V_2 = Sh_2$ . Поэтому можно выразить работу газа через изменение объёма  $\Delta V = (V_2 - V_1)$ :

$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V > 0. \quad (13.3)$$

При расширении газ совершает положительную работу, так как направление силы и направление перемещения поршня совпадают.

Если газ сжимается, то формула (13.3) для работы газа остаётся справедливой. Но теперь  $V_2 < V_1$ , и поэтому  $A < 0$ .

Работа  $A$ , совершаемая внешними телами над газом, отличается от работы  $A'$  самого газа только знаком:

$$A = -A' = -p\Delta V. \quad (13.4)$$



Обсудите с одноклассниками справедливость формулы (13.4). Может ли работа внешних сил быть больше или меньше работы силы давления ч газа?

При сжатии газа, когда  $\Delta V = V_2 - V_1 < 0$ , работа внешней силы оказывается положительной. Так и должно быть: при сжатии газа направления силы и перемещения точки её приложения совпадают.

Если давление не поддерживать постоянным, то при расширении газ теряет энергию и передаёт её окружающим телам: поднимающемуся поршню, воздуху и т. д. Газ при этом охлаждается. При сжатии газа, наоборот, внешние тела передают ему энергию и газ нагревается.

### Геометрическое истолкование работы

Работе  $A'$  газа для случая постоянного давления можно дать простое геометрическое истолкование.

При постоянном давлении график зависимости давления газа от занимаемого им объёма — прямая, параллельная оси абсцисс (рис. 13.2). Очевидно, что площадь прямоугольника  $abdc$ , ограниченная графиком  $p = \text{const}$ , осью  $V$  и отрезками  $ab$  и  $cd$ , равными давлению газа, численно равна работе, определяемой формулой (13.3):

$$A' = p_1(V_2 - V_1) = |ab| \cdot |ac|.$$

В общем случае давление газа не остаётся неизменным. Например, при изотермическом процессе оно убывает обратно пропорционально объёму (рис.

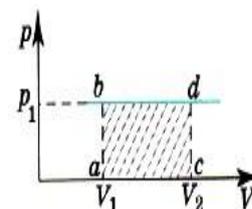


Рис. 13.2



13.3). В этом случае для вычисления работы нужно разделить общее изменение объёма на малые части и вычислить элементарные (малые) работы, а потом все их сложить. Работа газа по-прежнему численно равна площади фигуры, ограниченной графиком зависимости  $p$  от  $V$ , осью  $V$  и отрезками  $ab$  и  $cd$ , длина которых численно равна давлениям  $p_1$   $p_2$  в начальном и конечном состояниях газа.



Объясните нагревание и охлаждение газа при изменении его объёма при постоянном давлении с точки зрения МКТ.

### Количество теплоты

*Вспомните, какие агрегатные состояния вещества вы знаете.*

*Назовите процессы, при которых происходят агрегатные превращения вещества.*

*Как можно изменить агрегатное состояние вещества?*

Изменить внутреннюю энергию любого тела можно, совершая работу, нагревая или, наоборот, охлаждая его. Так, при ковке металла совершается работа, и он разогревается, в то же время металл можно разогреть над горящим пламенем.

Также если закрепить поршень (рис. 13.5), то объём газа при нагревании не меняется и работа не совершается. Но температура газа, а следовательно, и его внутренняя энергия возрастают.

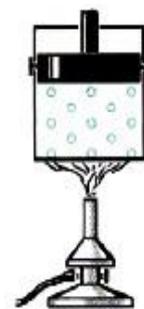


Рис. 13.5

Внутренняя энергия может увеличиваться и уменьшаться, поэтому количество теплоты может быть положительным и отрицательным.

#### Запомни

Процесс передачи энергии от одного тела другому без совершения работы называют **теплообменом**.

Количественную меру изменения внутренней энергии при теплообмене называют **количеством теплоты**.

**Молекулярная картина теплообмена.** При теплообмене на границе между телами происходит взаимодействие медленно движущихся молекул холодного тела с быстро движущимися молекулами горячего тела. В результате кинетические энергии молекул выравниваются и скорости молекул холодного тела увеличиваются, а горячего уменьшаются.

При теплообмене не происходит превращения энергии из одной формы в другую, часть внутренней энергии более нагретого тела передаётся менее нагретому телу.

**Количество теплоты и теплоёмкость.** Вам уже известно, что для нагревания тела массой  $t$  от температуры  $t_1$  до температуры  $t_2$  необходимо передать ему количество теплоты:

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm \Delta t. \quad (13.5)$$

При остывании тела его конечная температура  $t_2$  оказывается меньше начальной температуры  $t_1$  и количество теплоты, отдаваемой телом, отрицательно.

Коэффициент  $c$  в формуле (13.5) называют *удельной теплоёмкостью* вещества.



Посмотрите таблицу значений теплоёмкостей различных веществ. Сравните значения удельной теплоёмкости, например воды и железа. Подумайте, почему теплоёмкости жидкостей больше, чем теплоёмкости твёрдых веществ.

#### Запомни

**Удельная теплоёмкость** — это величина, численно равная количеству теплоты, которую получает или отдаёт вещество массой 1 кг при изменении его температуры на 1 К.

Удельная теплоёмкость газов зависит от того, при каком процессе осуществляется теплопередача. Если нагревать газ при постоянном давлении, то он будет расширяться и совершать работу. Для нагревания газа на 1 °С при постоянном давлении ему нужно передать большее количество теплоты, чем для нагревания его при постоянном объёме, когда газ будет только нагреваться.

Жидкие и твёрдые тела расширяются при нагревании незначительно. Их удельные теплоёмкости при постоянном объёме и постоянном давлении мало различаются.

**Удельная теплота парообразования.** Для превращения жидкости в пар в процессе кипения необходима передача ей определённого количества теплоты. Температура жидкости при кипении не меняется. Превращение жидкости в пар при постоянной температуре не ведёт к увеличению кинетической энергии молекул, но сопровождается увеличением потенциальной энергии их взаимодействия. Ведь среднее расстояние между молекулами газа много больше, чем между молекулами жидкости.

#### Запомни

Величину, численно равную количеству теплоты, необходимой для превращения при постоянной температуре жидкости массой 1 кг в пар, называют **удельной теплотой парообразования**.



Процесс испарения жидкости происходит при любой температуре, при этом жидкость покидают самые быстрые молекулы, и она при испарении охлаждается. Удельная теплота испарения равна удельной теплоте парообразования.

Эту величину обозначают буквой  $g$  и выражают в джоулях на килограмм (Дж/кг).

Очень велика удельная теплота парообразования воды:  $g_{H_2O} = 2,256 \cdot 10^6$  Дж/кг при температуре 100 °С. У других жидкостей, например у спирта, эфира, ртути, керосина, удельная теплота парообразования меньше в 3—10 раз, чем у воды.

Для превращения жидкости массой  $m$  в пар требуется количество теплоты, равное:

$$Q_{п} = gm. \quad (13.6)$$

При конденсации пара происходит выделение такого же количества теплоты:

$$Q_k = -rm. \quad (13.7)$$

**Удельная теплота плавления.** При плавлении кристаллического тела всё подводимое к нему тепло идёт на увеличение потенциальной энергии взаимодействия молекул. Кинетическая энергия молекул не меняется, так как плавление происходит при постоянной температуре.

**Запомни**

Величину, численно равную количеству теплоты, необходимой для превращения кристаллического вещества массой 1 кг при температуре плавления в жидкость, называют **удельной теплотой плавления** и обозначают буквой  $\lambda$ .

При кристаллизации вещества массой 1 кг выделяется точно такое же количество теплоты, какое поглощается при плавлении.

Удельная теплота плавления льда довольно велика:  $3,34 \cdot 10^5$  Дж/кг.

**ИНТЕРЕСНО**

«Если бы лёд не обладал большой теплотой плавления, то тогда весной вся масса льда должна была бы растаять в несколько минут или секунд, так как теплота непрерывно передаётся льду из воздуха. Последствия этого были бы ужасны; ведь и при существующем положении возникают большие наводнения и сильные потоки воды при таянии больших масс льда или снега». Р. Блек, XVIII в.

Для того чтобы расплавить кристаллическое тело массой  $m$ , необходимо количество теплоты, равное:

$$Q_{пл} = \lambda m. \quad (13.8)$$

Количество теплоты, выделяемой при кристаллизации тела, равно:

$$Q_{кр} = -\lambda m \quad (13.9)$$

6. Как следует записать уравнение теплового баланса для изолированной системы из трёх тел, переходящей в равновесное состояние?

---

**Контрольные вопросы:**

1. Приведите примеры превращения механической энергии во внутреннюю и обратно в технике и быту.

2. От каких физических величин зависит внутренняя энергия тела?
3. Чему равна внутренняя энергия идеального одноатомного газа?
4. Почему газы при сжатии нагреваются?
5. Что называют количеством теплоты?
6. Что называют удельной теплотой парообразования?
7. В каких случаях количество теплоты — положительная величина, а в каких случаях отрицательная?

---

**Литература:**

Мякишев Г. Я. Физика 10 класс. Учебник для общеобразовательных учреждений. М., 2010.        стр. 192-208; §75 упр. 1-3, §76 упр. 1-2, §77 упр. 1-5.