

## Термодинамика

**Внутренняя энергия** – это суммарная энергия хаотического движения и взаимодействия микрочастиц системы (молекул).  $U = \sum E_{\text{кин } i} + \sum E_{\text{пот } i}$

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV \text{ – для идеального или одноатомного газа}$$

$$U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{5}{2} \nu RT = \frac{5}{2} pV \text{ – для двухатомного газа.}$$

$\Delta U$  – изменение внутренней энергии тела, сопровождается изменением температуры или агрегатного состояния тела.

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T, \quad \Delta U = \frac{3}{2} \Delta pV \text{ при } V = \text{const} \text{ или } \Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V \text{ при } p = \text{const}$$

### Два способа изменения U

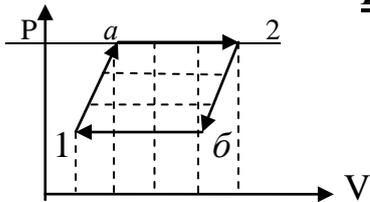
#### Для газа

1. **A** – работа газа или над газом.

$$A = p \Delta V = p(V_2 - V_1) \text{ при } p = \text{const}, \quad A = \frac{m}{\nu} R \Delta T = \nu R \Delta T$$

Работа газа (расширение)  $U \downarrow, T \downarrow$  на графике переход  $1 \rightarrow a \rightarrow 2$

Работа над газом (сжатие)  $U \uparrow, T \uparrow$  на графике переход  $2 \rightarrow b \rightarrow 1$



#### Геометрический способ нахождения работы

$A = S$  площади фигуры между графиком и осью  $V$  (процесс не замкнут)

Для циклического процесса

$1 \rightarrow a \rightarrow 2 \rightarrow b \rightarrow 1$

$A = S_{\text{цикл}}$  площади фигуры внутри графика

2. **Q** – теплопередача.

$$\Delta U = -A_{\text{газа}} \pm Q$$

#### Для любого тела

1. Теплопередача

→ 1. Теплопроводность (от молекулы к молекуле)

→ 2. Конвекция (потоками вещества)

→ 3. Излучение (инфракрасные лучи)

1)  $Q = c m \Delta T$  – нагрев, охлаждение, где  $c$  – удельная теплоемкость тела ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$ )

2)  $Q = \lambda m$  – плавление, кристаллизация, где  $\lambda$  – удельная теплота плавления ( $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ )

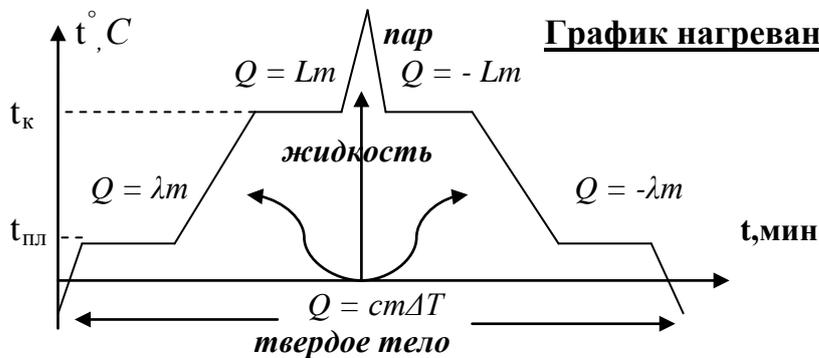
3)  $Q = L m$  – парообразование, конденсация, где  $L$  – удельная теплота парообразования ( $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ )

4)  $Q = q m$  – сгорание топлива, где  $q$  – удельная теплота сгорания топлива ( $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ )

2. Совершение работы внешних сил

$$\Delta U = A_{\text{внешн.с}} \pm Q$$

## График нагревания, плавления и кипения твердого тела

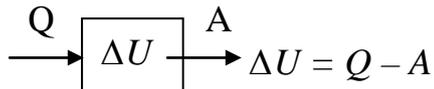


**Первый закон термодинамики** - изменение внутренней энергии системы происходит за счет совершения работы (газом или над газом) и теплопередачи.

**Другая формулировка закона:** количество теплоты, переданное системе, идет на увеличение его внутренней энергии и совершение газом работы.

$$Q = \Delta U + A$$

**Пример:**



**Второй закон термодинамики** - невозможен процесс, единственным результатом которого была бы передача энергии от холодного тела к горячему (сформулировал этот закон Р. Клаузиус).

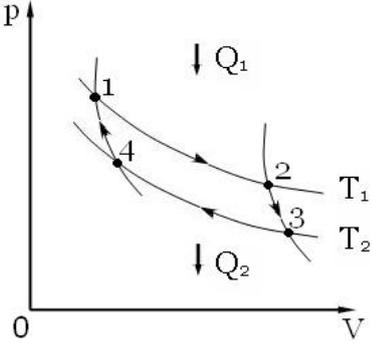
### I закон термодинамики для изопроцессов.

(Термодинамика изопроцессов).

Процесс	Работа газа при расширении	Закон сохранения энергии
Изотермический, $T = \text{const}, \Delta T = 0$		$\Delta U = 0$ $Q = A$
Изохорный $V = \text{const}, \Delta V = 0$		$A = 0$ $Q = \Delta U$
Изобарный, $P = \text{const}$		$\Delta U = Q + A$ $Q = \Delta U + A_{\text{газа}}$
Адиабатный, $Q = 0$		$Q = 0$ $\Delta U = -A_{\text{газа}}$

**Тепловым двигателем** называется устройство, в котором внутренняя энергия топлива превращается в механическую.

## Тепловые двигатели

<b>Принцип работы.</b>	
<p>I. Идея: превращение внутренней энергии топлива в работу.</p> <p>II. Идеальный цикл Карно:</p> 	<p>III. Основные части двигателя и их работа:</p> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Нагреватель</div> <div style="text-align: center; margin: 5px 0;">↓</div> <div style="text-align: center; margin: 0 auto;"> <math>Q_H</math> – получение энергии         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Рабочее тело</div> <div style="text-align: center; margin: 5px 0;">↓</div> <div style="text-align: center; margin: 0 auto;"> <math>Q_X</math> – передача «остатка» энергии         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Холодильник</div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">→</div> <div style="text-align: center; margin: 0 auto;"> <math>A</math> – совершение работы (рабочий ход)         </div> </div>

### КПД тепловых двигателей.

#### **КПД реальной тепловой машины**

$$A = Q_H - Q_X \quad \eta = \frac{A_{\text{полезн.}}}{Q_H} \cdot 100\% \quad \eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} \cdot 100\% \quad \eta = 1 - \frac{Q_X}{Q_H} \cdot 100\%$$

$A_{\text{полезн.}}$  – работа, совершаемая рабочим телом,

$Q_H$  – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя,

$Q_X$  – количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику.

#### **КПД идеальной тепловой машины** (рабочее тело – идеальный газ)

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_H - T_X}{T_H} \cdot 100\%$$

## 1.Обучающие задания на тему «Термодинамика»

**1(А)** Какова внутренняя энергия 20 моль одноатомного газа при 27°C?

Указание: использовать формулу  $U = \frac{3}{2} \nu RT$ , не забудьте о переводе температуры в Кельвины.

- 1) 74,8 кДж                      3) 6,73 кДж  
2) 7479 Дж                      4) 50 кДж

**2(А)** Сравнить внутренние энергии аргона и гелия при одинаковых температурах. Массы газов одинаковы.

- 1) равны                      3) 1/10  
2) 1/40                      4) 2/5

Указание: записать выражение для внутренней газов через температуру и затем разделить уравнения друг на друга.

**3(А)** Какова внутренняя энергия гелия, заполняющего аэростат объемом 60 м<sup>3</sup> при давлении 100 кПа?

- 1)  $1 \cdot 10^6$  Дж                      3)  $3 \cdot 10^6$  Дж  
2)  $6 \cdot 10^6$  Дж                      4)  $9 \cdot 10^6$  Дж

Указание: использовать формулу нахождения внутренней энергии через давление и объем

**4(А)** Какое количество теплоты необходимо затратить для нагревания стального резца массой 400 г с удельной теплоемкостью  $c = 500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$  от 20°C до 1300°C?

- 1) 256 МДж                      3) 256 кДж  
2) 260 кДж                      4) 260 МДж

Указание: использовать формулу для расчета  $Q$  при нагреве тела.

**5(А)** Какое количество теплоты необходимо для плавления 240 г олова, взятого при температуре плавления? Удельная теплота плавления олова

$$\lambda = 60 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

- 1) 14,4 кДж                      3) 144 Дж  
2) 14,4 Дж                      4) 14,4 МДж

Указание: использовать формулу для расчета  $Q$  при плавлении.

**6(А)** Какое количество теплоты требуется для превращения воды массой 2 кг, взятой при температуре 20°C, в пар, имеющий температуру 100°C? ( $L = 2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг;  $c = 4200$  Дж/кг °C)

- 1)  $2 \cdot 10^6$  Дж                      3)  $6,72 \cdot 10^5$  Дж  
2)  $5,3 \cdot 10^6$  Дж                      4)  $9,3 \cdot 10^6$  Дж

Указание: общее количество теплоты израсходованной энергии:  $Q = Q_1 + Q_2$

$Q_1 = cm(t_2 - t_1)$  – энергия, необходимая для нагревания воды от 20°C до 100°C .

$Q_2 = Lm$  – энергия, необходимая для превращения воды в пар без изменения ее температуры.

**7(А)** При полном сгорании дров выделилось 50000 кДж энергии. Какая масса дров сгорела? ( $q = 10$  МДж/кг)

- 1) 10 кг    2) 2 кг    3) 50 кг    4) 5 кг

Указание: выразить массу из формулы для расчета  $Q$  при сгорании.

**8(А)** В ванне вместимостью 400 л смешали холодную воду при температуре 10°C и горячую при температуре 60°C. В каких объемах ту и другую воду надо взять, чтобы температура установилась 40°C?

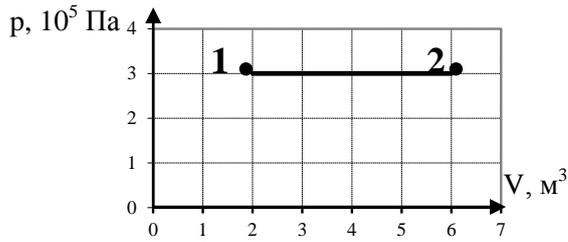
- 1)  $V_{\Gamma} = 160 \text{ л}, V_{\text{х}} = 240 \text{ л}$
- 2)  $V_{\Gamma} = 240 \text{ л}, V_{\text{х}} = 160 \text{ л}$
- 3)  $V_{\Gamma} = 250 \text{ л}, V_{\text{х}} = 150 \text{ л}$
- 4)  $V_{\Gamma} = 300 \text{ л}, V_{\text{х}} = 100 \text{ л}$

**Указание:** 1) Найти количество теплоты, отданное горячей водой

2) Найти количество теплоты, полученной холодной водой

3) Записать уравнение теплового баланса

**9(А)** По графику, изображенному на рисунке, определите работу, совершенную газом при переходе из состояния 1 в состояние 2.



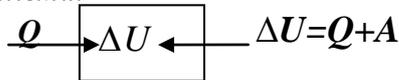
- 1)  $6 \cdot 10^5 \text{ Дж}$
- 2)  $18 \cdot 10^5 \text{ Дж}$
- 3)  $2 \cdot 10^5 \text{ Дж}$
- 4)  $15 \cdot 10^5 \text{ Дж}$

**Указание:** работу газа можно найти двумя способами: по формуле работы или как площадь прямоугольника на графике.

**10(А)** Чему равно изменение внутренней энергии газа, если ему передано количество теплоты 300 Дж, а внешние силы совершили над ним работу 500 Дж?

- 1) 800 Дж
- 2) 100 Дж
- 3) 400 Дж
- 4) 200 Дж

**Указание:** запишите первый закон термодинамики для данных условий, учесть знаки поможет схема.



**11(А)** Тепловой двигатель за цикл получает от нагревателя энергию, равную 1000 Дж, а отдает холодильнику энергию 800 Дж. Чему равен КПД теплового двигателя?

- 1) 50 %
- 2) 80 %
- 3) 40 %
- 4) 20 %

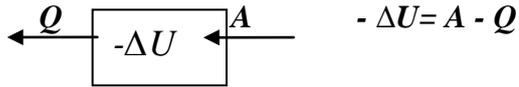
**Указание:** запишите формулу для нахождения КПД теплового двигателя.

**12(В)** Смешали две жидкости одинаковой массы с одинаковыми удельными теплоемкостями но разной температуры: температура первой жидкости 250К, температура второй 350К. Определите температуру образовавшейся смеси в °С. Потерями тепла пренебречь.

**Указание:** запишите уравнение теплового баланса для двух жидкостей, правильно выразите  $\Delta t$  и из полученного выражении выразите неизвестную величину.

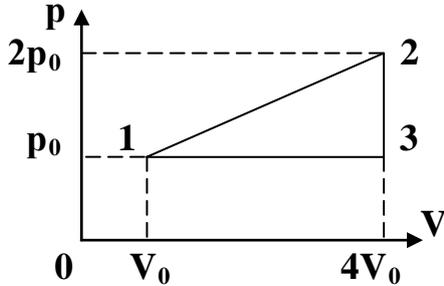
**13(В)** Инертный газ количеством 1 моль сжали, совершив работу 100 Дж, а затем охладили. В результате этого температура газа понизилась на  $20^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты отдал газ? Ответ округлите до целых.

**Указание:** запишите первый закон термодинамики



запишите формулу для нахождения  $\Delta U$  для одноатомного газа.

**14(С)** На  $PV$ -диаграмме изображен цикл проводимый с одноатомным идеальным газом. Определите КПД этого цикла.



**Указание:** запишите формулу нахождения КПД для цикла.  $A_{\text{полез}}$  выразите как площадь фигуры. Из закона Менделеева-Клапейрона выразите  $T_1$  и  $T_2$ .  $Q_{\text{затр}}$  выразите из первого закона термодинамики

## 2. Тренировочные задания на тему «Термодинамика»

**1(A)** Какова температура одноатомного идеального газа, если известно, что внутренняя энергия 2 моль составляет 831 кДж?

- 1)  $36 \cdot 10^3$  К                      3)  $33 \cdot 10^3$  К  
2)  $5 \cdot 10^3$  К                        4)  $5 \cdot 10^4$  К

**2(A)** Сравнить внутренние энергии аргона и неона при одинаковых температурах, массы газов одинаковы.

- 1) 1/2            2) равны        3) 2/5            4) 4

**3(A)** Каково давление одноатомного идеального газа, занимающего объем 4л, если его внутренняя энергия равна 900Дж?

- 1)  $0,75 \cdot 10^5$  Па            3)  $1,5 \cdot 10^5$  Па  
2)  $2,25 \cdot 10^5$  Па            4)  $3,6 \cdot 10^5$  Па

**4(A)** Какое количество теплоты передает окружающим телам кирпичная печь массой 1,5 т при охлаждении от  $30^\circ\text{C}$  до  $20^\circ\text{C}$ ?  $c_{\text{кирп.}} = 880 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$

- 1) 10500 кДж                      3) 15000 кДж  
2) 13200 кДж                      4) 11000 кДж

**5(A)** Какое количество теплоты необходимо для плавления 10 г серебра взятого при температуре плавления? Удельная теплота плавления серебра  $1 \cdot 10^5$  Дж/кг.

- 1) 1 кДж                              3) 2 кДж  
2) 1,5 кДж                            4) 3,2 кДж

**6(A)** Какое количество теплоты необходимо сообщить воде массой 10г, взятой при температуре  $0^\circ\text{C}$ , для того чтобы нагреть её до температуры кипения и испарить? Удельная теплоемкость воды  $4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$ , удельная теплота парообразования воды  $2,3 \text{ МДж/кг}$

- 1) 15600 Дж                        3) 2720 Дж  
2) 30000 Дж                        4) 27200 Дж

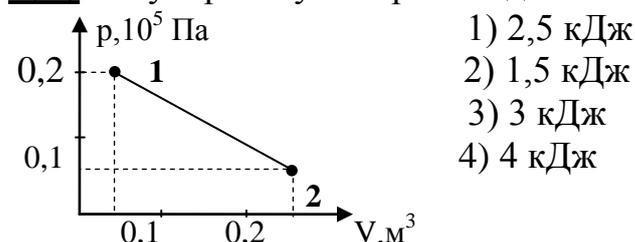
**7(A)** Сколько нужно сжечь каменного угля, что бы выделилось  $1,5 \cdot 10^8$  Дж энергии? (удельная теплота сгорания  $30 \text{ МДж/кг}$ )

- 1) 2,5 кг    2) 3 кг        3) 5,4 кг    4) 5 кг

**8(A)** Чтобы вымыть посуду мальчик налил в таз 3л воды при температуре  $10^\circ\text{C}$ , Сколько литров кипятка нужно долить в таз, что бы температура воды в нем стала равной  $50^\circ\text{C}$ ?

- 1) 2 л            2) 1,8 л        3) 2,4 л        4) 1 л

**9(A)** Какую работу совершил одноатомный газ в процессе, изображенном на pV- диаграмме



**10(А)** Идеальный газ совершил работу 400Дж и при этом его внутренняя энергия увеличилась на 100Дж. Чему равно количество теплоты, получил или отдал газ в этом процессе?

- 1) газ получил 500Дж      3) газ отдал 500Дж  
2) газ получил 300Дж      4) газ отдал 300Дж

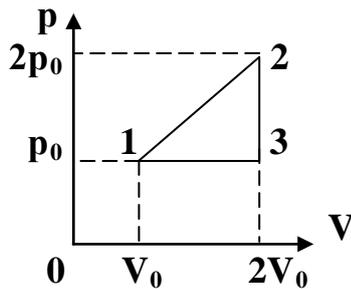
**11(А)** Тепловая машина за цикл работы получает от нагревателя 100Дж и отдает холодильнику 40Дж. Чему равен КПД тепловой машины?

- 1) 40%      2) 60%      3) 29%      4) 43%

**12(В)** В калориметре смешали две жидкости одинаковой удельной теплоёмкости, но разной массы ( $m_2 = 2m_1$ ) и разные температуры  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  и  $t_2 = 80^\circ\text{C}$ . Определите температуру образовавшейся смеси (в  $^\circ\text{C}$ ). Потери тепла считать пренебрежимо малыми.

**13(В)** Одноатомный газ в количестве 6 молей поглощает количество теплоты  $Q$ . При этом температура газа повышается на 20К. Работа совершаемая газом в этом процессе равна 1 кДж. Поглощаемое количество теплоты в кДж равно...

**14(С)** Тепловая машина рабочим телом которой является 1 моль идеального газа, совершает цикл изображенный на графике. Найти КПД этой машины. (Ответ в % округлить до целых)



### 3.Контрольные задания на тему «Термодинамика»

**1(A)** На сколько изменится внутренняя энергия гелия массой 200г при увеличении температуры на 20°C?

- 1) 12,5 кДж                      3) 11 кДж  
2) 15 кДж                        4) 30 кДж

**2(A)** Сравнить внутренние энергии неона и гелия при одинаковых температурах. Массы газов одинаковы.

- 1) 5:1            2) 1:5            3) 1:2            4) 1:3

**3(A)** При уменьшении объема одноатомное газа в 3,6 раза его давление увеличилось на 20%. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия?

- 1) увеличилась в 5 раз  
2) уменьшилось в 3 раза  
3) уменьшилось в 4 раза  
4) увеличилась в 3 раза

**4(A)** На нагревание текстолитовой пластины массой 200 г от 30°C до 90°C потребовалось затратить 18 кДж энергии. Какова удельная теплоемкость текстолита?

- 1)  $0,75 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$                       3)  $1,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$   
2)  $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$                         4)  $3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$

**5(A)** Какое количество теплоты поглощается при плавлении льда массой 5 кг, если начальная температура льда -10°C?

( $\lambda=3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}; c=2100 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$ )

- 1) 2000 кДж                      3) 1805 кДж  
2) 2500 кДж                      4) 1000 кДж

**6(A)** Какое количество теплоты требуется для нагревания воды массой 0,75 кг от 20°C до 100°C и последующее образование пара массой 250 г ?

- 1) 727 кДж                        3) 600 кДж  
2) 920 кДж                        4) 827 кДж

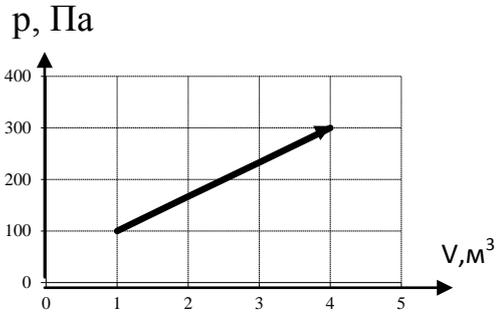
**7(A)** При полном сгорании антрацита массой 10 кг выделяется  $2,9 \cdot 10^7$  Дж энергии. Чему равна удельная теплота сгорания антрацита?

- 1)  $4 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$                       3)  $9 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$   
2)  $2,9 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$                       4)  $7 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$

**8(A)** Когда в бак с водой при 5°C добавили ещё 3л воды при 100°C и перемешали воду, то температура воды в баке стала равна 35°C. Пренебрегая потерями теплоты на нагревание бака и окружающей среды, определите начальный объем воды в баке.

- 1) 6,6 л            2) 5 л            3) 7,6 л            4) 8 л

**9(A)** Чему равна работа совершенная газом при переходе из состояния 1 в состояние 2?



- 1) 1100 Дж
- 2) 600 Дж
- 3) 400 Дж
- 4) 300 Дж

**10(A)** В некотором процессе газ совершил работу равную 5МДж, а его внутренняя энергия уменьшилась на 2МДж. Какое количество теплоты передано газу в этом процессе?

- 1) 7 МДж
- 2) 5 МДж
- 3) 6 МДж
- 4) 3 МДж

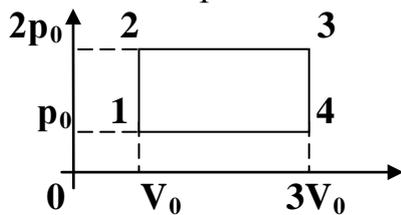
**11(A)** Тепловой двигатель за цикл получает от нагревателя количество теплоты равное 3 кДж и отдает холодильнику 2,4 кДж. КПД двигателя равен ...

- 1) 20%
- 2) 25%
- 3) 80%
- 4) 120%

**12(B)** Для охлаждения лимонада массой 200г в него бросили кубики льда при 0°C. Масса каждого кубика 8 г. Первоначальная температура лимонада 30°C. Сколько целых кубиков надо бросить в лимонад чтобы установилась температура 15°C? Удельная теплоемкость лимонада такая же как у воды.

**13(B)** Чему равно изменение внутренней энергии газа, если ему передано количество теплоты 500 Дж, а газ при постоянном давлении  $10^5$  Па расширился на 3 дм<sup>3</sup>?

**14(C)** Рассчитайте КПД тепловой машины использующей в качестве рабочего тела одноатомный газ и работающий по циклу изображенному на графике.



V

## 4. Ответы к заданиям по термодинамике

### 1. Ответы к обучающим заданиям.

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12B	13B	14C
1	3	4	3	1	2	4	2	3	1	4	27°C	-349 Дж	10%

**14(C)**  $\eta = \frac{A_{\text{полезн.}}}{Q_{\text{H}}} 100\%$   $A_{\text{газа}} = \frac{1}{2} p_0 \cdot 3V_0 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$   $T_2 = 8T_0$  из  
 $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{2p_0 4V_0}{T_2}$   $Q_{\text{подвод}} = \frac{1}{2} 3p_0 3V_0 + \frac{3}{2} 7p_0 V_0 = 15\nu R T_0$   $\eta = \frac{3\nu R T_0}{30\nu R T_0} \cdot 100\% = 10\%$

### 2. Ответы к тренировочным заданиям.

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12B	13B	14C
3	1	3	2	1	4	4	3	1	1	2	60°C	2,5 кДж	8 %

### 3. Ответы к контрольным заданиям.

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12B	13B	14C
1	2	2	3	3	4	2	1	2	4	1	4	200 Дж	17 %

