

# Физика ЕГЭ 2023

## МКТ. Термодинамика

Аллаярова Розалия Рафаэловна  
МБОУ СОШ № 29

### 2.1.8 Связь температуры газа со средней кинетической энергией

При построении температурной шкалы Реомюра принимается, что при нормальном атмосферном давлении лёд тает при температуре 0 градусов Реомюра ( $^{\circ}\text{R}$ ), а вода кипит при температуре 80  $^{\circ}\text{R}$ . Найдите, чему равна средняя кинетическая энергия поступательного теплового движения частицы идеального газа при температуре 91  $^{\circ}\text{R}$ . Ответ выразите в электрон-вольтах и округлите до сотых долей.

$$\frac{100}{80} = 1,25 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$91 \text{ }^{\circ}\text{R}$$

$$100 + 11 \cdot 1,25 = 113,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$113,75 + 273 = 386,75 \text{ K}.$$

## 2.1.9 Уравнение $p = nkT$

Давление идеального газа при постоянной концентрации уменьшилось в 2 раза. Чему равно отношение конечной температуры к начальной?

### 2.1.10 Уравнение Менделеева - Клапейрона

При температуре 250 К и давлении  $1,5 \cdot 10^5$  Па плотность газа равна  $2 \text{ кг/м}^3$ . Какова молярная масса этого газа? Ответ приведите в килограммах на моль с точностью до десятитысячных.

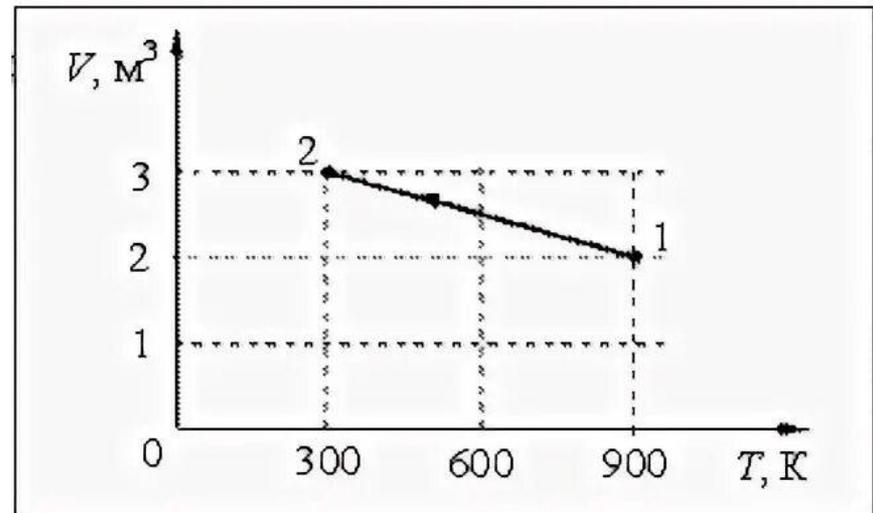
## 2.1.10 Уравнение Менделеева - Клапейрона ,

## 2.2.2 Внутренняя энергия

На рисунке показан график зависимости объёма  $V$  неизменного количества идеального газа от его абсолютной температуры  $T$  в процессе 1–2. Определите, как в этом процессе изменяются внутренняя энергия и давление газа.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась



**Внутренняя энергия газа**

**Давление газа**

### 2.1.11 Закон Дальтона для давления смеси разреженных газов

В сосуде неизменного объема при комнатной температуре находилась смесь водорода и гелия, по 1 моль каждого.

Половину содержимого сосуда выпустили, а затем добавили в сосуд 1 моль гелия. Считая газы идеальными, а их температуру постоянной, выберите из предложенного перечня все утверждения, которые соответствуют результатам проведенных экспериментальных исследований, и укажите их номера.

- 1) Парциальное давление водорода уменьшилось.
- 2) Давление смеси газов в сосуде уменьшилось.
- 3) Концентрация водорода увеличилась.
- 4) В начале опыта концентрации водорода была больше, чем концентрация гелия.
- 5) В начале опыта масса гелия была больше, чем масса водорода.

## 2.1.12 Изопроцессы в разреженном газе с постоянным числом частиц $N$ ,

### 2.2.2 Внутренняя энергия

В таблице показаны результаты измерения зависимости давления  $p$  некоторого постоянного количества идеального одноатомного газа от его объёма  $V$  в некотором процессе. Давление приведено в атмосферах ( $1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$ ). Объём измерялся с точностью до сотой доли литра.

$p$ , атм	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
$V$ , л	1,66	1,78	1,92	2,08	2,27

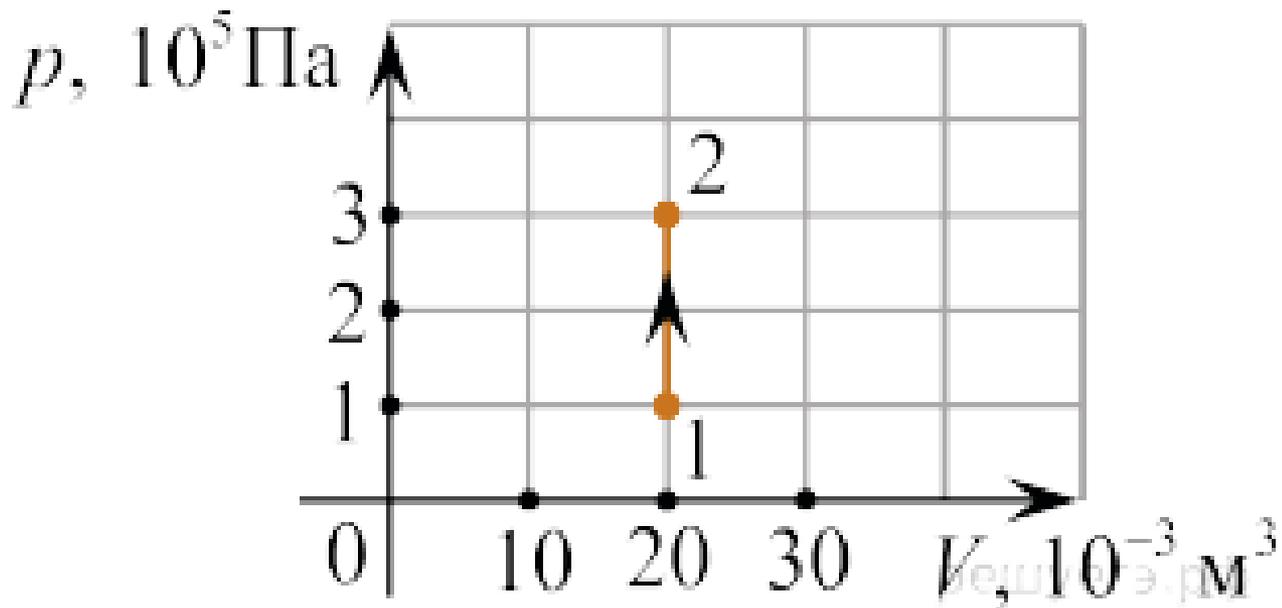
Выберите все верные утверждения на основании анализа представленной таблицы.

- 1) Этот процесс можно считать изотермическим.
- 2) Этот процесс можно считать изобарным.
- 3) Этот процесс можно считать изохорным.
- 4) Внутренняя энергия газа в этом процессе возрастает.
- 5) Внутренняя энергия газа в этом процессе при объёме 1,35 л была примерно равна 374 Дж

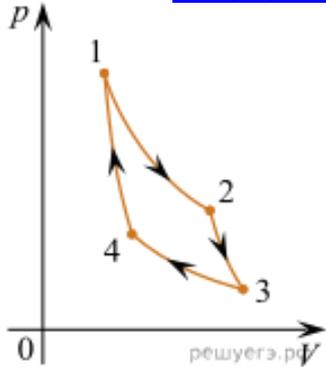
$p$ , атм	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
$V$ , л	1,66	1,78	1,92	2,08	2,27
$pV$ , атм·л	2,490	2,492	2,496	2,496	2,497

2.1.12 Изопроцессы в разреженном газе с постоянным числом частиц  $N$ ,  
2.2.7 Первый закон термодинамики

На рисунке показан график изменения состояния постоянной массы газа. В этом процессе газ получил количество теплоты, равное 6 кДж. На сколько изменилась его внутренняя энергия? Ответ выразите в килоджоулях.



[2.1.12 Изопроцессы в разреженном газе с постоянным числом частиц  \$N\$](#) , [2.2.2 Внутренняя энергия](#), [2.2.6 Элементарная работа в термодинамике](#), [2.2.7 Первый закон термодинамики](#)



На  $pV$ -диаграмме представлен цикл идеальной тепловой машины (цикл Карно), совершаемый с постоянным количеством идеального газа.

Из приведённого ниже списка выберите все правильные утверждения.

- 1) Процессы 2–3 и 4–1 являются изотермическими.
- 2) Процессы 2–3 и 4–1 являются адиабатическими.
- 3) В процессе 3–4 газ не совершает работы.
- 4) В процессе 2–3 газ отдает некоторое количество теплоты.
- 5) В процессе 1–2 газ получает некоторое количество теплоты.

2.1.13 Насыщенные и ненасыщенные пары, 2.1.14  
Влажность воздуха. Относительная влажность

В начальный момент времени газ имел давление  $p_1 = 1,8 \cdot 10^5$  Па при  $t = 100$  °С. Затем газ изотермически сжали в  $k = 4$  раз. В результате давление газа увеличилось в 3 раза. Определите относительную влажность в начальный момент времени. Потерями вещества пренебречь.

## 2.1.14 Влажность воздуха. Относительная влажность

Относительная влажность воздуха в комнате равна 40%. Чему равно отношение  $\frac{n}{n_{\text{н. п.}}}$  — концентрации молекул воды в воздухе комнаты к концентрации молекул воды в насыщенном водяном паре при той же температуре?

**Решение.** Относительная влажность воздуха связана с парциальным давлением пара при некоторой температуре и давлением насыщенных паров при той же температуре соотношением

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{н. п.}}} \cdot 100\%.$$

Используя тот факт, что насыщенный пар подчиняется уравнению состояния идеального газа

$$p = nkT,$$

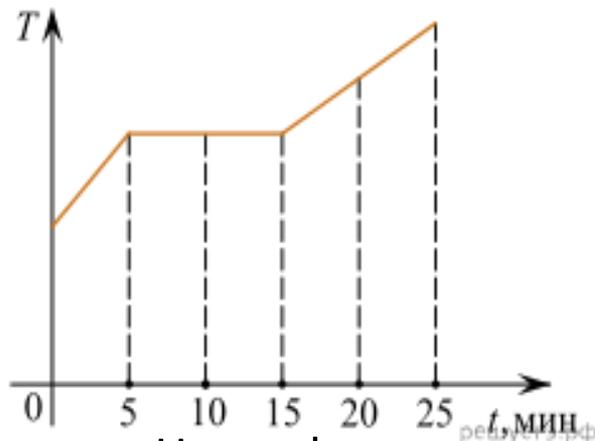
для отношения концентрации молекул воды в воздухе комнаты и концентрации насыщенного водяного пара при той же температуре имеем:

$$\frac{n}{n_{\text{н. п.}}} = \frac{\varphi}{100\%} = \frac{40\%}{100\%} = 0,4.$$

Ответ: 0,4.

## 2.2.1 Тепловое равновесие и температура

Для плавления куска льда при температуре его плавления требуется количество теплоты, равное 3 кДж. Этот кусок льда внесли в тёплое помещение. Зависимость температуры льда от времени представлена на рисунке. Определите среднюю тепловую мощность, подводимую к куску льда в процессе плавления. (Ответ дайте в ваттах.)



**Решение.** На графике плавлению соответствует горизонтальный участок. Значит, кусок льда плавился 10 минут (600 с). Средняя подводимая тепловая мощность равна

Ответ: 5

$$\frac{3000 \text{ Дж}}{600 \text{ с}} = 5 \text{ Вт.}$$

## 2.2.1 Тепловое равновесие и температура

Один моль идеального одноатомного газа, находящегося при температуре  $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , изобарически нагревают. При этом абсолютная температура этого газа увеличивается в 3 раза. Определите, чему равно количество теплоты, сообщённое этому газу. Ответ выразите в джоулях.

**Решение.** Согласно первому началу термодинамики  $Q = \Delta U + A$ .

В изобарном процессе газ совершает работу и внутренняя энергия его изменяется следующим образом:

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T =$$

$$= \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot (900 - 300) = 12465 \text{ Дж.}$$

Ответ: 12465

## 2.2.9 Принципы действия тепловых машин. КПД, 2.2.10 Максимальное значение КПД. Цикл Карно

Идеальная тепловая машина работает с использованием цикла Карно. Температуру холодильника машины понижают, при этом температура нагревателя и количество теплоты, которое рабочее тело получает от нагревателя за один цикл, остаются неизменными. Как изменяются в результате этого КПД тепловой машины и совершаемая машиной за один цикл работа?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не изменяется.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

КПД тепловой машины	Работа, совершаемая машиной за один цикл

**Решение.** Для КПД цикла Карно справедлива формула:

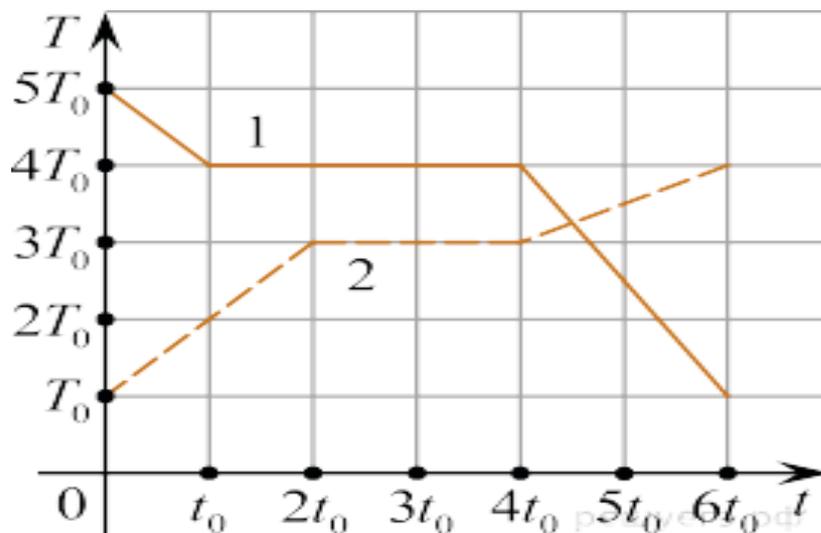
$$\eta = \frac{T_{\text{H}} - T_{\text{X}}}{T_{\text{H}}} = \frac{A}{Q}$$

Отсюда видно, что при уменьшении температуры холодильника, КПД тепловой машины увеличится, а значит, увеличится полезная работа, совершаемая за один цикл.

Ответ: 11

## 2.2.4 Количество теплоты. Удельная теплоемкость вещества

Две капсулы с твёрдым и жидким веществами, имеющими одинаковую массу, помещают в калориметры — в первый калориметр капсулу с жидким веществом, во второй — с твёрдым. В момент времени  $t = 0$  с в первом калориметре включают режим охлаждения, а во втором — нагревания. Мощности охлаждающего и нагревательного элементов одинаковы, теплотери отсутствуют. На рисунке изображены графики зависимостей температур  $T$  этих тел от времени  $t$ . Определите отношение удельной теплоёмкости второго тела в твёрдом состоянии к удельной теплоёмкости первого тела в твёрдом состоянии.



# Элементы содержания. Молекулярная физика, электродинамика (расчётная задача) Повышенной сложности

1. Какова температура газа в сосуде объёмом 7 л, если в нём при нормальном атмосферном давлении содержится  $1,32 \cdot 10^{23}$  молекул? Ответ округлите до целых. Ответ: 111 °С.
2. Тепловая машина с максимальным КПД, имеющая в качестве нагревателя открытый сверху резервуар с кипящей водой, а в качестве холодильника — сосуд со льдом при 0 °С, за цикл совершила работу 2 МДж. Какая масса льда при этом растаяла? Ответ округлите до десятых. Ответ: 16,5 кг.

3. В сосуде, заполненном азотом, поршень неплотно прилегает к стенкам сосуда. Медленно опуская поршень, так, что объём азота уменьшается в 1,5 раза, замечают, что давление азота увеличилось в 1,2 раза. Считая температуру азота неизменной, определите, во сколько раз уменьшилось количество молекул азота в данном опыте.

Решение. Применим уравнение Менделеева — Клапейрона:  $pV = \nu R T$ , количество вещества  $\nu = N/N_A$

Соотношение молекул азота в 1-м и 2-м случае  $N/N_1 = p_1 V_1 / p_2 V_2 = 1,25$ .

4. Температура газа увеличилась от 25 °С до 50 °С. Средняя кинетическая энергия молекулы увеличилась на... Ответ округлите до десятых. Ответ: 8,4%.

5. Какова масса углекислого газа в баллоне вместимостью 50 л при температуре 300 К и давлении 997,2 кПа? Ответ: 880 г.

6. На сколько градусов нагреется серебряный шарик при ударе о землю, если он упадёт с высоты 1000 м? Считать, что на нагревание расходуется 50 % механической энергии шарика. Удельная теплоёмкость серебра равна 250 Дж/(кг·К). Ответ: на 20К.

7. Сколько льда, взятого при 0 °С, потребуется для того, чтобы охладить 1,755 л воды, взятой при температуре 95 °С, до 5 °С? Ответ: 1,89 кг.

8. Каков объём сосуда, если в нём при нормальных условиях содержится  $1,32 \cdot 10^{23}$  молекул? Ответ округлите до целых. Ответ: 5 л.

9. Найдите массу воздуха, заполняющего кабинет высотой 2,7 м и площадью 30 м<sup>2</sup>. Давление воздуха равно 100 кПа, температура воздуха 17 °С. Молярная масса воздуха 29 г/моль. Ответ округлите до целых. Ответ: 98 кг.

10. Какова температура кислорода, если среднеквадратичная скорость его молекул равна 510 м/с? Ответ округлите до целых.

Ответ: 61 °С.

11. В калориметре находятся в тепловом равновесии 90 г воды и 9 г льда. Какой должна быть минимальная масса алюминиевого шарика, имеющего температуру 372 К, чтобы после опускания его в калориметр весь лёд растаял? Тепловыми потерями пренебречь.

Ответ округлите до целых. Ответ: 34г.

12. В сосуде объёмом 2 л находится смесь, состоящая из 8 г гелия (молярная масса 4 г/моль) и 32 г кислорода (молярная масса 32 г/моль). Температура смеси равна 400 К- Определите давление в сосуде. Ответ: 5 МПа.

13. В сосуд с водой, масса которой равна 900 г, опустили стальной шарик, масса которого равна 600 г, а температура 80 °С. Через некоторое время в сосуде установилась температура 12 °С. Найдите первоначальную температуру воды. Удельная теплоёмкость стали 0,46 кДж/(кг·К). Теплоёмкостью сосуда пренебречь. Ответ: 17 °С.

14. В сосуде находится смесь  $m_1 = 10$  г азота и  $m_2 = 20$  г углекислого газа при температуре  $T = 300$  К и давлении  $p = 10^5$  Па. Найдите плотность смеси, считая газы идеальными. Ответ округлите до сотых.  
Ответ:  $1,48 \text{ кг/м}^3$ .

15. Температура нагревателя идеальной тепловой машины  $400$  К, а температура холодильника —  $300$  К. Нагреватель каждую секунду передаёт тепловой машине  $800$  Дж тепла. Определите полезную мощность этого двигателя. Ответ:  $200 \text{ Вт}$ .

16. Какое число молекул газа находится в кабинете высотой  $2,7$  м и площадью  $30 \text{ м}^2$ ? Давление газа равно  $100$  кПа, температура газа равна  $17$  °С. Ответ:  $2 \cdot 10^{27}$ .

17. В закрытом сосуде находится смесь водорода и кислорода. Чему равно отношение среднеквадратичной скорости молекул водорода к среднеквадратичной скорости молекул кислорода?

Ответ: 4 .

18. Вначале в баллоне находилось 200 г гелия. В результате утечки давление газа в баллоне понизилось на 50 %, а его абсолютная температура понизилась на 20%. Чему равна масса гелия, оставшегося в баллоне?

Ответ: 125 г.

19. Найдите давление идеального газа, плотность которого равна  $1,5 \text{ кг/м}^3$ , а средняя квадратичная скорость молекул  $200 \text{ м/с}$ . Ответ: 20 кПа.

# Высокий уровень сложности

1. В двух сосудах объёмами 10 л и 20 л находится аргон. Давление в обоих сосудах одинаковое, но в 1-м сосуде температура равна 300 К, а во 2-м — 450 К. Сосуды соединены между собой тонкой трубкой с краном. Какая температура установится в сосудах, если открыть кран? Объёмом трубки и теплообменом с окружающей средой пренебречь. Считать давление аргона неизменным. (386К)
2. В калориметр теплоёмкостью 76Д ж /К, содержащий воду при 20 °С, впускают водяной пар массой 40 г при температуре 100 °С. После теплообмена в калориметре установилась температура 60 °С. Определите начальную массу воды в калориметре, если тепловые потери составили 20 %. (452г)

3. В двух частях сосуда, разделённых термоизолирующей перегородкой, находится 4 г гелия при температуре 27 °С и 16 г гелия при температуре 227 °С. Чему будет равна среднеквадратичная скорость атомов гелия, если убрать перегородку? Теплообменом с окружающей средой пренебречь. (1,7 км/с)

4. Определите приблизительные размеры молекулы NaCl, предполагая, что молекулы имеют шарообразную форму и расположены вплотную друг к другу. Плотность поваренной соли 2160 кг/м<sup>3</sup>. ( $2,2 \cdot 10^{-10}$  м)

5. 1 моль идеального газа совершает процесс, при котором его объём меняется пропорционально корню квадратному из температуры. Какую работу при этом совершает газ, если его температура повышается на 30 К? (125 Дж)

6. Какая доля подводимой к одноатомному идеальному газу теплоты в изобарическом процессе расходуется на работу газа? (40%)

7. В сосуде находится смесь азота и водорода. При температуре  $T$ , когда азот полностью диссоциировал на атомы, давление равно  $p$  (диссоциации водорода нет). При температуре  $3T$ , когда оба газа полностью диссоциировали, давление в сосуде  $4p$ . Каково отношение масс водорода и азота в смеси? (0,071)

8. В сосуде объёмом  $V = 0,02 \text{ м}^3$  с жёсткими стенками находится одноатомный газ при атмосферном давлении. В крышке сосуда имеется отверстие площадью  $s$ , заткнутое пробкой.

Максимальная сила трения покоя  $F$  пробки о края отверстия равна  $100 \text{ Н}$ . Пробка выскакивает, если газу передать количество теплоты не менее  $15 \text{ кДж}$ . Определите значение  $s$ , полагая газ идеальным. ( $0,2 \text{ м}^2$ )

9. Определите, какой будет температура в комнатах, объём которых  $44 \text{ м}^3$  и  $33 \text{ м}^3$ , если между ними открывается дверь. Первоначальное давление в комнатах  $100 \text{ кПа}$  и  $90 \text{ кПа}$ , а температура  $27^\circ \text{ С}$  и  $20^\circ \text{ С}$  соответственно. ( $24^\circ \text{ С}$ )

10. Два моля одноатомного газа, находящегося в цилиндре при температуре  $400 \text{ К}$  и давлении  $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , расширяются и одновременно охлаждаются так, что его давление в этом процессе обратно пропорционально объёму в кубе ( $V^3$ ). Какую работу совершил газ при расширении, если он отдал количество теплоты  $1979 \text{ Дж}$ , а его давление стало равным  $0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ? ( $5,5 \text{ кДж}$ )

11. Идеальный одноатомный газ расширяется сначала адиабатически, а затем изобарно так, что начальная и конечная температуры одинаковы. Работа газа за весь процесс равна  $10 \text{ кДж}$ . Какую работу совершил газ при адиабатическом расширении? ( $6 \text{ кДж}$ )