Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада школьников (ОРМО)
с международным участием 2025-2026 уч. год
ФИЗИКА 8 класс

1 Вариант. II этап.

Задача 1

Рейсовый автобус должен был проехать расстояние $S = 600$ км за время $T = 8$ ч. Первую четверть пути автобус двигался со средней скоростью, необходимой, чтобы приехать вовремя. Но по пути автобус сломался. Ремонт занял некоторое время. Чтобы нагнать расписание и прибыть в конечный пункт, автобусу необходимо было двигаться со скоростью в 1.2 раза больше, чем он двигался на первой четверти пути. Ответы представьте численно и в общем виде.

1) Сколько времени ушло на ремонт?
2) С какой скоростью автобус двигался вторую часть пути?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Скорость автобуса до поломки: $$V = \frac{S}{T} = \frac{600}{8} = 75 \text{ км/ч}$$	5
2) Скорость движения автобуса на второй части пути: $$U = 1.2V = 90 \text{ км/ч}$$	5
3) Оставшиеся три четверти пути автобус должен был преодолеть за время: $$t_1 = \frac{3S}{4V} = 6 \text{ часов}$$	4
4) В действительности преодолел за: $$t_2 = \frac{3S}{4U} = 5 \text{ часов}$$	4
5) Время ремонта: $$t_1 - t_2 = 1 \text{ час}$$	2
Задача может быть решена графически.	
Итого	20

Задача 2

Калориметр с теплоизолированными стенками, теплоёмкостью которого можно пренебречь, полностью заполнен водой с температурой $t_1 = 15$ °C. В калориметр поместили одну деталь, имеющую температуру $t_2 = 95$ °C. После установления теплового равновесия температура содержимого в калориметре оказалась $t_3 = 27$ °C. Если же в такой же калориметр поместить две детали одновременно, имеющих температуру $t_2 = 95$ °C, то после установления теплового равновесия температура содержимого в калориметре окажется $t_4 = 45$ °C. Определите удельную теплоёмкость материала, из которого изготовлены детали. Ответ представьте численно и в общем виде. Удельная теплоемкость воды $c_1 = 4200$ Дж/кг°C, плотность воды $\rho_1 = 1000$ кг/м^3, плотность материала деталей $\rho_2 = 4700$ кг/м^3.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Уравнение теплового баланса для одной детали: $$\rho_1 V_1\, c_1(t_3 - t_1) = \rho_2 V_2\, c_2(t_2 - t_3)$$	5
2) Уравнение теплового баланса для двух деталей: $$\rho_1 (V_1 - V_2)\, c_1(t_4 - t_1) = 2\rho_2 V_2\, c_2(t_2 - t_4)$$	5

3) Преобразуем: $$\rho_1 V_1 c_1 (t_4 - t_1) = 2\rho_2 V_2\, c_2 (t_2 - t_4) + \rho_1 V_2\, c_1 (t_4 - t_1)$$	
4) Поделим 3) на 1): $$\frac{\rho_1 V_1 c_1 (t_4 - t_1)}{\rho_1 V_1\, c_1 (t_3 - t_1)} = \frac{2\rho_2 V_2\, c_2 (t_2 - t_4) + \rho_1 V_2\, c_1 (t_4 - t_1)}{\rho_2 V_2\, c_2 (t_2 - t_3)}$$ $$\frac{(t_4 - t_1)}{(t_3 - t_1)} = \frac{2\rho_2\, c_2 (t_2 - t_4) + \rho_1\, c_1 (t_4 - t_1)}{\rho_2\, c_2 (t_2 - t_3)}$$ $$\frac{(t_4 - t_1)}{(t_3 - t_1)} - \frac{2(t_2 - t_4)}{(t_2 - t_3)} = \frac{\rho_1\, c_1 (t_4 - t_1)}{\rho_2\, c_2 (t_2 - t_3)}$$ $$c_2 = c_1 \frac{\rho_1\,(t_4 - t_1)}{\rho_2\,(t_2 - t_3)\left(\frac{(t_4 - t_1)}{(t_3 - t_1)} - \frac{2(t_2 - t_4)}{(t_2 - t_3)}\right)}$$	
5) Окончательно ответ: $$c_2 = c_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{1}{\left(\frac{(t_2 - t_3)}{(t_3 - t_1)} - \frac{2(t_2 - t_4)}{(t_4 - t_1)}\right)} = 383\ \text{Дж/кг°С},$$	10
Итого	20

Задача 3

В деревянной доске, имеющей толщину $h = 10$ см, проделали круглое отверстие площадью $S = 144\ \text{см}^2$. Какой объём растительного масла можно влить внутрь этого отверстия, чтобы оно не вытекло? Плотность дерева $\rho_1 = 700\ \text{кг/м}^3$. Известно, что плотность растительного масла больше плотности дерева, но меньше плотности воды.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Если отверстие не сквозное – объём влитого масла: $$V = Sh$$	5
2) Если отверстие сквозное. Предположим, что в отверстие налит слой масла высотой X, оставшаяся высота $h - X$ будет заполнена водой. Тогда равенство давлений на нижнем уровне доски: $$\rho_\text{М} g X + \rho_\text{В} g (h - X) = \rho_1 g h$$	5
3) Высота масла: $$X = h \frac{\rho_\text{В} - \rho_1}{\rho_\text{В} - \rho_\text{М}}$$ Исходя из того, что $\rho_1 < \rho_\text{М} < \rho_\text{В}$, получается, что $X > h$. Такое не возможно, поэтому масло не заполняет отверстие полностью и не переливается сверху.	5
4) Тогда максимальный уровень масла в отверстии определяется давлением внизу отверстия: $\rho_\text{М} g X = \rho_1 g h$, откуда $$X = \frac{\rho_1}{\rho_\text{М}} h$$	5
Ответ без должного обоснования не засчитывается.	
Итого	20

Задача 4

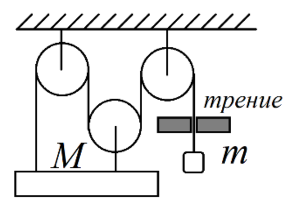
На дне озера глубиной $H = 12$ м вертикально стоит бронзовая цилиндрическая колонна высотой $l = 3$ м массой $m = 2$ т. Ускорение свободного падения g, плотность воды $\rho_1 = 1000\ \text{кг/м}^3$, плотность бронзы $\rho_2 = 8800\ \text{кг/м}^3$.

1) Какую работу нужно совершить, чтобы поднять колонну на высоту $h = 2$ м над уровнем воды?
2) Равна ли эта работа изменению потенциальной энергии колонны?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Для того, чтобы поднять колонну до уровня воды необходимо совершить работу: $$A_1 = (\rho_2 - \rho_1)Vg(H - l) = (1 - \frac{\rho_1}{\rho_2})mg(H - l)$$	4
2) При дальнейшем поднятии колонны из воды, сила, прикладываемая к колонне линейно меняется от $\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right) mg$ до mg. Работа при этом: $$A_2 = (1 - \frac{\rho_1}{2\rho_2})mgl$$	4
3) Чтобы поднять колонну ещё на высоту h, необходимо совершить работу: $$A_3 = mgh$$	4
4) Итоговая работа: $$A = \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right)mg(H - l) + \left(1 - \frac{\rho_1}{2\rho_2}\right)mgl + mgh = mg\left(\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right)H + \frac{\rho_1}{2\rho_2}l + h\right)$$ $$= 2000\ 10\ \left(\left(\frac{7800}{8800}\right)12 + \frac{1000}{17600}3 + 2\right) \approx 256\ \text{кДж}$$	4
5) $A \neq mg(H + h)$	4
Итого	20

Задача 5



В системе, изображенная на рисунке, масса груза m известна. Блоки невесомы. Нить нерастяжима и невесома. Нить продета через стопор, в котором при скольжении нити возникает сила трения $0{,}5\ mg$. Ускорение свободного падения g.

1) При какой массе груза M система может находится в равновесии?
2) Какой при этом будет сила натяжения нити, перекинутой через блоки?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Если сила трения в стопоре максимальна и направлена вверх, то сила натяжения нити, перекинутой через блоки: $$T_1 = 0{,}5\ mg$$	4
2) Масса груза при этом: $$M_{min} = 1{,}5\ m$$	4
3) Если сила трения в стопоре максимальна и направлена вниз, то сила натяжения нити, перекинутой через блоки: $$T_2 = 1{,}5\ mg$$	4
4) Масса груза при этом: $$M_{max} = 4{,}5\ m$$	4
5) Итоговый ответ: $$1{,}5\ m < M < 4{,}5\ m$$	4
Итого	20

Оценка заданий №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения.

Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада школьников (ОРМО)
с международным участием 2025-2026 уч. год
ФИЗИКА 9 класс

1 Вариант. II этап.

Задача 1

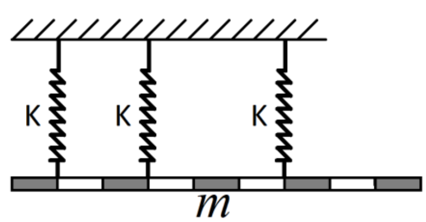
Прыгающий робот стоит перед краем провала шириной S. Перед провалом безграничная поверхность, по которой робот может перемещаться с максимальным ускорением a. Ускорение свободного падения g.

1) Какую горизонтальную скорость V приобретёт робот, если максимально быстро отъедет на расстояние l от края провала и вернётся обратно к краю?
2) Пусть U – вертикальная скорость робота, которую он приобретает при выполнении прыжка, причём эта скорость постоянна при любой горизонтальной скорости робота. На какое минимальное расстояние L нужно отъехать роботу, чтобы выполнив прыжок, приземлиться с другой стороны провала?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Для максимально быстрого движения робот должен сначала ускоряться с максимальным ускорением a, затем тормозить с максимальным ускорением a так, чтобы отъехав на расстояние l от края провала, затем, развернувшись, с максимальным ускорением двигаться к провалу. Тогда, проехав расстояние l, двигаясь с ускорением a, робот разгонится до скорости: $$V = \sqrt{2al}$$	4
2) Во втором случае горизонтальная компонента скорости робота: $$v = \sqrt{2aL}$$	4
3) Время пролёта над провалом: $$t = \frac{S}{v} = \frac{S}{\sqrt{2aL}}$$	4
4) Для движения в вертикальной плоскости: $$gt = 2U$$	4
5) Решая совместно 2)-4): $$L = \frac{1}{2a}\left(\frac{Sg}{2U}\right)^2$$	4
Итого	20

Задача 2



Система, изображённая на рисунке, находится в равновесии. Стержень несгибаемый. Параметры стержня и пружин указаны на рисунке. Чему равны силы упругости пружин? Ускорение свободного падения g.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Пусть x_1, x_2 и x_3, тогда первое условие равновесия стержня: $$mg = k(x_1 + x_2 + x_3)$$	3
2) Второе условие равновесия (возможна другая точка): $$-4.5Lmg + Lkx_1 + 3Lk\,x_2 + 6Lkx_3 = 0$$	4
3) Условие кинематической связи (несгибаемость стержня): $$\frac{x_2 - x_1}{2L} = \frac{x_3 - x_1}{5L}$$	4
4) Решая совместно 1)-3) определено:	3

$$F_1 = kx_1 = \frac{9}{76}mg$$	
5) Решая совместно 1)-3) определено: $$F_2 = kx_2 = \frac{23}{76}mg$$	3
6) Решая совместно 1)-3) определено: $$F_3 = kx_3 = \frac{44}{76}mg = \frac{11}{19}mg$$	3
Итого	20

Задача 3

В теплоизолированном тигле находится $M = 1$ кг расплавленного олова. Когда в тигель опустили первый кусок олова массы m при температуре $t_0 = 232$ °C (температура плавления олова), температура олова в тигле уменьшилась на $\Delta t_1 = 7$ °C. Когда в тигель опустили второй кусок олова массы m при температуре $t_0 = 232$ °C, температура олова в тигле уменьшилась на $\Delta t_2 = 6$ °C. Определите m.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Уравнение теплового баланса в первом случае: $$Mc\Delta t_1 = mc(t_{\text{Н}} - \Delta t_1 - t_0) + \lambda m$$	5
2) Уравнение теплового баланса во втором случае: $$Mc(\Delta t_1 + \Delta t_2) = 2mc(t_{\text{Н}} - \Delta t_1 - \Delta t_2 - t_0) + \lambda 2m$$ либо $$(M+m)c\Delta t_2 = mc(t_{\text{Н}} - \Delta t_1 - \Delta t_2 - t_0) + \lambda m$$	5
3) Преобразуем 1): $$2Mc\Delta t_1 = 2mc(t_{\text{Н}} - \Delta t_1 - t_0) + 2\lambda m$$	
4) Из 3) и 2): $$2Mc\Delta t_1 - Mc(\Delta t_1 + \Delta t_2) = 2mc(t_{\text{Н}} - \Delta t_1 - t_0) + 2\lambda m - 2mc(t_{\text{Н}} - \Delta t_1 - \Delta t_2 - t_0) - \lambda 2m$$ $$Mc\Delta t_1 - Mc\Delta t_2 = 2mc\Delta t_2$$	
5) Окончательно: $$m = M\frac{(\Delta t_1 - \Delta t_2)}{2\Delta t_2} = 1\frac{1}{2\ 6} = \frac{1}{12} = 83.3 \text{ гр}$$	10
Итого	20

Задача 4

Равносторонний треугольник, выполненный из однородного листа стали постоянной толщины, имеет высоту 1 м. Треугольник нагрели так, что его вершина имела температуру 100°C, а противоположная сторона(основание) –0°C. Затем треугольник разрезали на 1000 тонких полосок. Разрезы были параллельны стороне с температурой 0°C. Все полоски пронумеровали, начиная с основания треугольника.

1) Определите температуру полоски с номером 150.
2) Определите номер полоски, которая отдаст наибольшее количества тепла при остывании до 0°C.
3) Определите общую температуру полосок после завершения теплообмена, считая, что теплопотерь в окружающую среду нет.

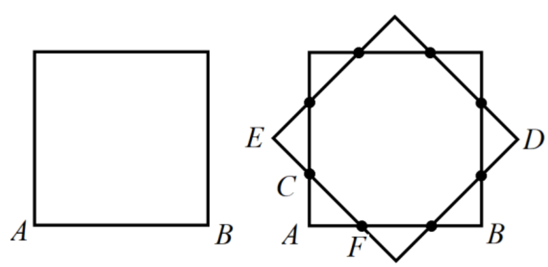
Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Температура полоски линейно возрастает с порядковым номером: $$t_n = \frac{n}{1000}100°\text{C}, \text{ откуда } t_{150} = 15°\text{C}$$	4
2) Длина полоски с номером n: $$l_n = \frac{1000 - n}{1000}L$$	
3) Количество тепла, которое отдаст полоска массы m_n, толщины d при остывании до 0°C:	4

$Q_n = m_n c t_n = \rho d \frac{L}{1000} l_n c t_n = \rho d \frac{L}{1000} c \frac{n}{1000} 100℃ \frac{1000-n}{1000} L$	
4) Найденное Q_n – парабола вида $n(1000-n)$ с максимумом при $n = 500$	4
5) Уравнение теплового баланса для теплообмена полосок друг с другом: $\sum_{n=1}^{1000} m_n c(t_n - t_К) = 0$	4
6) Преобразуем 5): $\sum_{n=1}^{1000} m_n c t_n = \sum_{n=1}^{1000} m_n c t_К$ $\sum_{n=1}^{1000} m_n t_n = t_К \sum_{n=1}^{1000} m_n$ $t_К = \frac{\sum_{n=1}^{1000} m_n t_n}{\sum_{n=1}^{1000} m_n} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{1000} m_n} \sum_{n=1}^{1000} m_n \frac{n}{1000} 100℃ = \frac{100℃}{H} \frac{1}{\sum_{n=1}^{1000} m_n} \sum_{n=1}^{1000} m_n \frac{n}{1000} H$ Здесь $H = 1$ м – высота треугольника. Введём обозначение $h_n = \frac{n}{1000} H$ – высота полоски с номером n, тогда: $t_К = \frac{100℃}{H} \frac{1}{\sum_{n=1}^{1000} m_n} \sum_{n=1}^{1000} m_n h_n.$ Здесь $\frac{1}{\sum_{n=1}^{1000} m_n} \sum_{n=1}^{1000} m_n h_n = \frac{1}{3} H$ – высота центра массы треугольника.	
7) Окончательно получено: $t_К = \frac{100℃}{H} \frac{1}{3} H = 33.3℃.$	4
Итого	20

Задача 5

Из однородной проволоки собрали квадрат. Сопротивление между контактами AB оказалось равно $R_{AB} = 108$ Ом. Затем взяли ещё один такой же квадрат, повернули относительно его центра на 45°. Квадраты спаяли во всех точках пересечения.



1) Как рассчитывается сопротивление последовательно и параллельно соединённых резисторов?
2) Какое сопротивление R имеет одна сторона исходного квадрата?
3) Чему равно сопротивление перемычки R_{CF} (только один резистор, без учёта остальной цепи)?
4) Чему равно общее сопротивление R_{ED} между точками E и D?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Сопротивление последовательно соединённых резисторов: $R_{посл} = R_1 + R_2$	1
2) Сопротивление параллельно соединённых резисторов: $\frac{1}{R_{парал}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	1
3) Для первого квадрата: $R_{AB} = \frac{3R}{4}$	
4) Из 3) получим:	3

$$R = \frac{4}{3} R_{AB} = 144\ \text{Ом}$$	
5) Для стороны квадрата: $$R = 2R_{EC} + R_{CF} = 2R_{AC} + R_{CF} = 2\frac{R_{CF}}{\sqrt{2}} + R_{CF} = R_{CF}(1+\sqrt{2})$$	
6) Окончательно: $$R_{CF} = \frac{R}{1+\sqrt{2}} = 59.6\ \text{Ом}$$	5
7) В силу симметрии при подключении к точкам E и D через вертикальные перемычки ток не протекает и их можно убрать.	3
8) Общее сопротивление цепи: $$R_{CD} = \frac{1}{2}\left(2R_{EC} + 3\frac{R_{CF} 2R_{AC}}{R_{CF} + 2R_{AC}}\right) = R_{EC} + 3\frac{R_{CF} R_{AC}}{R_{CF} + 2R_{AC}}$$	3
9) С учётом $R_{EC} = R_{AC} = \frac{R_{CF}}{\sqrt{2}}$: $$R_{CD} = \frac{R_{CF}}{\sqrt{2}} + 3\frac{R_{CF}}{\sqrt{2}+2} = (3-\sqrt{2})R_{CF} = 94.6\ \text{Ом}$$	4
Итого	20

Оценка заданий №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения.

Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада школьников (ОРМО)
с международным участием 2025-2026 уч. год
ФИЗИКА 10 класс

1 Вариант. II этап.

Задача 1

На побережье Козвэй-Кост Объект всемирного наследия ЮНЕСКО Мостовая гигантов, которая представляет собой и нескольких тысяч базальтовых или андезитовых колонн, образовавшихся в результате древнего извержения подводного вулкана. С утёса высотой $H = 12$ м турист бросил камень в воду. Сместившись по горизонтали на расстояние $L = 4$ м, камень упал в воду через $t = 2$ с после броска.

1) Определите начальную скорость камня.
2) Определите скорость камня при касании воды.
3) С какой наименьшей скоростью нужно бросить камень с утёса, чтобы он коснулся воды в той же точке? Время движения в этом случае может быть другим

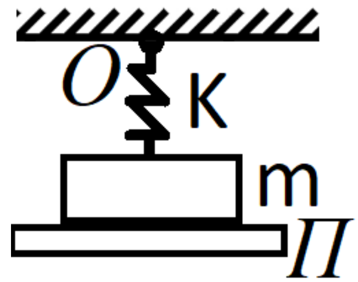
Решение и критерии оценки:

Комментарии к возможному решению	Баллы
1) Горизонтальная компонента скорости при движении камня постоянна и равна: $$V_X = \frac{L}{t} = 2 \text{ м/с}$$	2
2) Для вертикального смещения: $-H = V_y t - \frac{gt^2}{2}$, откуда вертикальная компонента начальной скорости: $V_Y = \frac{gt}{2} - \frac{H}{t} = 10 - 6 = 4$ м/с	2
3) Начальная скорость камня: $$V_0 = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2} \approx 4.5 \text{ м/с}$$	3
4) Скорость камня при касании воды: $$V_К = \sqrt{V_0^2 + 2gH} \approx 16.1 \text{ м/с}$$	3
5) Из кинематики движения тела, брошенного под углом к горизонту: $$L = v \cos\alpha\, t, -H = v \sin\alpha\, t - \frac{gt^2}{2},$$ избавляясь от неизвестного угла, получим $v^2 t^2 = L^2 + (\frac{gt^2}{2} - H)^2$. Это выражение можно получить сразу из векторного треугольника перемещений.	3
6) Уравнение 5) – это биквадратное уравнение на время движения. Корни уравнения существуют, если отличен от нуля дискриминант: $$D = (v^2 + gH)^2 - g^2(L^2 + H^2)$$	3
7) Минимальное значение дискриминанта достигается при:	4

$$v = \sqrt{g(\sqrt{L^2 + H^2} - H)} = 2.5\ \text{м/с}$$	
Альтернативно 5)-7). При оптимальном броске (см. статью Подлесного Д.В. и Александрова А.Д. в журнале Потенциал) сразу получим: $$L = \frac{v\sqrt{v^2 + 2gH}}{g},$$ откуда $v = \sqrt{g(\sqrt{L^2 + H^2} - H)} = 2.5\ \text{м/с}$	10
Итого	20

Задача 2

Система, изображённая на рисунке, в начальном состоянии находится в состоянии покоя, растяжение пружины отсутствует. Масса груза и жесткость пружины указаны на рисунке. В некоторый момент времени основание Π начинает двигаться вниз с постоянным ускорением a.



1) Какое расстояние L пройдёт груз к моменту отрыва от основания?
2) Сколько времени пройдёт с момента начала движения основания до момента отрыва груза?
3) Определите наибольшее растяжение пружины в процессе дальнейшего движения груза.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к возможному решению	Баллы
1) Уравнение движения груза: $ma = mg - N - F_{\text{упр}}$	2
2) В момент отрыва груза от основания сила реакции опоры равна 0, а сила упругости пружины $F_{\text{упр}} = kL$: $ma = mg - kL$	2
3) Тогда к моменту отрыва груз пройдёт расстояние $$L = \frac{m(g-a)}{k}$$	3
4) Искомое время: $$t = \sqrt{\frac{2L}{a}} = \sqrt{\frac{2m(g-a)}{ka}}$$	3
5) Пусть X – максимальное растяжение пружины. Закон сохранения энергии для моментов отрыва груза и момента максимального растяжение пружины: $$\frac{mv^2}{2} + \frac{kL^2}{2} + mg(X - L) = \frac{kX^2}{2}$$	5
6) Решая квадратное уравнение 5) и отбрасывая меньший корень: $$X = \frac{mg}{k} + \frac{m}{k}\sqrt{2ag - a^2}$$	5
Итого	20

Задача 3

Рабочим телом тепловой машины является один моль идеального одноатомного газа. Замкнутый цикл, по которому работает машина в координатах (P, V) состоит из прямых отрезков, соединяющих точки $1 \to 2 \to 3 \to 4$ с координатами: $(3P_0, V_0) \to (4P_0, 3V_0) \to (P_0, 3V_0) \to (3P_0, V_0)$.

1) Нарисуйте график цикла в координатах (P, V).
2) Определите величину подведённого к газу тепла в процессе $1 \to 2$.
3) Определите совершённую газом за цикл работу.
4) Максимальное изменение температуры газа в процессе $3 \to 1$.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к возможному решению	Баллы
1) Нарисован правильный график в виде треугольника с верно указанными вершинами.	2
2) Тепло, подведённое к газу в процессе $1 \to 2$: $$Q_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) + 7P_0V_0 = \frac{3}{2}(12P_0V_0 - 3P_0V_0) + 7P_0V_0 = \frac{41}{2}P_0V_0$$	4
3) Работа, совершённая газом за цикл: $$A = \frac{1}{2}3P_0 2V_0 = 3P_0V_0$$	4
4) Процесс $3 \to 1$ описывается уравнением: $$P = 4P_0 - \frac{P_0}{V_0}V$$	2
5) Из уравнения Менделеева-Клапейрона: $$P = \frac{\nu RT}{V}$$	2
6) Подставляя 5) в 4), получим: $$T = \frac{P_0}{\nu R}V\left(4 - \frac{V}{V_0}\right)$$	2
7) Уравнение 6) – парабола с максимумом в вершине $V = 2V_0$:$T_{max} = \frac{4P_0V_0}{\nu R}$. При этом минимальные температуры достигаются в точках 1 и 3.	2
8) Максимальное изменение температуры газа в процессе $3 \to 1$: $$\Delta T = T_{max} - \frac{3P_0V_0}{\nu R} = \frac{P_0V_0}{\nu R}$$	2
Итого	20

Задача 4

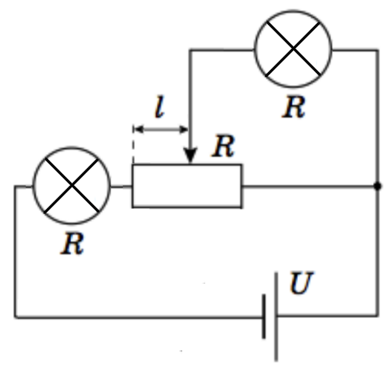
На покоящийся на горизонтальной поверхности брусок массы $2m$ налетает брусок массы $3m$. Происходит частично упругий удар. Отношение пройденных расстояний брусков по горизонтальной плоскости равно 1.2. Считая коэффициент трения брусков о горизонтальную поверхность одинаковым, определите долю кинетической энергии налетающего бруска, которая была потеряна во время удара.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Закон сохранения импульса для удара: $$3mv = 3mv_1 + 2mv_2$$	4
2) Закон сохранения энергии для удара: $$\frac{3mv^2}{2} = \frac{3m{v_1}^2}{2} + \frac{2m{v_2}^2}{2} + Q$$	4
3) После удара бруски теряют энергию на трение: $$\frac{3m{v_1}^2}{2} = 3mgL_1, \frac{2m{v_2}^2}{2} = 2mgL_2$$	4
4) Поскольку $v_2 > v_1$: $$L_2 = 1.2\,L_1$$	4
5) Решая совместно 1)-4), получим искомое отношение: $$\frac{2Q}{3mv^2} = 1 - \frac{{v_1}^2}{v^2} - \frac{2{v_2}^2}{3v^2} = 1 - \frac{{v_1}^2}{v^2}\left(1 + \frac{2L_2}{3L_1}\right) = 1 - \left(\frac{3}{3 + 2\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}}\right)^2 \left(1 + \frac{2L_2}{3L_1}\right)$$ $$= 1 - 0{,}334 \cdot 1.8 \approx 0.4 = 40\%$$	4
Итого	20

Задача 5

Электрическая схема, указанная на рисунке, подключена к идеальному источнику постоянного напряжения U. Потенциометр – это переменный резистор с тремя выходными контактами. Изменяя длину l от 0 до наибольшего значения l_0 можно регулировать напряжение на лампе, а значит и выделяемую на ней мощность.



1) Определите величину мощность, выделяемой на левой лампе от l.
2) Определите величину мощность, выделяемой на правой лампе от l.

Полное сопротивление потенциометра указано на рисунке. Сопротивление лампы считайте постоянным, равным полному сопротивлению потенциометра и не зависящем от температуры.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Общее сопротивление цепи: $$R_{об} = R + \frac{l}{l_0}R + \frac{R\left(1 - \frac{l}{l_0}\right)R}{R + \left(1 - \frac{l}{l_0}\right)R} = R\,\frac{3 - \left(\frac{l}{l_0}\right)^2}{2 - \frac{l}{l_0}}$$	4
2) Ток в цепи:	4

$$I = \frac{U}{R}\frac{2-\frac{l}{l_0}}{3-\left(\frac{l}{l_0}\right)^2}$$	
3) Мощность, выделяемая на левой лампе: $$P_1 = I^2 R = \frac{U^2}{R}\left(\frac{2-\frac{l}{l_0}}{3-\left(\frac{l}{l_0}\right)^2}\right)^2$$	4
4) Ток через правую лампу: $$I_2 = \frac{\left(1-\frac{l}{l_0}\right)R}{R+\left(1-\frac{l}{l_0}\right)R} I = \frac{U}{R}\frac{\left(1-\frac{l}{l_0}\right)}{3-\left(\frac{l}{l_0}\right)^2}$$	4
5) Мощность, выделяемая на правой лампе: $$P_2 = {I_2}^2 R = \frac{U^2}{R}\left(\frac{\left(1-\frac{l}{l_0}\right)}{3-\left(\frac{l}{l_0}\right)^2}\right)^2$$	4
Итого	20

Оценка заданий №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

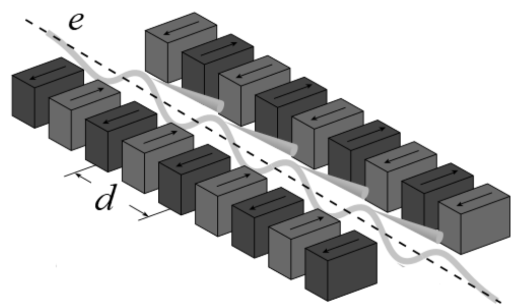
Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения. Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада школьников (ОРМО)
с международным участием 2025-2026 уч. год
ФИЗИКА 11 класс

1 Вариант. II этап.

Задача 1



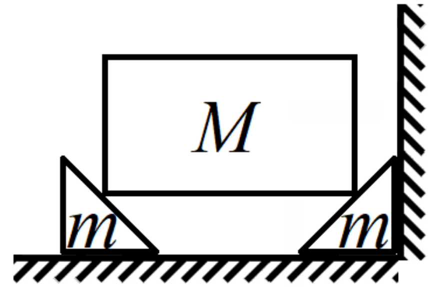
Ондулятор представляет собой последовательно расположенную цепочку коротких магнитов, полярность каждого следующего из которых противоположна предыдущему и перпендикулярна скорости начального пучка электронов. Обычно электроны направляется в ондулятор для генерации специального вида излучения. Заменим в ондуляторе магниты на длинные заряженные пластины шириной $d/2$ (в направлении пучка), заряженные поверхностной плотностью зарядов σ и $-\sigma$, сохраняя чередование полярности пластин, изолировав их друг от друга.

1) Опишите действие магнитного поля на заряженную частицу.
2) Опишите действие электрического поля на заряженную частицу.
3) Пренебрегая индукцией одних пластин на другие, определите напряженность электрического поля E_0, которую создает одна пара пластин.
4) Считая, что за время движения в модернизированном ондуляторе частица проходит большое число пар пластин, определите среднюю скорость частицы массы m и зарядом q, направленной со скоростью v_0 вдоль оси модернизированного ондулятора?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к возможному решению	Баллы
1) На частицу с зарядом q, движущуюся со скоростью $\vec{V}$ в магнитном поле с индукцией $\vec{B}$ действует сила Лоренца $\vec{F} = q[\vec{V} \times \vec{B}]$ – определены величина силы и направление.	1+1
2) На частицу с зарядом q находящуюся в электрическом поле с напряженностью $\vec{E}$ действует сила Кулона $\vec{F} = q\vec{E}$ – определены величина силы и направление.	1+1
3) Напряженность электрического поля двух пластин:$E_0 = 2\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$	2
4) Частица пролетит одну пластину за время:$t = \frac{d}{2v_0}$	2
5) Двигаясь с ускорением:$a = \frac{q\sigma}{m\varepsilon_0}$	2
6) Сместится в направлении перпендикулярном к начальной скорости на расстояние: $$\Delta y = \frac{at^2}{2} = \frac{q\sigma d^2}{8m\varepsilon_0 {v_0}^2}$$	2
7) За следующий интервал времени t, двигаясь с ускорением, направленным в противоположную сторону, частица сместится на такое же расстояние Δy.	4
8) Средняя скорость поперечного дрейфа частицы: $$v_y = \frac{\Delta y}{t} = \frac{at}{2} = \frac{q\sigma d}{4m\varepsilon_0 v_0}$$	2
9) Таким образом средняя скорость частицы: $$v = \sqrt{(v_0)^2 + (v_y)^2} = \sqrt{(v_0)^2 + (\frac{q\sigma d}{4m\varepsilon_0 v_0})^2}$$	2
Итого	20

Задача 2



Система из бруска массы M и двух одинаковых клиньев с массами m установили в углу, образованно вертикальной и горизонтальными плоскостями (см. рисунок). Углы в основании клиньев составляют 45°.

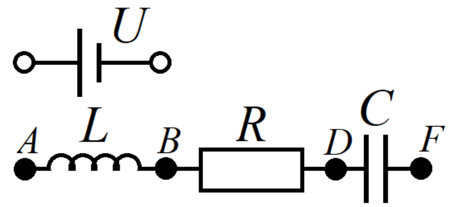
1) Пусть трение в системе отсутствует. Какую горизонтальную силу F необходимо прикладывать к левому клину, чтобы система оставалась в покое?
2) Пусть трение между клиньями и бруском отсутствует, а трение между клиньями и горизонтальной поверхностью есть. При каком минимальном коэффициенте трения μ между клиньями и горизонтальной поверхностью система будет находиться в покое?
3) Определите с каким ускорением a_1 начнёт двигаться левый клин, если освободить систему при отсутствии в системе трения?

Считать, что во время движения контакт между клиньями и бруском не теряется, клинья не переворачиваются.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Определим F. На брусок со стороны клиньев действуют две силы реакции опоры N, направленные под 45° к горизонту. Две вертикальные проекции этой силы компенсируют силу тяжести, действующую на брусок: $2N\cos 45° = \sqrt{2}N = Mg$. На левый клин действует вес бруска под углом 45° к вертикали. Чтобы левый клин находился в покое, к нему необходимо прикладывать горизонтальную силу: $$F = N\sin 45° = 0.5Mg$$	5
2) Сила реакции опоры, действующая на левый клин определяется суммой сил: $N\cos 45° + mg = 0.5Mg + mg$. Максимальное значение силы трения покоя – это сила трения скольжения: $\mu(0.5M + m)g$. Эта сила трения должна компенсировать горизонтальную компоненту веса бруска: $\mu(0.5M + m)g = 0.5Mg$. Откуда окончательно: $$\mu = \frac{M}{M + 2m}$$	5
3) После освобождения системы брусок движется с ускорением A направленным вдоль правого клина (под 45° к горизонту). Левый клин движется горизонтально с ускорением a_1. По условию контакт между клином и бруском не теряется, а для этого должно быть выполнено условие кинематической связи: $$a_1 = \sqrt{2}A$$	3
4) Уравнение динамики для клина: $$ma_1 = N_1 \sin 45°$$	3
5) Уравнение динамики для бруска: $$MA = Mg\sin 45° - N_1 \text{ или}$$ $$MA\cos 45° = Mg - N_1\sin 45° - N_2\sin 45°$$ $$MA\sin 45° = -N_1\cos 45° + N_2\cos 45°$$ В последней паре силы реакции опоры левого и правого клиньев не равны!	2
6) Решая совместно 3)-5) получено: $$a_1 = \frac{M}{M + 2m}g$$	2
Итого	20

Задача 3



В распоряжении исследователя имеется идеальный источник напряжения с напряжением U, и цепь из катушки с индуктивности L, резистора с сопротивлением R и конденсатора с ёмкостью C. В начале поле в катушке отсутствовало, а конденсатор был не заряжен.

1) Сначала источник напряжения подключили к контактам AD. Какой начальный ток I_1 в этом случае будет протекать через источник? Какая энергия W_1 будет запасена в катушке через длительное время?
2) Затем источник переключили: положительную обкладку к контакту B, отрицательную к контакту F. Какой начальный ток I_2 в этом случае будет протекать через источник? Какая энергия W_2 будет запасена в конденсаторе через длительное время?
3) Затем источник переключили: положительную обкладку к контакту F, отрицательную к контакту A, а контакты BD замкнули между собой. Какой минимальный заряд q_{MIN} будет в дальнейшем наблюдаться на левой обкладке конденсатора (с учётом знака)? Какой максимальный ток I_{MAX} будет протекать в дальнейшем через катушку?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к возможному решению	Баллы
1) При подключении источника к контактам AD ток $I_1 = 0$ в начальный момент времени.	3
Через достаточно продолжительное время в цепи будет протекать ток $I = \frac{U}{R}$, а в катушке будет запасена энергия: $$W_1 = \frac{LI^2}{2} = \frac{LU^2}{2R^2}$$	3
2) При подключении источника к контактам BF ток $I_2 = \frac{U}{R}$ в начальный момент времени, поскольку конденсатор в этот момент времени будет не заряжен.	3
Через достаточно продолжительное время конденсатор зарядится до напряжения U, а в нём будет запасена энергия: $$W_2 = \frac{CU^2}{2}$$	3
3) После подключения источника к контактам FA и замыкании контактов BD получившаяся цепь – это колебательный контур, состоящий из источника, катушки и конденсатора.	
Способ 1	
4) Пусть $q_1 = -CU$ – начальный заряд на правой пластине конденсатора, а начальная энергия, запасённая в конденсаторе $W_2 = \frac{{q_1}^2}{2C}$. В этот момент заряд левой пластины $+CU$	
5) Пусть в некоторый момент времени на правой пластине конденсатора окажется заряд q_2, а энергия, запасённая в конденсаторе в этот момент $W_3 = \frac{{q_2}^2}{2C}$. В этот момент времени заряд левой пластины $-q_2$.	
6) Тогда через источник пройдёт заряд $Q = q_2 - q_1$, а источник совершит работу $A = QU$	
7) В этот момент времени ток в катушке $I_К$, а энергия запасённая в катушке $W_4 = \frac{L{I_К}^2}{2}$	
8) Тогда закон сохранения энергии для системы можно записать в виде: $$W_2 + A = W_3 + W_4$$	
9) При минимальном так и при минимальном заряде на конденсаторе ток в цепи отсутствует (например, исходя из того, что $I_К = dq_2/dt = 0$, или исходя из того, что при положительном токе заряд растёт, при отрицательном – уменьшается, значит заряд максимален при нулевом токе, и аналогично для минимума)	
10) Решая совместно 4)-9) получаем два решения для заряда на правой пластине: $$q_2 = CU \pm 2CU,$$	4

Откуда минимальное значение заряда на левой обкладке конденсатора $q_{MIN} = -3CU$.	
11) Из закона сохранения энергии 8) получим: $$\frac{LI_к{}^2}{2} = \frac{3}{2}CU^2 + q_2C - \frac{q_2{}^2}{2C},$$ что представляет собой параболу с ветвями, направленными вниз, и максимумом в вершине, при $q_2 = CU$.	
11*) Альтернативно к 11), запишем второе правило Кирхгофа для цепи: $$U = U_c - L\frac{dI_К}{dt}.$$ При максимальном значении тока в катушке напряжение в конденсаторе $U_c = U$	
12) Из 11) или 8) и 11*) получим: $$I_{MAX} = 2U\sqrt{\frac{C}{L}}$$	4
Способ 2	
4*) Из 3) следует, что заряд на <u>левой</u> пластине конденсаторе меняется по закону гармонических колебаний: $$q_2(t) = -CU + q_0\cos(\omega t + \varphi),$$ где первое слагаемое $-CU$ определяется из положения равновесия – при начальном напряжении на конденсаторе $U = U_c$ колебаний в системе не будет, $\omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}$ – частота колебаний, которую можно найти по формуле Томсона, начальная фаза $\varphi = 0$ определяется из начальных условий $q_2(0) = CU$, как и амплитуда колебаний $q_0 = 2CU$.	
5*) Из уравнения колебаний: $$q_{MIN} = -3CU$$	4
6*) Из уравнения колебаний: $I_{MAX} = q_0\omega = 2U\sqrt{\frac{C}{L}}$	4
Итого	20

Задача 4

Идеальный одноатомный газ в количестве $\nu = 10$ молей из начального состояния с давлением $P_0 = 10^5$Па и объёмом $V_0 = 0.5$ м^3 расширяется на $\Delta V = 3$ см^3 в процессе, описываемом уравнением $P(V + V_x) = const$, где $V_x = 1.0$ м^3.

1) Определите количество подведённого к газу тепла ΔQ.
2) К газу тепло подводится или отводится?

Составим из этого процесса, процесса изобарического сжатия на объём ΔV, и изохорического нагревания до начального состояния замкнутый цикл.

3) Нарисуйте в координатах (P, V) график этого цикла.
4) Определите КПД этого цикла

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Для указанного процесса запишем: $$P_0(V_0 + V_x) = (P_0 + \Delta P)(V_0 + \Delta V + V_x),$$ откуда найдём изменение давления в этом процессе: $$\Delta P = -\frac{P_0\Delta V}{V_0 + \Delta V + V_x} \approx -\frac{P_0\Delta V}{V_0 + V_x} = -0.2 \text{ Па}$$	2
2) Из уравнения Менделеева-Клапейрона для начального состояния: $P_0V_0 = \nu RT_0$ определим начальную температуру: $$T_0 = \frac{P_0V_0}{\nu R}$$	

3) Из уравнения Менделеева-Клапейрона для начального и конечного состояний с учётом 2) определим изменение температуры газа: $$\Delta T \approx \frac{1}{\nu R}(V_0\Delta P + P_0\Delta \mathrm{V}) = \frac{1}{\nu R}\left(-V_0\frac{P_0\Delta V}{V_0+V_x} + P_0\Delta \mathrm{V}\right) = \frac{P_0}{\nu R}\left(\frac{V_x\Delta \mathrm{V}}{V_0+V_x}\right) \approx 2.4\text{ мК}$$	2
4) Изменение внутренней энергии газа в этом процессе: $$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}P_0\left(\frac{V_x\Delta \mathrm{V}}{V_0+V_x}\right) = 0.3\text{ Дж}$$	2
5) Работа в этом процессе: $$\mathrm{A} = P_0(V_0+V_x)\ln\frac{V_0+\Delta V+V_x}{V_0+V_x} = 0{,}2999997000004\text{ (точно)}$$ $$\mathrm{A} \approx P_0\Delta V = 0{,}3\text{(приближённо)}$$	2
6) Согласно первому началу термодинамики: $$\Delta Q = \mathrm{A} + \Delta U = 0.6\text{ Дж}$$	2
7) Тепло подводится	2
8) Нарисован график в виде криволинейного треугольника	2
9) Тепло, которое подводится к газу в изохорическом процессе: $$Q_V = \nu C_V\Delta T_V = \frac{3}{2}\nu R\Delta T_V$$ Изменение температуры в изохорическом процессе находится из уравнения Менделеева-Клапейрона: $\nu R\Delta T_V = P_0V_0 - (P_0+\Delta P)V_0 = -\Delta PV_0$. Тогда $Q_V = -\frac{3}{2}\Delta PV_0 = 0.15$ Дж. Окончательно найдено подведённое к газу за цикл тепло: $Q_1 = Q + Q_V = 0.75$ Дж	2
10) Полезную работу, совершаемую газом за цикл можно рассчитать, либо используя точное значение работы 5) и работу газа в изобарическом процессе $\mathrm{A} - (P_0 - \Delta P)\Delta \mathrm{V}$ либо оценить: $A_{\text{пол}} \approx \frac{1}{2}\Delta P\Delta \mathrm{V}$. Справедливость такой оценки можно проверить, разлагая логарифм в 5) в ряд Тейлора до второго порядка.	2
9) КПД цикла: $$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_1} = 0{,}4\ \ 10^{-6}$$	2
Итого	20

Задача 5

Фейерверк массой $m = 2$ кг взрывается в полете. Оболочка разделяется на два равных по массе осколка. Энергия, выделившаяся при взрыве, равная $W = 1800$ Дж, полностью переходит в кинетическую энергию осколков.

1) Определите максимальную и минимальную возможную скорость осколка после взрыва в случае, когда в момент разрыва фейерверк двигался со скоростью равной $v_0 = 20$ м/с
2) Для двух случаев найдите максимальный и минимальный из возможных углов между скоростями осколков сразу после разрыва, когда в момент разрыва фейерверк двигался со скоростью равной а) $v_0 = 20$ м/с, б) $v_0 = 40$ м/с.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) В системе отсчёта, связанной с движением фейерверка в момент взрыва, скорости, которые получат осколки после взрыва одинаковы и равны: $$v = \sqrt{\frac{2W}{m}} = 30\sqrt{2} \approx 42{,}43\text{ м/с}$$	4
2) Минимальная скорость осколка достигается, когда его скорость в системе центра массы системы направлена в противоположную сторону от скорости системы:	3

$$v_{min} = v - v_0 = 22{,}43 \text{ м/с}$$	
3) Максимальная скорость осколка достигается, когда его скорость в системе центра массы системы сонаправлена со скоростью системы: $$v_{max} = v + v_0 = 62{,}43 \text{ м/с}$$	3
4) Поскольку в обоих случаях $v_0 < v$, то максимальный угол между скоростями осколков после взрыва $\theta_{max} = 180°$	4
5) Наименьший угол между конечными скоростями осколков реализуется в случае, когда скорости v и v_0 перпендикулярны. $$\theta_{min1} = 2\,\mathrm{arctg}\frac{v}{v_0} = 2\,\mathrm{arctg}\frac{42{,}43}{20} \approx 130°$$	3
6) $$\theta_{min2} = 2\,\mathrm{arctg}\frac{v}{v_0} = 2\,\mathrm{arctg}\frac{42{,}43}{40} \approx 93°$$	3
Итого	20

Оценка заданий №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения.

Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада школьников (ОРМО)
с международным участием 2025-2026 уч. год
ФИЗИКА 11 класс

2 Вариант. II этап.

Задача 1

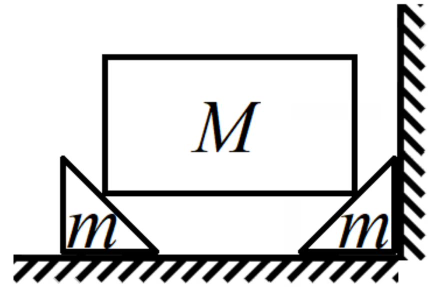
Пластины воздушного конденсатора имеют форму квадрата со стороной a, а расстояние между пластинами d. В начальный момент времени напряжение на пластинах равно U_0, затем через время τ полярность напряжения на конденсаторе меняется мгновенно противоположное. Смена полярности напряжения на конденсаторе меняется достаточно продолжительное время. В конденсатор влетает частица массы m и зарядом q со скоростью, направленной вдоль пластин, при этом начальная точка влёта частицы равноудалена от пластин конденсатора.

1) Опишите действие магнитного поля на заряженную частицу.
2) Опишите действие электрического поля на заряженную частицу.
3) Определите наибольшую напряжённость электрического поля в конденсаторе.
4) Какой должна быть начальная скоростью частицы v_0, чтобы частица смогла пролететь конденсатор насквозь? Считать, что за время пролёта частицы полярность напряжения на конденсаторе меняется довольно большое число раз.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) На частицу с зарядом q, движущуюся со скоростью $\vec{V}$ в магнитном поле с индукцией $\vec{B}$ действует сила Лоренца $\vec{F} = q[\vec{V} \times \vec{B}]$ – определены величина силы и направление.	1+1
2) На частицу с зарядом q находящуюся в электрическом поле с напряженностью $\vec{E}$ действует сила Кулона $\vec{F} = q\vec{E}$ – определены величина силы и направление.	1+1
3) Наибольшая напряжённость электрического поля в конденсаторе: $$E_0 = \frac{U_0}{d}$$	2
4) Частица пролетит конденсатор за время: $$t = \frac{a}{v_0}$$	2
5) Двигаясь с ускорением: $$A = \frac{q}{m}\frac{U_0}{d}$$	2
6) Сместится в направлении перпендикулярном к начальной скорости на расстояние: $$\Delta y = \frac{A\tau^2}{2} = \frac{qU_0\tau^2}{2md}$$	2
7) За следующий интервал времени τ, двигаясь с ускорением, направленным в противоположную сторону, частица сместится на такое же расстояние Δy.	4
8) Средняя скорость поперечного дрейфа частицы: $$v_y = \frac{2\Delta y}{2\tau} = \frac{A\tau}{2} = \frac{qU_0\tau}{2md}$$	2
9) Частица сможет пролететь конденсатор насквозь, если за время пролёта сместится в поперечном направлении не расстояние меньшее $d/2$: $$v_0 \geq \frac{v_y}{d/2}a = \frac{qU_0\tau}{md^2}a$$	2
Итого	20

Задача 2



Система из бруска массы M и двух одинаковых клиньев с массами m установили в углу, образованно вертикальной и горизонтальными плоскостями (см. рисунок). Углы в основании клиньев составляют 45°.

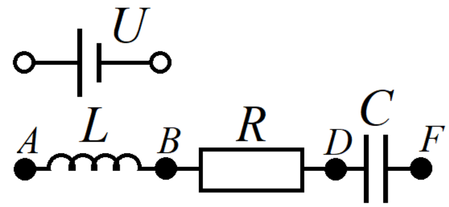
1) Пусть трение в системе отсутствует. Какую горизонтальную силу F необходимо прикладывать к левому клину, чтобы система оставалась в покое?
2) Пусть трение между клиньями и бруском отсутствует, а трение между клиньями и горизонтальной поверхностью есть. При каком минимальном коэффициенте трения μ между клиньями и горизонтальной поверхностью система будет находиться в покое?
3) Определите с каким ускорением a_2 начнёт двигаться брусок, если освободить систему при отсутствии в системе трения

Считать, что во время движения контакт между клиньями и бруском не теряется, клинья не переворачиваются.

Решение и критерии оценки:

Комментарии к возможному решению	Баллы
1) Определим F. На брусок со стороны клиньев действуют две силы реакции опоры N, направленные под 45° к горизонту. Две вертикальные проекции этой силы компенсируют силу тяжести, действующую на брусок: $2N\cos 45° = \sqrt{2}N = Mg$. На левый клин действует вес бруска под углом 45° к вертикали. Чтобы левый клин находился в покое, к нему необходимо прикладывать горизонтальную силу: $$F = N\sin 45° = 0.5Mg$$	5
2) Сила реакции опоры, действующая на левый клин определяется суммой сил: $N\cos 45° + mg = 0.5Mg + mg$. Максимальное значение силы трения покоя – это сила трения скольжения: $\mu(0.5M + m)g$. Эта сила трения должна компенсировать горизонтальную компоненту веса бруска: $\mu(0.5M + m)g = 0.5Mg$. Откуда окончательно: $$\mu = \frac{M}{M + 2m}$$	5
3) После освобождения системы брусок движется с ускорением a_2 направленным вдоль правого клина (под 45° к горизонту). Левый клин движется горизонтально с ускорением a_1. По условию контакт между клином и бруском не теряется, а для этого должно быть выполнено условие кинематической связи: $$a_1 = \sqrt{2}a_2$$	3
4) Уравнение динамики для клина: $$ma_1 = N_1\sin 45°$$	3
5) Уравнение динамики для бруска: $$Ma_2 = Mg\sin 45° - N_1 \text{ или}$$ $$Ma_2\cos 45° = Mg - N_1\sin 45° - N_2\sin 45°$$ $$Ma_2\sin 45° = -N_1\cos 45° + N_2\cos 45°$$ В последней паре силы реакции опоры левого и правого клиньев не равны!	2
6) Решая совместно 3)-5) получено: $$a_2 = \frac{M}{\sqrt{2}M + 2\sqrt{2}m}g$$	2
Итого	20

Задача 3



В распоряжении исследователя имеется идеальный источник напряжения с напряжением U, и цепь из катушки с индуктивности L, резистора с сопротивлением R и конденсатора с ёмкостью C. В начале поле в катушке отсутствовало, а конденсатор был не заряжен.

1) Сначала источник напряжения подключили к контактам AD. Какой начальный ток I_1 в этом случае будет протекать через источник? Какая энергия W_1 будет запасена в катушке через длительное время?
2) Затем источник переключили: положительную обкладку к контакту B, отрицательную к контакту F. Какой начальный ток I_2 в этом случае будет протекать через источник? Какая энергия W_2 будет запасена в конденсаторе через длительное время?
3) Затем источник переключили: положительную обкладку к контакту F, отрицательную к контакту A, а контакты BD замкнули между собой. Какой максимальный заряд q_{MAX} будет в дальнейшем наблюдаться на правой обкладке конденсатора (с учётом знака)? Какой минимальный ток I_{MIN} будет протекать в дальнейшем через катушку?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) При подключении источника к контактам AD ток $I_1 = 0$ в начальный момент времени.	3
Через достаточно продолжительное время в цепи будет протекать ток $I = \frac{U}{R}$, а в катушке будет запасена энергия: $$W_1 = \frac{LI^2}{2} = \frac{LU^2}{2R^2}$$	3
2) При подключении источника к контактам BF ток $I_2 = \frac{U}{R}$ в начальный момент времени, поскольку конденсатор в этот момент времени будет не заряжен.	3
Через достаточно продолжительное время конденсатор зарядится до напряжения U, а в нём будет запасена энергия: $$W_2 = \frac{CU^2}{2}$$	3
3) После подключения источника к контактам FA и замыкании контактов BD получившаяся цепь – это колебательный контур, состоящий из источника, катушки и конденсатора.	
Способ 1	
4) Пусть $q_1 = -CU$ – начальный заряд на <u>правой</u> пластине конденсатора, а начальная энергия, запасённая в конденсаторе $W_2 = \frac{{q_1}^2}{2C}$	
5) Пусть в некоторый момент времени на <u>правой</u> пластине конденсатора окажется заряд q_2, а энергия, запасённая в конденсаторе в этот момент $W_3 = \frac{{q_2}^2}{2C}$	
6) Тогда через источник пройдёт заряд $Q = q_2 - q_1$, а источник совершит работу $A = QU$	
7) В этот момент времени ток в катушке $I_К$, а энергия запасённая в катушке $W_4 = \frac{L{I_К}^2}{2}$	
8) Тогда закон сохранения энергии для системы можно записать в виде: $$W_2 + A = W_3 + W_4$$	
9) При минимальном так и при минимальном заряде на конденсаторе ток в цепи отсутствует (например, исходя из того, что $I_К = dq_2/dt = 0$, или исходя из того, что при положительном токе заряд растёт, при отрицательном – уменьшается, значит заряд максимален при нулевом токе, и аналогично для минимума)	
10) Решая совместно 4)-9) получаем два решения: $$q_2 = CU \pm 2CU,$$ Откуда максимальный заряд на <u>правой</u> обкладке конденсатора $q_{MAX} = 3CU$.	4

11) Из закона сохранения энергии 8) получим: $$\frac{LI_к^2}{2}=\frac{3}{2}CU^2+q_2C-\frac{q_2^2}{2C},$$ что представляет собой параболу с ветвями, направленными вниз, и минимальным значением тока $I_{MIN}=0$.	4
Способ 2	
4*) Из 3) следует, что заряд на <u>правой</u> пластине конденсаторе меняется по закону гармонических колебаний: $$q_2(t)=CU+q_0\cos(\omega t+\varphi),$$ где первое слагаемое CU определяется из положения равновесия – при начальном напряжении на конденсаторе $U=U_c$ колебаний в системе не будет, $\omega=\frac{1}{\sqrt{CL}}$ – частота колебаний, которую можно найти по формуле Томсона, начальная фаза $\varphi=0$ определяется из начальных условий $q_2(0)=-CU$, как и амплитуда колебаний $q_0=-2CU$.	
5*) Из уравнения колебаний: $$q_{MAX}=3CU$$	4
6*) Из уравнения колебаний: $I_{MIN}=0$	4
Итого	20

Задача 4

Идеальный одноатомный газ в количестве $\nu=10$ молей из начального состояния с давлением $P_0=10^5$Па и объёмом $V_0=1.5$ м^3 сжимается на $\Delta V=4$ см^3 в процессе, описываемом уравнением $P(V+V_x)=const$, где $V_x=0.5$ м^3.

1) Определите количество подведённого к газу тепла ΔQ.
2) К газу тепло подводится или отводится?

Составим из этого процесса, процесса изобарического расширения на объём ΔV, и изохорического охлаждения до начального состояния замкнутый цикл.

3) Нарисуйте в координатах (P,V) график этого цикла.
4) Определите КПД этого цикла

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Для указанного процесса запишем: $$P_0(V_0+V_x)=(P_0+\Delta P)(V_0-\Delta V+V_x),$$ откуда найдём изменение давления в этом процессе: $$\Delta P=\frac{P_0\Delta V}{V_0+\Delta V+V_x}\approx\frac{P_0\Delta V}{V_0+V_x}=0.2\text{ Па}$$	2
2) Из уравнения Менделеева-Клапейрона для начального состояния: $P_0V_0=\nu RT_0$ определим начальную температуру: $$T_0=\frac{P_0V_0}{\nu R}$$	
3) Из уравнения Менделеева-Клапейрона для начального и конечного состояний с учётом 2) определим изменение температуры газа: $$\Delta T\approx\frac{1}{\nu R}(V_0\Delta P-P_0\Delta \mathrm{V})=\frac{1}{\nu R}\left(V_0\frac{P_0\Delta V}{V_0+V_x}-P_0\Delta \mathrm{V}\right)=-\frac{P_0}{\nu R}\left(\frac{V_x\Delta \mathrm{V}}{V_0+V_x}\right)\approx-1.2\text{ мК}$$	2
4) Изменение внутренней энергии газа в этом процессе: $$\Delta U=\frac{3}{2}\nu R\Delta T=-\frac{3}{2}P_0\left(\frac{V_x\Delta \mathrm{V}}{V_0+V_x}\right)=-0.15\text{ Дж}$$	2
5) Работа в этом процессе: $$\mathrm{A}=P_0(V_0+V_x)\ln\frac{V_0-\Delta V+V_x}{V_0+V_x}=-0{,}4000004\text{ (точно)}$$	2

$A \approx -P_0\Delta V = -0{,}4$(приближённо)	
6) Согласно первому началу термодинамики: $$\Delta Q = A + \Delta U = -0.55 \text{ Дж}$$	2
7) Тепло отводится	2
8) Нарисован график в виде криволинейного треугольника	2
9) Тепло, которое подводится к газу в изобарическом процессе: $$Q_P = \nu C_P \Delta T_P = \frac{5}{2}\nu R \Delta T_P$$ Изменение температуры в изобарическом процессе находится из уравнения Менделеева-Клапейрона: $\nu R \Delta T_P = (P_0 + \Delta P)V_0 - (P_0 + \Delta P)(V_0 - \Delta V) = (P_0 + \Delta P)\Delta V$. Тогда $Q_P = \frac{5}{2}(P_0 + \Delta P)\Delta V = 1{,}000002$ Дж ≈ 1 Дж.	2
10) Полезную работу, совершаемую газом за цикл можно рассчитать, либо используя точное значение работы 5) и работу газа в изобарическом процессе $A + (P_0 + \Delta P)\Delta V$ либо оценить: $A_{пол} \approx \frac{1}{2}\Delta P \Delta V$. Справедливость такой оценки можно проверить, разлагая логарифм в 5) в ряд Тейлора до второго порядка.	2
9) КПД цикла: $$\eta = \frac{A_{пол}}{Q_1} = 0{,}4\ \ 10^{-6}$$	2
Итого	20

Задача 5

Фейерверк массой $m = 3$ кг взрывается в полете. Оболочка разделяется на два осколка, массы которых соотносятся как 2:1. Энергия, выделившаяся при взрыве, равная $W = 2700$ Дж, полностью переходит в кинетическую энергию осколков.

1) Определите максимальные и минимальные возможные скорости осколков после взрыва в случае, когда в момент разрыва фейерверк двигался со скоростью равной $v_0 = 20$ м/с.
2) При какой начальной скорости фейерверка один из осколков может остановиться после взрыва?

Решение и критерии оценки:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Массы осколков после взрыва: $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг.	2
2) Закон сохранения импульса в СЦМ при взрыве: $$m_1 v_1 = m_2 v_2, \text{откуда } v_1 = 2v_2$$	2
3) Закон сохранения энергия в СЦМ при взрыве: $$W = \frac{m_1 {v_1}^2}{2} + \frac{m_2 {v_2}^2}{2}$$	2
4) Решая совместно 1)-3): $$v_1 = 60 \text{ м/с}, v_2 = 30 \text{ м/с}$$	2+2
5) Минимальная и максимальная скорости осколка массой m_1: $$v_{min1} = v_1 - v_0 = 40 \text{ м/с}, v_{max1} = v_1 + v_0 = 80 \text{ м/с}$$	2+2
6) Минимальная и максимальная скорости осколка массой m_2: $$v_{min2} = v_2 - v_0 = 10 \text{ м/с}, v_{max2} = v_2 + v_0 = 50 \text{ м/с}$$	2+2
7) Один из осколков остановится при взрыве, если скорость фейерверка будет принимать значения: 60 м/с, 30 м/с	1+1
Итого	20

Оценка заданий №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения. Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!