

Телепроект «МОЯ ШКОЛА в online»

ГОТОВИМСЯ К ЕГЭ

# ФИЗИКА

11 класс

Урок № 8

Законы термодинамики.  
Графические задачи на определение  
работы и изменения внутренней  
энергии идеального одноатомного  
газа. Тепловые двигатели. КПД.

Иоголевич Иван Александрович  
учитель физики и астрономии  
Физтех-лицея им. П. Л. Капицы

Теория тепловых процессов, в которой не учитывается молекулярное строение тел, называется **термодинамикой**.  
Её выводы основаны на общих принципах или началах, являющихся обобщением опытных фактов.

## Первый закон термодинамики

«Изменение внутренней энергии системы  $\Delta U$  при её переходе из одного состояния в другое равно сумме работы **внешних** сил  $A$  и количества теплоты  $Q$ , переданного системе, и не зависит от способа, которым осуществляется этот переход»:

$$\Delta U = A + Q \quad (1)$$

Первый закон термодинамики можно переписать в другой форме:

$$Q = \Delta U + A' \quad (2),$$

где  $A' = -A$  – работа **системы** над внешними телами.

Количество теплоты, переданное системе, идёт на изменение её внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами.

Молекулы идеального газа не взаимодействуют друг с другом кроме их непосредственного столкновения. Поэтому **внутренняя энергия идеального газа** – это сумма кинетических энергий хаотического (теплового) движения всех его молекул.

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT \quad (3),$$

где  $\nu$  – количество вещества (в молях),  
 $R = 8,31$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная,  $T$  – абсолютная температура (по шкале Кельвина).

Внутренняя энергия заданного количества вещества идеального газа зависит только от его температуры!

При повышении температуры (нагревании) внутренняя энергия идеального газа увеличивается ( $\Delta U > 0$ ), при понижении температуры (охлаждении) – уменьшается ( $\Delta U < 0$ ). Внутренняя энергия не изменяется в **изотермическом** процессе, производимом над постоянным количеством идеального газа.

Работа, совершаемая идеальным газом при постоянном давлении (в **изобарном** процессе):

$$A' = p\Delta V \quad (4),$$

где **p** – давление газа,  **$\Delta V$**  – изменение его объёма.

При расширении газа ( $\Delta V > 0$ ), он совершает положительную работу, при сжатии ( $\Delta V < 0$ ) – отрицательную.

Если объём газа не изменяется (**изохорный процесс**), работа не совершается ( $A' = 0$ ).



Если давление газа  
изменяется, его работу можно  
найти как площадь под  
графиком зависимости  $p$  ( $V$ ).

Процесс, который происходит  
без теплообмена  
(система теплоизолированная),  
называется **адиабатическим**  
( **$Q = 0$** ).

**Тепловой двигатель** –  
циклически действующее  
устройство, превращающее  
внутреннюю энергию топлива  
в механическую энергию.

Тепловой двигатель получает за цикл от «нагревателя» количество теплоты  $Q_1$ , при этом передаёт «холодильнику» количество теплоты  $|Q_2| < Q_1$ . За счёт этого совершается работа  $A' = |Q_1| - |Q_2|$  (5).

Показателем эффективности работы теплового двигателя является коэффициент полезного действия (КПД). КПД теплового двигателя называют отношением работы  $A'$ , совершаемой двигателем, к количеству теплоты  $Q_1$ , полученному от нагревателя:

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} \quad (6)$$

Так как у всех двигателей некоторое количество теплоты передаётся холодильнику, то  $\eta < 1$ !

Максимально достижимый теоретически КПД имеет идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно. Цикл Карно состоит из двух изотерм с температурами  $T_1 > T_2$  и двух адиабат.

КПД цикла Карно:

$$\eta_{\text{ид}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (7)$$

## Формулировки второго закона термодинамики

- «Невозможно осуществить такой периодический процесс, единственным результатом которого было бы получение работы за счёт теплоты, взятой от одного источника» (**У.Кельвин**).
- «Невозможно перевести тепло от более холодной системы к более горячей при отсутствии одновременных изменений в обеих системах или окружающих телах» (**Р. Клаузиус**).

Идентификатор задачи: 17562

Газу передали изохорно количество теплоты 300 Дж. **Как изменилась его внутренняя энергия в этом процессе?**

Ответ:

- 1. увеличилась на 300 Дж**
2. уменьшилась на 300 Дж
3. увеличилась на 600 Дж
4. уменьшилась на 600 Дж

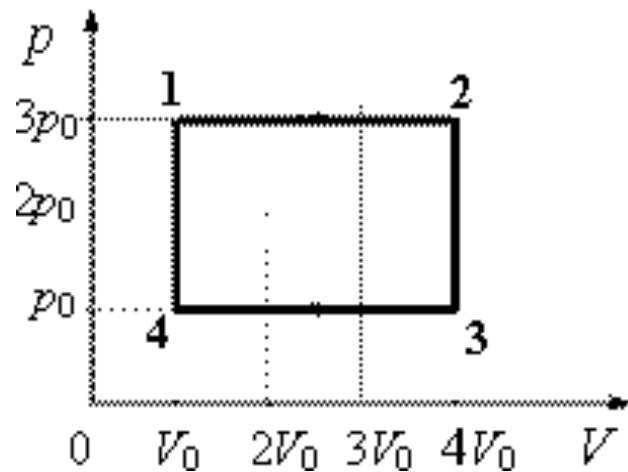


Идентификатор задачи: 17648

За цикл, показанный на рисунке, газ получает от нагревателя количество теплоты  $Q_{\text{нагр}} = 5,1 \text{ кДж}$ . КПД цикла равен  $\frac{4}{17}$ . Масса газа постоянна. На участке 1–2 газ совершает работу.

Ответ:

1. 1,2 кДж
- 2. 1,8 кДж**
3. 2,6 кДж
4. 3,9 кДж

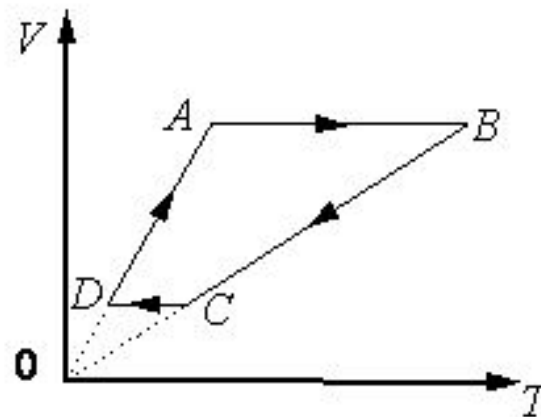


## Идентификатор задачи: 17666

На рисунке приведён цикл, осуществляемый с одним молем идеального газа. Если  $U$  – внутренняя энергия газа,  $A$  – работа, совершаемая газом,  $Q$  – сообщённое газу количество теплоты, то условия  $\Delta U > 0$ ,  $A > 0$ ,  $Q > 0$  выполняются совместно на участке

Ответ:

1. АВ
2. ВС
3. CD
4. **DA**



Идентификатор задачи: 17736

Внимательно прочитайте текст задания и выберите верный ответ из списка

**Какое(-ие) из приведённых утверждений верно(-ы)?**

А. Положительное количество теплоты самопроизвольно переходит от более нагретого тела к более холодному.

Б. Нельзя создать циклический тепловой двигатель, с помощью которого можно энергию, полученную от нагревателя, полностью превратить в механическую работу.

Ответ:

1. только А
2. только Б
- 3. и А, и Б**
4. ни А, ни Б

Идентификатор задачи: 18193

Внимательно прочитайте текст задания и выберите верный ответ из списка.

У идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, температура нагревателя **700 К**, а температура холодильника **300 К**. Рабочее тело получает за цикл работы от нагревателя количество теплоты, равное **30 кДж**. Какую работу совершает за один цикл этот двигатель?

Ответ:

1. 10,6 кДж
2. 12,3 кДж
- 3. 17,1 кДж**
4. 28,1 кДж

Идентификатор задачи: 18464

Тепловая машина с **КПД 40%** за цикл работы отдаёт холодильнику количество теплоты, равное 60 Дж.

**Какое количество теплоты машина получает за цикл от нагревателя?**

Ответ: **100 Дж**