

Лекции.

6.1.1 Связь средней энергии одной частицы вещества и температуры. Степени свободы.

Ранее мы говорили о том, что средняя кинетическая энергия энергии поступательного движения молекул идеального газа может быть рассчитана по формуле:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT \quad (6.1)$$

Эта формула отражает однозначную связь между средней энергией молекул и температурой по шкале Кельвина. Подобная связь между температурой и энергией справедлива не только для идеального газа, но и для любого другого состояния вещества в этом случае лишь изменяется коэффициент.

$$\bar{E} = \frac{i}{2} kT \quad (6.2)$$

Где i – называется числом степеней свободы молекулы.

Число степеней свободы – это количество независимых чисел, при помощи которых можно полностью описать движение молекулы. Если газ одноатомный (в этом случае каждую частицу газа можно считать точкой), ее движение описывается тремя числами: v_x, v_y, v_z (проекциями скорости на три оси). В этом случае $i=3$.

Если молекула двухатомная (можно представить как отрезок), то для описания ее движения необходимо 5 чисел – три проекции скоростей и два числа, описывающие вращение частицы по двум направлениям. В этом случае у молекулы 5 степеней свободы ($i=5$). Если молекула трехатомная $i=6$ (три проекции скорости и три направления вращения). Если вещество находится в жидком или твердом состоянии, для описания ее движения нужно указать еще числа, характеризующие ее связи с другими молекулами. В этом случае i , будет еще больше. Но в любом случае оказывается, что на одну степень свободы каждой молекулы в среднем приходится одно и то же количество энергии, равное.

$$\bar{E} = \frac{1}{2} kT \quad (6.3)$$

6.1.2 Внутренняя энергия

Внутренняя энергия – это суммарная кинетическая и потенциальная энергия хаотического движения молекул. В определении важно, что это энергия именно хаотического движения. Как мы уже говорили молекулы и атомы вещества всегда находятся в хаотическом движении, только у газа частицы движутся свободно, а у жидкости и твердого тела только колеблются, это значит, что любое тело, при любой температуре обладает внутренней энергией, которая возрастает при ее увеличении.

Как правило внутренняя энергия обозначается буквой U .

Расчитаем внутреннюю энергию, воспользовавшись формулой (6.2), которая показывает какой энергией обладает одна частица вещества. Общая энергия вещества равна произведению энергии одной частицы на количество частиц, равное: $N = N_a \nu$ (6.4).

Получим $U = \nu N_a \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} \nu RT$, мы использовали что $R = kN_a$

Итак, внутренняя энергия любого тела может быть рассчитана по формуле:

$$U = \frac{i}{2} \nu RT \quad (6.5)$$

В отличии от механических кинетической и потенциальной энергии, внутренняя энергия имеется у любого физического тела всегда.

6.1.3 Изменение внутренней энергии тела:

Из формулы 6.5 следует что внутренняя энергия изменяется всегда, когда меняется температура, значит по изменению температуры тела мы можем судить о том, изменилась ли внутренняя энергия тела.

Существует два основных способа изменения внутренней энергии: за счет совершения работы и за счет передачи тепла.

Изменение внутренней энергии за счет **совершения работы**:

Если двигать одно тело по поверхности другого (совершая при этом работу), возникают силы трения, которые приводят к увеличению температуры тела, т.е. увеличение внутренней энергии.

В случае газа его внутренняя энергия может изменяться при сжатии и расширении. Пусть у нас имеется газ, помещенный в цилиндрический сосуд под поршнем. Предположим что мы начинаем совершать работу, сжимая газ. В этом случае поршень сдвигаясь, дополнительно подталкивает молекулы газа, сообщая им дополнительную скорость. Следовательно, газ нагревается (внутренняя энергия увеличивается вследствие совершения над ним работы.) Обратно, если сам газ расширяется (поршень выдвигается), то молекулы теряют часть своей скорости подталкивая поршень (внутренняя энергия газа уменьшается за счет совершения газом работы).

Таким образом работа, совершенная над газом зависит от того, как меняется объем газа: если объем увеличивается газ совершает положительную работу и его внутренняя энергия уменьшается (он потратил ее на совершения работы), если объем уменьшается, газ совершает отрицательную работу и его внутренняя энергия увеличивается (над ним совершии работу).

Если газ меняет объем при постоянном давлении, то работа газа равна:

$$A = pV_2 - pV_1 = p\Delta V \quad (6.6)$$

Рассмотрим примеры, подтверждающие, что газ при расширении охлаждается, а при сжатии нагревается:

При резком вытекании газа из баллона со сжатым газом, баллон покрывается инеем, так как его температура резко уменьшается.

Горючая смесь в дизельном двигателе сжимается так сильно, что от увеличения температуры она самопроизвольно воспламеняется.

Вторым способом изменения внутренней энергии тела является теплопередача в этом случае энергия передается телу в виде **теплоты**.

Количество теплоты по определению – это энергия, переданная телу без совершения работы. Теплота всегда передается от более нагретого тела к менее нагретому. Передача энергии в этом случае происходит на молекулярном уровне: более быстрые молекулы нагретого тела, взаимодействуя с медленными молекулами холодного тела, передают им часть своей энергии. Количество теплоты обозначается буквой Q. Если теплота входит в тело количество теплоты положительно, если выходит - отрицательно.

6.1.4 Первый закон термодинамики.

Связь между изменением внутренней энергии ΔU , работой совершенной над газом A и количеством полученной им теплоты Q можно записать в виде формулы:

$$\Delta U = A + Q \quad (6.7)$$

которая носит название *первого закона термодинамики* и читается: **Изменение внутренней энергии тела может происходить за счет совершения над телом работы и сообщения ему определенного количества теплоты.**

Первый закон термодинамики является законом сохранения энергии для механических и тепловых процессов.

6.2 Количество теплоты. Уравнение теплового баланса.

6.2.1 Три способа теплопередачи.

Существует три способа передачи тепла: теплопроводность, конвекция, излучение.

Теплопроводность. Передача тепла непосредственно от точки с большей температуры в соседнюю точку с меньшей температурой. В случае теплопроводности тепло распространяется последовательно от точки к точке, при этом само вещество не перемещается. Скорость передачи тепла зависит от разности температур между горячим и холодным телом (чем больше разность температур, тем быстрее передается тепло) и от рода вещества. Говорят, что вещества, которые хорошо передают тепло обладают большой теплопроводностью, а вещества которые плохо передают тепло - маленькой. Большой теплопроводностью обладают металлы, маленькой - газы. Численно, теплопроводность различных веществ характеризует коэффициент теплопроводности (табличное значение для каждого вещества).

Конвекция. Передача тепла при перемешивании горячего и холодного вещества. В случае конвекции происходит перемещение вещества. Естественная конвекция происходит при нагреве жидкости или газа с низу или охлаждении сверху (при условии что вещество при нагреве расширяется). В этом случае более легкие нагретые массы жидкости или газа поднимаются вверх, а более тяжелые опускаются вниз. При конвекции скорость передачи тепла может быть существенно больше чем при теплопередаче, поэтому для уменьшения теплотерь в первую очередь стараются уменьшить конвекцию, например, применяя материалы с ворсом (с шерстинками, которые мешают газу или жидкости перемешиваться).

Излучение. Любое вещество постоянно испускает в пространство вокруг себя электромагнитные волны, которые уносят часть его энергии. Чем выше температура тела, тем интенсивнее идет излучение и тем выше частота этого излучения: если температура порядка комнатной - вещество излучает прежде всего инфракрасные волны, если температура порядка 1000 градусов - помимо инфракрасного излучения появляется видимый свет. При попадании излучения на другие тела, энергия излучения частично поглощается телами, и их внутренняя энергия увеличивается. Таким образом тела способны обмениваться теплом без непосредственного контакта, путем обменом электромагнитными излучениями. Излучение является единственным способом теплопередачи в безвоздушном пространстве, но и на земле значительная доля тепла передается таким способом.

6.2.2 Расчет количества теплоты.

Нагрев.

Получая дополнительную теплоту, тело как правило увеличивает свою внутреннюю энергию, а значит его температура растет.

Количество теплоты, которое нужно, чтобы нагреть тело массой 1 кг на 1 °C называют удельной теплоемкостью вещества и обозначается буквой C (табличная величина для каждого вещества). Для расчета тепла, необходимого, чтобы нагреть тело массой m на количество градусов ($t_2 - t_1$) (где t_2 и t_1 - конечная и начальные температуры тела соответственно) следовательно можно применить формулу:

$$Q = Cm(t_2 - t_1) \quad (6.8)$$

При нагреве ($t_2 - t_1$) будет больше 0, значит и Q будет положительно, при охлаждении ($t_2 - t_1$) будет меньше 0, значит и Q будет отрицательно.

Фазовые переходы.

Тепло затрачивается не только на нагрев тела, но и на осуществления фазовых переходов (внутреннюю перестройку вещества): например на переход кристаллическое тело – жидкость или жидкость – газ.

Как мы помним при плавлении температура тела не меняется и равна температуре плавления. Для превращения 1 кг твердого вещества в 1 кг жидкости необходимо количество теплоты, которое называется удельной теплотой плавления и обозначается λ . Величина, которая показывает сколько тепла нужно для превращения 1 кг жидкости в 1 кг пара той же температуры называется удельной теплотой парообразования и обозначается L . Единицы измерения λ и L – Дж/кг.

Для расчета количества тепла необходимого, чтобы превратить m кг кристаллического вещества (жидкости) в жидкость (газ), очевидно, можно применять формулы:

$$Q = \lambda m \quad (6.9)$$

$$Q = Lm \quad (6.10)$$

Отметим, что оба перехода происходят при постоянной температуре, т.е. если температура в процессе меняется, необходимо дополнительно рассчитать тепло по формуле (6.8).

При обратных переходах жидкость – кристаллическое тело и газ – жидкость выделяется такое же количество тепла, которое требовалось на осуществление прямого процесса, т.е. формулы (6.9-6.10) можно применять поставив перед ними знак минус.

6.2.3 Уравнение теплового баланса.

Если имеется замкнутая система тел (можно пренебречь обменом энергии этих тел с другими телами) и внутри этой не совершается работы из 1 закона термодинамики следует, что количество теплоты, которое выходит из тел системы равно количеству теплоты, которое входит в тела системы, т.е. суммарное количество теплоты для всех тел данной системы равно 0. Это утверждение носит название: уравнение теплового баланса.

Пример: В горячую воду бросили кубик льда температурой 0°C .

В этом случае кубик льда плавится и в него входит количество тепла Q_1 , а потом получившаяся вода нагревается, при этом в нее входит Q_2 , горячая вода при этом охлаждается и из нее выходит Q_3 . При этом оказывается что $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$

6.3 Тепловые двигатели. Тепловой двигатель. 2 Начало термодинамики. Энтропия.

6.3.1 Тепловые двигатели. КПД теплового двигателя. 2 Закон термодинамики.

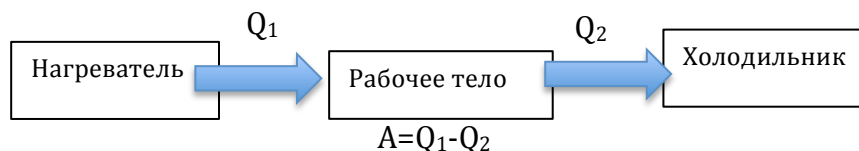
Тепловым двигателем называется машина, которая превращает теплоту в механическую работу. Примерами тепловых двигателей могут служить: *паровой двигатель, паровая турбина, двигатель внутреннего сгорания*. Во всех этих устройствах теплота, получаемая при сжигании топлива частично превращается в полезную механическую работу.

КПД теплового двигателя показывает какая часть затраченного тепла превратилась в работу:

$$\text{КПД} = \frac{A}{Q} 100\% \quad (6.11)$$

Если КПД не равен 100%, то не вся теплота превращается в работу. Это значит у любого такого двигателя существует проблема отвода лишнего тепла. Действительно, и для машины с двигателем внутреннего сгорания, и для тепловой электростанции - отвод тепла является первостепенной задачей.

Условно перемещение энергии при работе теплового двигателя можно представить в виде схемы:



У любого теплового двигателя можно выделить три части: нагреватель, холодильник и рабочее тело. *Нагреватель* – область двигателя с высокой температурой. В этой области *рабочее тело* (как правило газ или пар) получает количество тепла Q_1 и в результате этого совершает работу A . Остаток тепла ($Q_2=Q_1-A$) отдается холодильнику (в случае двигателя внутреннего сгорания – это окружающий воздух, в случае тепловой турбины – специальная батарея охлаждения).

2 закон термодинамики.

1 закон термодинамики не противоречит существованию тепловой машины со 100% КПД, которая бы превращала тепло в работу полностью (в этом случае машине был бы не нужен холодильник). Подобное гипотетическое устройство носит название *вечный двигатель 2 рода*. Здравый смысл и опыт говорят нам что существование такого двигателя невозможно.

Для фиксации этого факта существует 2 закон термодинамики. Существует две формулировки этого закона.

1 формулировка: *Не существует вечного двигателя 2 рода.*

2 формулировка: *Не существует такого процесса, единственным результатом которого было бы нагревание горячего тела за счет охлаждения холодного.*

Можно доказать что формулировки эквивалентны: действительно, пусть 2 формулировка неверна, докажем, что в этом случае будет неверна и 1 формулировка: если существовал бы процесс, при котором можно было бы нагревать горячее тело, за счет охлаждения холодного, то при помощи такого процесса мы могли бы доводить воду в паровом котле до кипения, а затем использовать ее в паровом двигателе, таким образом получая полезную работу не нагревая холодильник, а наоборот забирая из него тепло.

Цикл Карно.

Французский физик Анри Карно сумел мысленно сконструировать тепловой процесс, обладающим максимально возможным КПД. Оказалось, что максимально возможный КПД зависит только от температур нагревателя и холодильника:

$$\text{КПД} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} 100\% = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) 100\% \quad (6.12)$$

(Где T_1 – температура нагревателя, а T_2 – температура холодильника).

Из формулы 6.12 видно, что увеличивать КПД можно двумя способами: за счет уменьшения T_2 и за счет увеличения T_1 . T_2 сложно сделать меньше, чем температура окружающей среды, значит единственный реальный способ повышения КПД – увеличение температуры нагревателя. Действительно, даже для реальных двигателей верно правило: чем выше температура нагревателя, тем выше КПД. Например, КПД дизельных двигателей всегда больше чем КПД бензиновых, так как температура горения дизельного топлива больше, чем бензинового. Отметим также что невозможность получения КПД равное 100% вытекает из невозможности достижения температуры холодильника равное абсолютному нулю.

Из цикла Карно следует, что, чем больше температура тела, тем эффективнее можно превращать ее внутреннюю энергию в тепло. В любом случае такой процесс происходит как сопутствующий перетеканию энергии от более нагретого тела к менее нагретому. Таким образом мы можем прийти к пониманию того, что внутренняя энергия бывает разного качества: чем выше температура – тем выше качество энергии (тем большая ее часть может превратиться в механическую работу). Качество энергии характеризуется физической величиной называемой энтропия. Чем выше температура – тем меньше энтропия. Третий закон термодинамики гласит: ***Суммарная энтропия любой замкнутой системы увеличивается.*** Можно связать понятие энтропии с понятием хаотичности системы: чем выше энтропия – тем больше хаотичность системы. Исходя из этого можно сформулировать 3 закон термодинамики так: ***степень хаотичности любой замкнутой системы увеличивается.***

6.1 Внутренняя энергия. Число степеней свободы.

1. Имеется 1 моль одноатомного идеального газа при температуре 27°C. Чему равна его внутренняя энергия.

Напишите формулу и значение: _____

2. Что изменится в задаче 1, если газ будет двухатомный, трехатомный? _____

3. Во сколько раз изменится энергия газа если он изменит свою температуру с 27°C до 327°C? _____

Во сколько раз изменится энергия твердого тела в этом случае? _____

4. Один моль двухатомного кислорода находится при некоторой температуре. Воздействуя на кислород удалось добиться, что все его молекулы распались на атомы. Как в это случае изменилась общая внутренняя энергия (процесс изотермический). _____

5. Определите внутреннюю энергию воздуха в помещении объемом 100 м³ (для расчета можно преобразовать формулу 6.5 воспользоваться законом Менделеева-Клайперона).

Напишите итоговую формулу и расчет _____

Количество теплоты работа.

6. Свяжите объекты из правого и левого столбиков.

1. Газ расширяется	А. Работа газа положительна
2. Газ сжимается	Б. Работа над газом положительна
3. Газ не меняет объем	В. Работа газа отрицательна
	Г. Работа над газом отрицательна
	Д. Работа равна 0.

7. Свяжите объекты из правого и левого столбика.

1. Внутренняя энергия изменяется за счет совершения работы.	А. Земля нагревается под действием солнечного света.
2. Внутренняя энергия изменяется за счет передачи (получения) количества теплоты.	Б. Вода в кастрюле нагревается на газовой плите.
	В. Пары дизельного горючего сжимают до воспломинения.
	Г. При выходе газа из баллона, баллон покрывается инеем.

8. Какую работу совершает газ, заполняя оболочку 100 м³ при постоянном давлении 1 атм.

Напишите формулу и расчет: _____

9. Какую работу совершает человек, делая вдох на глубине 10 м, вдыхая 1 л воздуха. _____

10. Один моль идеального газа повысил свою температуру на 10 °C при изохорически. Определите работу, совершенную газом.

Напишите итоговую формулу и расчет _____

11. Газ совершает работу 2000 Дж и получает при этом 1200 Дж тепла как при этом изменится его внутренняя энергия?

Напишите формулу и расчет _____

1 закон Термодинамики.

12. Газ сжимают совершая работу 1000 Дж и при этом из газа выходит 1200 Дж тепла как при этом изменится его внутренняя энергия?

Напишите формулу и расчет _____

13. Внутренняя энергия газа увеличилась на 30кДж. Газ при этом расширяясь совершил работу 10 кДж. Определите количество тепла, полученное газом.

Напишите формулу и расчет _____

14. 2 Моля идеального газа нагрелись на 20 °K изохорически. Какое количество теплоты при этом получил газ?

6.2 Количество теплоты. Уравнение теплового баланса.

1. 1 моль одноатомного газа нагрели изохорически на 10°C . Определите (*напишите расчетную формулу и ответ*)
 - a. Работу газа. _____
 - b. Изменение внутренней энергии газа _____
 - c. Количество теплоты, полученное газом. _____
 - d. Молярную теплоемкость газа. _____
2. 1 моль одноатомного газа изотермически сжали, совершив при этом работу 2 кДж. Определите (*напишите расчетную формулу и ответ*):
 - a. Изменение внутренней энергии газа _____
 - b. Количество теплоты полученную газом _____
 - c. Молярную теплоемкость газа. _____
3. 1 моль одноатомного газа расширился изобарически, при этом газом была совершена работа 1000 Дж. Определите (*напишите расчетную формулу и ответ*):
 - a. Изменение внутренней энергии газа _____
 - b. Количество теплоты, полученную газом _____
4. Какое количество теплоты необходимо, чтобы (*напишите расчетную формулу и ответ*):
 - a. Нагреть 4 кг железа от температуры 10°C до температуры 20°C .

 - b. 2 кг олова от температуры 10°C до температуры плавления и расплавить.

 - c. 1 кг воды находящейся в тройной точке до температуры кипения при нормальных условиях и превратить всю ее в пар.

 - d. Нагреть 20 кг воды находящихся в котле массой 10 кг на 10°C .

 - e. Нагреть 2 л подсолнечного масла на 2°C ?

5. Смешали 1 кг холодной воды температурой 10°C и 2 кг горячей воды температурой 90°C .
 - a. Нарисуйте схему передачи тепла в этом случае.

Смесь

Холодная
вода

Горячая
вода
 - b. Напишите уравнение теплового баланса. _____
 - c. Определите температуру воды, которая установится в результате. _____

6. 10 г льда при температуре 0°C бросили в 10 кг воды, температурой 20°C . Какая температура установится в результате?
- Нарисуйте схему передачи тепла в этом случае (*так как без предварительного расчета невозможно определить конечное состояние системы, отразите в схеме все возможные варианты*)
 - Напишите уравнение теплового баланса.
 - Определите температуру, которая установится в результате. _____
7. 10 кг воды температурой 50°C начали испаряться. Определите на сколько уменьшится температура воды, если испарилось 10 г воды. Считать что тепловыми потерями можно пренебречь.
- Нарисуйте схему передачи тепла в этом случае.
 - Напишите уравнение теплового баланса.
 - Определите температуру воды, которая установится в результате.

6.3 Тепловые двигатели.

1. Выберите правильное определение:
Тепловым двигателем называется устройство,
 - a. которое превращает внутреннюю энергию тела в механическую работу.
 - b. которое превращает внутреннюю энергию тела в теплоту.
 - c. которое превращает механическую работу в тепло.
 - d. которое превращает теплоту, выделяющуюся при сгорании топлива в механическую работу.
2. Нарисуйте схематично схему перемещения энергии в паровом двигателе (где появляется и за счет чего, куда идет, во что превращается):

3. Почему вечный двигатель второго рода называется **вечным**. _____
4. Тепловой двигатель совершил работу 2000 Дж при этом затратив 10000 Дж тепла.

Определите КПД двигателя _____

5. В паровом двигателе сожгли дрова, при этом выделилось 200 кДж тепла. В результате работы двигателя в окружающее пространство попало 190 кДж тепла. Определите:
 - a. Механическую работу, совершенную в тепловом двигателе _____
 - b. КПД теплового двигателя _____
6. Тепловой двигатель имеет КПД 20%. В окружающее пространство при его работе из него вышло 10 кДж тепла. Найдите:
 - a. Работу совершенную двигателем. _____
 - b. Тепло, которое выделилось в двигателе. _____
7. Назовите газовый процесс, КПД которого равен 100% _____
Почему данный процесс нельзя использовать как базовый для производства механической работы с КПД 100%? _____
8. Температура нагревателя идеального теплового двигателя равна 327°C , а температура холодильника 27°C . Определите КПД этого двигателя? _____
9. Температура нагревателя идеального теплового двигателя равна 327°C , а температура холодильника 27°C . Какое количество тепла будет затрачено на совершение этим двигателем работы 2000 кДж. _____