

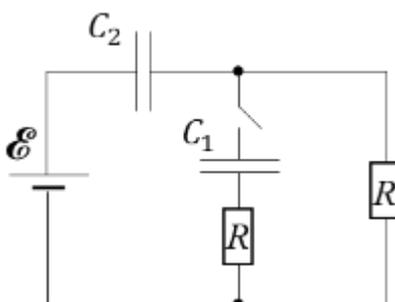
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2024–2025 УЧ. Г.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 40.

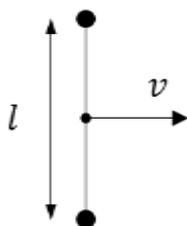
Тестовые задания

1. В электрической цепи долгое время ключ не замкнут. Конденсатор ёмкостью C_1 не заряжен. В некоторый момент ключ замыкают. Какой окажется сила тока, протекающего через источник питания, сразу после замыкания ключа?



- 1) очень большой (определяющейся сопротивлениями проводов)
- 2) нулевой
- 3) \mathcal{E}/R
- 4) $\mathcal{E}/2R$
- 5) $2\mathcal{E}/R$

2. Две массивные шайбы, связанные распрямлённой нитью, лежат на гладком столе. Расстояние между шайбами l . Середину нити начинают тянуть со скоростью v . С каким ускорением начнут двигаться шайбы?



- 1) много большим, чем v^2/l
- 2) 0
- 3) $2v^2/l$
- 4) $4v^2/l$
- 5) $v^2/2l$

3. Каково изменение внутренней энергии одного моля неона в изобарном процессе при изменении его температуры на ΔT ?

- 1) $5/2 R\Delta T$
- 2) $3/2 R\Delta T$
- 3) $7/2 R\Delta T$
- 4) $3 R\Delta T$
- 5) нет верного ответа

4. Свет от точечного источника S , отражаясь от маленького зеркала Z , создаёт световой зайчик на экране \mathcal{E} . Зеркало вращается по часовой стрелке с постоянной угловой скоростью. Источник отгорожен от экрана ширмой \mathcal{H} .



Выберите верное утверждение, описывающее поведение зайчика в изображённый на рисунке момент времени.

- 1) Центр зайчика движется влево по экрану, его модуль скорости увеличивается.
- 2) Центр зайчика движется влево по экрану, его модуль скорости остаётся неизменным.
- 3) Центр зайчика движется влево по экрану, его модуль скорости уменьшается.
- 4) Центр зайчика движется вправо по экрану, его модуль скорости увеличивается.
- 5) Центр зайчика не движется по экрану, его модуль скорости увеличивается.

5. После кипячения супа в кастрюле на её крышке остаются капли воды, которые практически не содержат жира, растворённого в супе. Выберите верное объяснение этого явления.

- 1) При кипении вода разбрызгивается от всплывающих пузырьков, а жир – нет;
- 2) Жир не смачивает поверхность крышки, а вода смачивает, поэтому жир легко скатывается с крышки обратно в суп;
- 3) Температура кипения жира существенно выше температуры кипения воды, поэтому жир при кипении супа практически не испаряется и далее не конденсируется на крышке;
- 4) Удельная теплота парообразования жира существенно выше, чем у воды, поэтому мощность от нагревателя идёт именно на парообразование воды;
- 5) Жир скапливается только у дна кастрюли, поэтому с поверхности испаряется только вода.

Ответы:

№ задания	1	2	3	4	5
Ответ	2	3	2	3	3
Балл	2 балла				

Задания с кратким ответом

Задачи 6–10

Два моля гелия нагрели на $\Delta t = 100\text{ }^\circ\text{C}$ в тепловом процессе, при котором отношение давления гелия P к его объёму V оставалось постоянным ($\frac{P}{V} = \text{const}$). Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$.

6. На какую величину ΔT изменилась температура гелия по шкале Кельвина? Дайте ответ с округлением до целого числа. (1 балл)
7. Какую работу A совершил гелий в рассматриваемом процессе? Дайте ответ в килоджоулях с округлением до сотых долей. (2 балла)
8. Чему равно изменение внутренней энергии ΔU гелия? Дайте ответ в килоджоулях с округлением до сотых долей. (2 балла)
9. Какое количество теплоты Q было подведено к гелию при нагревании? Дайте ответ в килоджоулях с округлением до сотых долей. (1 балл)
10. Найдите молярную теплоёмкость гелия в данном процессе. Дайте ответ в Дж/(моль · К) с округлением до десятых долей. (1 балл)

Решение:

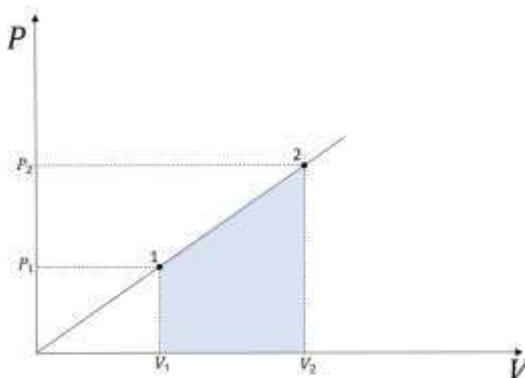
6. Шкалы Кельвина и Цельсия отличаются только началом отсчёта, единицы измерения в них численно равны, поэтому имеем:

$$\Delta T = \Delta t = 100\text{ K}.$$

7. Работа газа определяется площадью под графиком процесса в координатах P, V (см. рисунок ниже).

Получаем, что

$$A = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1 + (P_1 V_2 - P_2 V_1)).$$



Но по условию $\frac{P}{V} = const$, а значит $\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}$, то есть $P_1V_2 - P_2V_1 = 0$. Подставляя это соотношение в выражение для работы, а так же пользуясь уравнением Менделеева-Клапейрона ($PV = \nu RT$), получаем итоговое выражение: $A = \frac{1}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) = \frac{1}{2}(\nu RT_2 - \nu RT_1) = \frac{1}{2}\nu R\Delta T$.

$$A = \frac{1}{2}R\nu\Delta T = 0,83 \text{ кДж.}$$

8. Внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры и определяется соотношением $U = \frac{i}{2}\nu RT$, где i – количество степеней свободы молекулы. Гелий – одноатомный газ (так как является инертным), поэтому у него присутствуют только 3 поступательных степени свободы, то есть $i = 3$. Тогда для изменения внутренней энергии имеем выражение:

$$\Delta U = \frac{3}{2}R\nu\Delta T = 2,493 \text{ кДж} \approx 2,49 \text{ кДж.}$$

9. Пользуясь первым началом термодинамики и ответами на два предыдущих вопроса, приходим к выражению:

$$Q = \Delta U + A = 2R\nu\Delta T = 3,324 \text{ кДж} \approx 3,32 \text{ кДж.}$$

10. Заметим, что теплоёмкость данного процесса является постоянной величиной, так как выражение для количества теплоты не содержит зависимости от параметров системы (P, V, T), а только от разности температур между конечным и начальным состояниями. Таким образом:

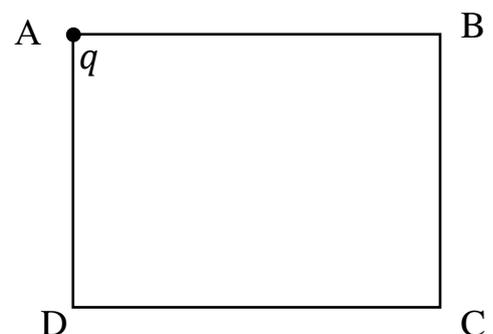
$$C = \frac{1}{\nu} \frac{dQ}{dT} = \frac{1}{\nu} \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{Q}{\Delta T} = 2R = 16,6 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Ответы:	6	7	8	9	10
	100	0,83	2,49	3,32	16,6

Максимум за задачу 7 баллов.

Задачи 11–15

В вершине А прямоугольника ABCD находится точечный электрический заряд q . Напряжённости электрического поля, создаваемого этим зарядом в вершинах В и D равны $E_B = 9 \text{ В/м}$, $E_D = 16 \text{ В/м}$ соответственно, потенциал поля в вершине В: $\varphi_B = 30 \text{ В}$ (потенциал бесконечно удалённой точки принят равным нулю).



11. Найдите потенциал φ_D поля в вершине D. Дайте ответ в вольтах с округлением до целого числа. (2 балла)

12. Найдите потенциал φ_C поля в вершине C. Дайте ответ в вольтах с округлением до целого числа. (1 балл)

13. Найдите напряжённость E_C поля в вершине C. Дайте ответ в В/м с округлением до сотых долей. (2 балла)

14. Какими станут потенциалы в вершинах B и D, если в вершину C дополнительно поместить такой же точечный заряд q , как и в вершине A? Дайте ответ в вольтах с округлением до целого числа. (2 балла)

15. Какой станет напряжённость поля в вершинах B и D, если в вершину C дополнительно поместить такой же точечный заряд q , как и в вершине A? Дайте ответ в В/м с округлением до десятых долей. (2 балла)

Решение:

11. Потенциал поля точечного электрического заряда определяется выражением $\varphi = k \frac{q}{r}$, где $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$; а его напряжённость $E = k \frac{q}{r^2}$.

Исходя из этих формул, получаем:

$$E_B = k \frac{q}{(AB)^2}, E_D = k \frac{q}{(AD)^2}, \varphi_B = k \frac{q}{AB}, \varphi_D = k \frac{q}{AD}.$$

Отсюда следует, что $\frac{E_D}{E_B} = \left(\frac{AB}{AD}\right)^2$, а $\frac{\varphi_D}{\varphi_B} = \frac{AB}{AD} = \sqrt{\frac{E_D}{E_B}}$. Отсюда мгновенно следует:

$$\varphi_D = \sqrt{\frac{E_D}{E_B}} \cdot \varphi_B = 40 \text{ В.}$$

12. $\varphi_C = k \frac{q}{AC}$, а по теореме Пифагора $AC = \sqrt{AB^2 + AD^2}$. Выражаем расстояния через значения соответствующих потенциалов:

$$AB = k \frac{q}{\varphi_B}, AD = k \frac{q}{\varphi_D}.$$

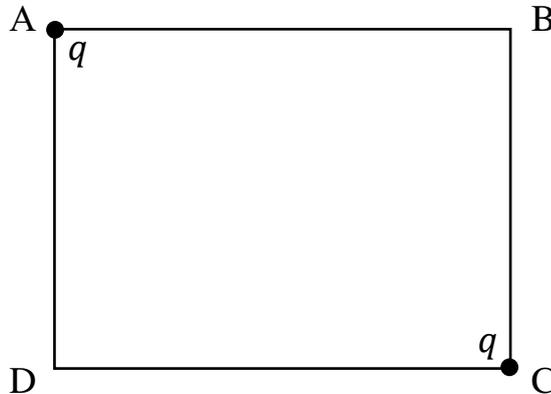
Отсюда вычисляем $AC = kq \sqrt{\left(\frac{1}{\varphi_B}\right)^2 + \left(\frac{1}{\varphi_D}\right)^2} = kq \frac{\sqrt{\varphi_B^2 + \varphi_D^2}}{\varphi_B \varphi_D}$. Подставляя это соотношение в выражение $\varphi_C = k \frac{q}{AC}$, получаем ответ:

$$\varphi_C = \frac{\varphi_B \varphi_D}{\sqrt{\varphi_B^2 + \varphi_D^2}} = 24 \text{ В.}$$

13. На этот раз выразим расстояния через известные напряжённости: $AB^2 = \frac{kq}{E_B}$, $AD^2 = \frac{kq}{E_D}$. Тогда $AC^2 = kq \left(\frac{1}{E_B} + \frac{1}{E_D}\right) = kq \frac{E_B + E_D}{E_B E_D}$, подставляя этот результат в формулу $E_C = \frac{kq}{AC^2}$, получаем:

$$E_C = \frac{E_B \cdot E_D}{E_B + E_D} = 5,76 \text{ В/м.}$$

14. После добавления в точку С заряда q задача становится симметричной для точек В и D (см. рисунок), поэтому $\varphi'_B = \varphi'_D$.

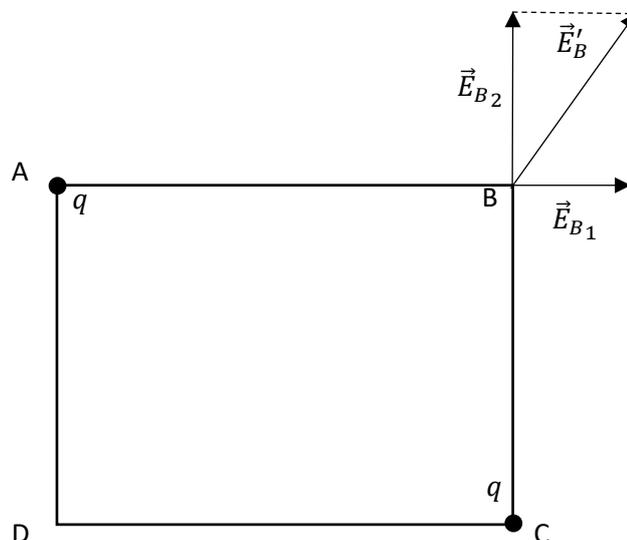


Электростатический потенциал обладает свойством суперпозиции, поэтому φ'_B является суммой потенциала, создаваемого зарядом, находящимся в точке А, и потенциала, создаваемого зарядом, находящимся в точке С. А так как $BC = AD$, то вклад в потенциал в точке В, который создаётся вторым зарядом, численно равен φ_D .

Обобщая всё вышеперечисленное, запишем: $\varphi'_B = \varphi'_D = \varphi_D + \varphi_B = 70 \text{ В}$.

15. Напряжённость электрического поля тоже обладает свойством суперпозиции, однако является векторной величиной в отличие от потенциала. Поэтому все рассуждения из предыдущего пункта справедливы и тут, за исключением того, что складывать вклады от двух зарядов надо векторно (см. рисунок), а не как два числа:

$$\vec{E}'_B = \vec{E}_{B_1} + \vec{E}_{B_2}.$$



Угол между двумя векторами-слагаемыми равен 90° , поэтому модуль вектора-суммы вычисляется по теореме Пифагора:

$$E'_B = E'_D = \sqrt{E_B^2 + E_D^2} \approx 18,4 \text{ В/м.}$$

Ответы:	11	12	13	14	15
	40	24	5,76	70	18,4

Максимум за задачу 9 баллов.

Задачи 16–20

Железнодорожная платформа с песком движется по горизонтальным рельсам с постоянной скоростью $v_0 = 36$ км/ч. Кирпич массой $m = 5$ кг падает с высоты $h = 5$ м, отсчитываемой от поверхности песка, без начальной (относительно рельс) скорости и остаётся на этой платформе. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивлением воздуха при падении кирпича, размерами кирпича, а также глубиной его погружения в песок пренебречь. Масса платформы существенно превышает массу кирпича.

16. Чему равно время t падения кирпича? Дайте ответ в секундах с округлением до десятых долей. (2 балла)

17. Какую скорость v_1 относительно земли имеет кирпич непосредственно перед попаданием в песок? Дайте ответ в м/с с округлением до целого числа. (2 балла)

18. Какую скорость v_2 относительно платформы имеет кирпич непосредственно перед попаданием в песок? Дайте ответ в м/с с округлением до целого числа. (1 балл)

19. Какое количество теплоты Q выделяется в системе в результате падения кирпича в песок? Дайте ответ в Дж с округлением до целого числа. (2 балла)

20. Какое количество теплоты Q' выделилось бы в системе, если бы кирпич был брошен с той же высоты h в горизонтальном направлении со скоростью v_0 навстречу движению платформы? Известно, что при таком броске кирпич попадает в платформу. Дайте ответ в Дж с округлением до целого числа. (2 балла)

Решение:

16. Кирпич падает без начальной скорости в поле тяжести с высоты h . В этих условиях расстояние, которое он преодолевает за время τ , вычисляется по формуле $x = \frac{g\tau^2}{2}$. Тогда момент времени t , когда он достигает песка, выражается через высоту h по следующей формуле:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 1,0 \text{ с.}$$

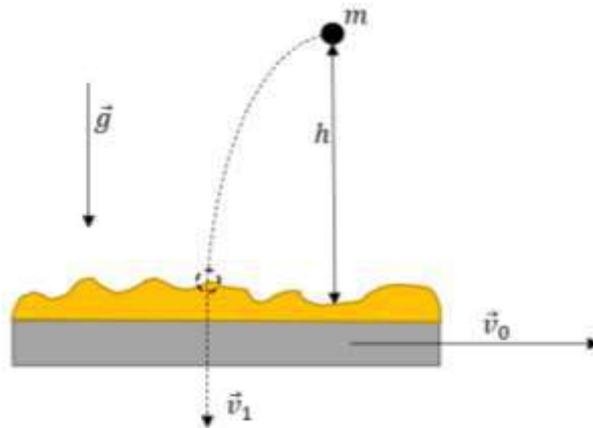
17. Кирпич провёл в полёте время t , постоянно ускоряясь с ускорением g . Поэтому $v_1 = gt$, время берём из предыдущего пункта:

$$v_1 = \sqrt{2gh} = 10 \text{ м/с.}$$

18. По закону сложения скоростей $\vec{v}_a = \vec{v}_r + \vec{v}_e$, где \vec{v}_a – скорость тела в лабораторной системе отсчёта, \vec{v}_r – относительная скорость, \vec{v}_e – переносная скорость тела (в нашем случае это скорость платформы относительно наблюдателя).

В интересующий нас момент времени $\vec{v}_a = \vec{v}_1$, а $\vec{v}_e = \vec{v}_0$. То есть $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 - \vec{v}_0$. Скорости \vec{v}_1 и \vec{v}_0 перпендикулярны (см. рисунок), а потому численное значение скорости v_2 найдём по теореме Пифагора:

$$v_2 = \sqrt{v_0^2 + v_1^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gh} \approx 14 \text{ м/с.}$$



19. Платформа гораздо тяжелее кирпича, поэтому практически не меняет свою скорость после его падения. Следовательно, в СО, двигающейся со скоростью v_0 в том же направлении, что и платформа, платформа покоится и до, и после удара. Кирпич после падения в песок застревает в нём, поэтому в этой СО кирпич теряет всю свою кинетическую энергию при ударе. Вся механическая энергия кирпича выделяется в виде теплоты:

$$Q = \frac{mv_2^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} + mgh = 500 \text{ Дж.}$$

20. С учётом нового условия, горизонтальная компонента относительной скорости увеличивается на величину v_0 и новая относительная скорость перед ударом $v_2' = \sqrt{(2v_0)^2 + v_1^2} = \sqrt{(2v_0)^2 + 2gh}$. В остальном решение повторяет предыдущий пункт:

$$Q' = \frac{mv_2'^2}{2} = \frac{m(2v_0)^2}{2} + mgh = 1250 \text{ Дж.}$$

Ответы:	16	17	18	19	20
	1,0	10	14	500	1250

Максимум за задачу 9 баллов.

Задачи 21–23

В откачанный герметичный сосуд объёмом $V = 1 \text{ м}^3$ впрыснули некоторую порцию исследуемой жидкости. После того как установилось тепловое равновесие с окружающей средой, давление в сосуде оказалось равным $P_1 = P = 1,78 \text{ кПа}$. Когда в тот же сосуд добавили ещё две такие же порции этой жидкости, то после установления теплового равновесия давление в сосуде стало равным $P_2 = 2P$. Температура окружающей среды $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ в рассматриваемых ситуациях остаётся постоянной. Объёмом впрыскиваемой жидкости по сравнению с объёмом сосуда можно пренебречь. Пар этой жидкости считайте идеальным газом. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$.

21. Сколько молей ν в одной порции жидкости? Дайте ответ в молях с округлением до десятых долей. **(2 балла)**

22. Чему равно давление насыщенных паров исследуемой жидкости $P_{\text{нас}}$ при температуре $T = 300 \text{ К}$? Дайте ответ в кПа с округлением до сотых долей. **(2 балла)**

23. Какое давление P_3 установится в сосуде, если в него добавить ещё три такие же порции жидкости? Дайте ответ в кПа с округлением до сотых долей. **(1 балл)**

Решение:

21. Поскольку в момент, когда в сосуде три порции жидкости, давление в сосуде больше, чем тогда, когда там только одна порция, можно сделать вывод, что при впрыскивании одной порции пар в сосуде ненасыщенный, а значит, вся эта порция испарилась. Тогда из уравнения Менделеева-Клапейрона $PV = \nu RT$ следует:

$$\nu = \frac{PV}{RT} \approx 0,7 \text{ моль.}$$

22. Предположим, что после добавления ещё двух порций жидкости пар всё ещё не стал насыщенным. Но тогда одновременно должны выполняться уравнения $PV = \nu RT$ и $(2P)V = (3\nu)RT$, что невозможно. Значит, пар стал насыщенным:

$$P_{\text{нас}} = 2P = 3,56 \text{ кПа.}$$

23. Раз пар уже стал насыщенным, а температура и объём не меняются, значит, и добавление очередной порции жидкости более не скажется на состоянии пара, и он так и останется насыщенным:

$$P_3 = P_{\text{нас}} = 2P = 3,56 \text{ кПа.}$$

Ответы:	21	22	23
	0,7	3,56	3,56

Максимум за задачу 5 баллов.

Максимальный балл за работу – 40.