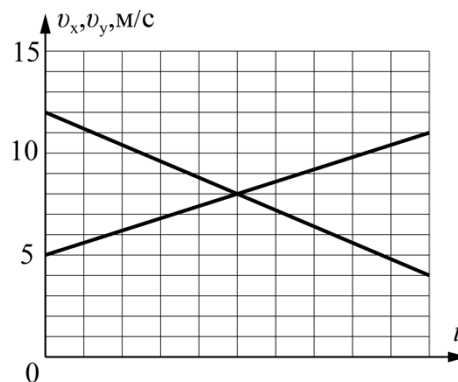


1. Неудачные оси (Кутелев К.)

Частица двигалась в плоскости XU . На рисунке приведены графики зависимостей проекций скорости частицы от времени на перпендикулярные оси координат. К сожалению оцифровка оси времени утрачена, однако известно, что минимальное значение модуля скорости было у частицы в момент $t_0 = 13,2$ с.

Определите:

- 1) модуль скорости частицы при $t = 0$ с;
- 2) ускорение частицы;
- 3) угол между начальной скоростью и ускорением.



Возможное решение

Судя по графику проекции скорости, движение равноускоренное. Запишем уравнения проекции скорости:

$$\begin{cases} v_1 = v_{10} + a_1 t \\ v_2 = v_{20} + a_2 t \end{cases}, \text{ где } v_{10} = 5 \text{ м/с}, v_{20} = 12 \text{ м/с}.$$

Начальная $v_0 = \sqrt{v_{10}^2 + v_{20}^2} = 13 \text{ м/с}$ скорость

Через некоторое время Δt после начала движения проекции скоростей оказались равны $v_8 = 8 \text{ м/с}$:

$$\begin{cases} v_8 = v_{10} + a_1 \Delta t \\ v_8 = v_{20} + a_2 \Delta t \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_1 = \frac{v_8 - v_{10}}{\Delta t} \\ a_2 = \frac{v_8 - v_{20}}{\Delta t} \end{cases} \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{v_8 - v_{10}}{v_8 - v_{20}} = -\frac{3}{4} = n$$

Модуль скорости v выразим через проекции:

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 = v_{10}^2 + v_{20}^2 + (a_1^2 + a_2^2)t^2 + 2t(v_{10}a_1 + v_{20}a_2)$$

Данное выражение достигает минимума при t_0 . Выразим t_0 через формулу для вершины параболы:

$$t_0 = -\frac{2(v_{10}a_1 + v_{20}a_2)}{2(a_1^2 + a_2^2)} = -\frac{2(v_{10} + v_{20}n)a_1}{2(1+n^2)a_1^2} \Rightarrow a_1 = \frac{v_{10} + v_{20}n}{(1+n^2)t_0} = -0.4 \text{ м/с}^2$$

$$a_2 = na_1 = 0.3 \text{ м/с}^2$$

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = 0.5 \text{ м/с}^2$$

Угол между векторами начальной скорости и ускорения (его косинус) найдём через скалярное произведение:

$$\begin{cases} \vec{a} \cdot \vec{v}_0 = a_1 v_{10} + a_2 v_{20} \\ \vec{a} \cdot \vec{v}_0 = |\vec{a}| \cdot |\vec{v}_0| \cos(\alpha) \end{cases} \Rightarrow \cos(\alpha) = \frac{a_1 v_{10} + a_2 v_{20}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{v}_0|} = \frac{a_1 v_{10} + a_2 v_{20}}{a v_0} \approx 0.51$$

Это соответствует углу примерно 120 градусов.

Критерии оценивания

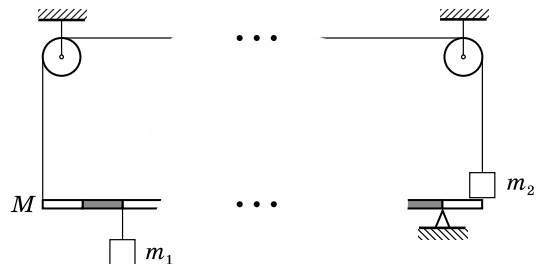
№	Критерий	Балл
1.1	Найдена начальная скорость 13 м/с	1
2.1	Использовано уравнение скорости при равноускоренном движении	0,5
2.2	Модуль скорости выражен через проекции	1
2.3	В рассуждениях использована точка пересечения графиков	0,5
2.4	Найдено отношение проекций ускорения n^*	1
2.5	Получено выражение связывающее t_0 с проекциями скоростей и ускорений	2
2.6	Найдена $a_1 = -0.4 \text{ м/с}^2$	0,5
2.7	Найдена $a_2 = 0.3 \text{ м/с}^2$	0,5
2.8	Найдено ускорение $a = 0.5 \text{ м/с}^2$	0,5
3.1	Любая корректная идея нахождения угла между векторами	1
3.2	Реализация метода (формула)	1
3.3	Реализация метода (число) 120° **	0,5

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

2. Архив Гука (Агеев Я.)

В архиве Гука нашли чертёж механической конструкции, находящейся в однородном поле тяжести g . На чертеже были изображены однородная горизонтальная балка массой M , свободно вращающийся шарнир с грузом массой m_1 , и также лежащий на опоре груз массой m_2 .



перекинутая через два неподвижных блока, вращающихся без трения. К сожалению, при транспортировке чертёж порвался на три части, и средняя часть потерялась (см. рисунок). Из заметок к чертежу известно, что $m_1 = 1,7 \text{ кг}$, длина l одной части балки равна 20 см, $M = 1,6 \text{ кг}$, а минимальная масса второго груза, при которой система находится в равновесии, равна $m_{2\min} = 2,2 \text{ кг}$. Учитывая что $L > 3l$, найдите длину L всей балки и максимальную массу $m_{2\max}$ второго груза, при которой система находится в равновесии.

Возможное решение

Минимальная масса m_2 достигается при равенстве нулю действующей на него силы реакции опоры со стороны балки. Тогда сила натяжения нити:

$$T = m_{2\min} g.$$

Запишем правило моментов относительно оси проходящей через точку крепления вращающегося шарнира:

$$T(L-l) = Mg\left(\frac{L}{2} - l\right) + m_1g(L-3l);$$
$$m_{2\min} g (L-l) = Mg\left(\frac{L}{2} - l\right) + m_1g(L-3l).$$

$$L = \frac{2M + 6m_1 - 2m_{2\min}}{M + 2m_1 - 2m_{2\min}} l = 300 \text{ см.}$$

Максимальная возможная масса $m_{2\max}$ достигается при равенстве нулю силы натяжения. Тогда со стороны второго груза на балку будет действовать сила реакции опоры равная: $N = m_{2\max}g$.

Запишем правило моментов относительно оси проходящей через точку крепления вращающегося шарнира:

$$Nl = Mg\left(\frac{L}{2} - l\right) + m_1g(L-3l);$$
$$m_{2\max} g l = Mg\left(\frac{L}{2} - l\right) + m_1g(L-3l)$$
$$m_{2\max} = \frac{Mg\left(\frac{L}{2} - l\right) + m_1g(L-3l)}{gl} = 30,8 \text{ кг.}$$

Критерии оценивания

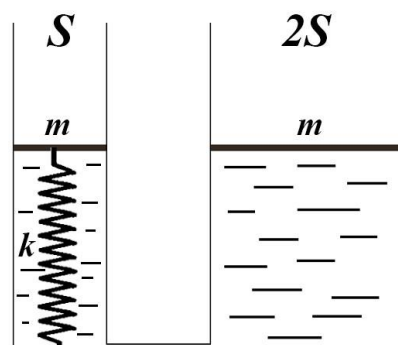
№	Критерий	Балл
1	Верно записано условие минимальности массы m_2	1
2	Верно записано правило моментов относительно оси шарнира или аналогичное верное	2
3	Правильно вычислена длина балки	2
4	Верно записано условие максимальности массы m_2	1
5	Верно записано правило моментов относительно оси шарнира для второго случая или аналогичное верное	2
6	Правильно вычислена максимальная масса второго груза	2

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

3. Поршень на пружине (Евсеев А.)

Два открытых цилиндрических сосуда с площадями сечений S и $2S$ соединены в нижней части тонкой трубкой. Сосуды частично заполнены несжимаемой жидкостью с плотностью ρ . Жидкости накрыты тонкими массивными поршнями массой m . Поршень в узком сосуде соединен со дном пружиной жесткостью k . При этом поршни находятся на одном уровне.



1. Сжата или растянута пружина?
2. Какова деформация пружины?
3. На поршень широкого сосуда кладут груз массой $2m$. На сколько он опустится относительно первоначального положения?

Возможное решение

Пусть в начале деформация пружины Δx . Условие равенства давлений на уровне поршней:

$$\frac{mg + k\Delta x}{S} = \frac{mg}{2S}$$

Откуда:

$$\Delta x = -\frac{mg}{2k}$$

Знак минус говорит о том, что пружина сжата.

Пусть после размещения груза на широком поршне, поршень опускается на Δh . Тогда, в связи с несжимаемостью жидкости, узкий поршень должен подняться на $2\Delta h$. Для давления под широким поршнем имеем:

$$\frac{3mg}{2S} = \frac{mg + k(\Delta x + 2\Delta h)}{S} + 3\rho g\Delta h$$

Тогда:

$$\Delta h = \frac{mg}{2k + 3\rho gS}$$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Верно записан закон о сообщающихся сосудах для начальной ситуации. Уровень, на котором он записан, значения не имеет	3
2	Указано, что пружина сжата	1
3	Найден модуль деформации пружины $\frac{mg}{2k}$	1
4	Верно определено отношение смещений поршней через свойство несжимаемости жидкости	1
5	Верно записан закон о сообщающихся сосудах для ситуации с грузом на широком поршне. Уровень, на котором он записан, значения не имеет	3
6	Получен верный ответ для Δh	1

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

4. Завернули (Зотова А.)

Медную ленту длиной L , шириной $10^{-2} \cdot L$ и толщиной $10^{-4} \cdot L$ подключают за концы к источнику постоянного тока I_1 . Сопротивление между концами ленты – R . В результате лента нагрелась от комнатной температуры T_0 до температуры T за время t .

- 1) Определите КПД такого нагревателя, если удельная теплоемкость меди – c , а плотность – ρ .

Спустя достаточно большое время лента нагрелась до установившейся температуры T_1 . Затем ленту отключили от источника и свернули в плотный цилиндрический рулон.

- 2) Какой ток I_2 необходимо пропускать через ленту в свернутом состоянии, чтобы её установившаяся температура стала T_1 ?

Лента по всей площади покрыта очень тонким слоем изолятора, что позволяет безопасно подключить источник тока к концам ленты даже в свернутом состоянии. Изоляция не влияет на теплоемкость и плотность материала.

Мощность тепловых потерь пропорциональна площади поверхности тела и разности температур. Комнатная температура не менялась в процессе манипуляций с лентой.

Возможное решение

Первый вопрос

1.1 Мощность электрического тока: $I_1^2 \cdot R = P_{\text{нагрев}}$

1.2 Работа, совершенная током: $P_{\text{нагрев}} \cdot t = Q_{\text{затраченное}}$

1.3 На нагрев стержня необходимо количество теплоты $Q = c \cdot m \cdot (T - T_0) = c \cdot \rho \cdot 10^{-6}L^3 \cdot (T - T_0)$

1.4 КПД $\eta = \frac{Q}{Q_{\text{затраченное}}} = \frac{10^{-6}c\rho L^3(T-T_0)}{I_1^2 R t}$

Второй вопрос

2.1 Мощность тепловых потерь пропорциональна разности температур и площади, поэтому её можно записать следующим образом $P_{\text{потерь}} = \alpha \cdot (T_1 - T_0) \cdot S$.

2.2 Если температура установилась, то $P_{\text{нагрев}} = P_{\text{потерь}}$

2.3 Для первого случая: $I_1^2 R = \alpha(T_1 - T_0)S_1$

Для второго: $I_2^2 R = \alpha(T_1 - T_0)S_2$

2.4 Отсюда: $I_2 = I_1 \sqrt{S_2/S_1}$

2.5 Площадь поверхности в первом случае:

$$S_1 = 2 \cdot (10^{-2}L^2 + 10^{-4}L^2 + 10^{-6}L^2) \approx 2 \cdot 10^{-2}L^2$$

2.6 При сворачивании ленты в цилиндр сохраняется объем материала, отсюда можно найти радиус цилиндра $\pi r^2 \cdot 10^{-2}L = 10^{-4}L \cdot L \cdot 10^{-2}L$, поэтому $r = 10^{-2}L/\sqrt{\pi}$

2.7 Площадь поверхности цилиндра $S_2 = 2\pi r \cdot 10^{-2}L + 2\pi r^2 = 2 \cdot 10^{-4}L^2(1 + \sqrt{\pi})$

2.8 Ответ: $I_2 = 0,1I_1\sqrt{1 + \sqrt{\pi}}$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	В решении используется формула для мощности (или количества теплоты) электрического тока	1
2	Количество теплоты, необходимое на нагрев ленты	1
3	Вычислен КПД	1
4	Записано условия установившейся температуры	1

5	Связь электрической мощности и мощности тепловых потерь для первого случая	1
6	Получена связь силы тока I_2 с площадью поверхности	1
7	Площадь поверхности в первом случае	1
8	Вычислен радиус цилиндра	1
9	Площадь поверхности цилиндра	1
10	Найдена сила тока I_2	1

Примечание для жюри

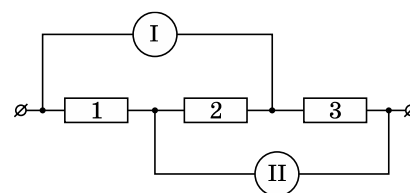
Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

5. Полиморфизм (Сеитов А.)

На схему, показанную на рисунке, подано напряжение $U_0 = 24$ В. Сопротивления одинаковых резисторов 1, 2 и 3 $R = 120$ Ом у каждого. Приборы I и II идеальные.

Определите показания приборов, если:

- 1) оба прибора вольтметры;
- 2) оба прибора амперметры;
- 3) один из приборов вольтметр, а другой – амперметр.



Возможное решение

1) Через идеальные вольтметры ток не течёт, в схеме три резистора, которые соединены последовательно. Тогда ток в цепи:

$$I = \frac{U_0}{3R}.$$

Каждый из вольтметров подключен к участку с двумя резисторами, соединёнными последовательно. Тогда показания вольтметров одинаковые и равны:

$$U_I = U_{II} = I \cdot 2R = \frac{2}{3} U_0 = 16 \text{ В}.$$

2) Сопротивления идеальных амперметров равно нулю. Заменяем амперметры перемычками и преобразуем схему. Получим параллельное соединение трёх резисторов. Тогда ток в каждом резисторе:

$$I = \frac{U_0}{R}.$$

Вернёмся к исходной схеме и расставим в ней токи, текущие через резисторы. Токи через амперметры одинаковые и равны удвоенному току в одном резисторе:

$$I_I = I_{II} = 2I = \frac{2U_0}{R} = 0,4 \text{ А}.$$

3) Рассмотрим первый случай: первый прибор – амперметр, второй – вольтметр. Т.к. амперметр идеальный, ток через первый и второй резистор не течёт и сопротивление цепи равно сопротивлению третьего резистора. Тогда ток в нём, он же и ток в амперметре, равен:

$$I_A = \frac{U_0}{R} = 0,2 \text{ А}.$$

Показание вольтметра :

$$U_V = I_A \cdot R_3 = U_0 = 24 \text{ В}.$$

Второй случай (первый прибор – вольтметр, второй – амперметр) аналогично приводит к тем же ответам.

Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап. 01.12.2025 г.
9 класс

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Найдена сила тока в первом случае	1
2	Найдены показания вольтметров в первом случае	2
3	Найдена сила тока во втором случае	2
4	Найдены показания амперметров во втором случае	2
5	Найдены показания амперметра в третьем случае	1
6	Найдены показания вольтметра в третьем случае	1
7	Указано, что при изменении мест подключения приборов, их показания не изменятся	1

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.