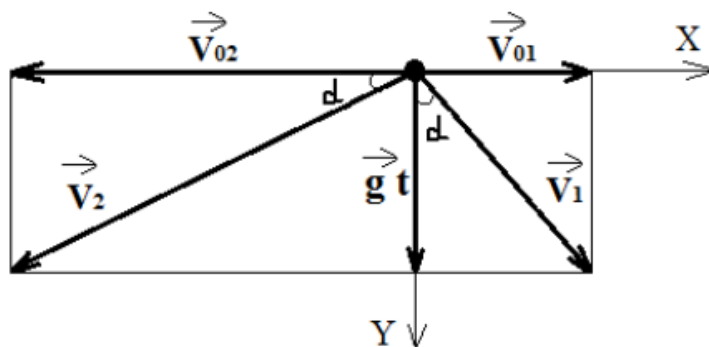


Всероссийская олимпиада школьников по физике 2025-2026 года.
Муниципальный этап. 10 класс.
Время выполнения 230 минут. Каждая задача оценивается в 10 баллов.
Поясняйте свой ответ. Желаем успехов!

Задача 1. Из одной точки горизонтально в противоположных направлениях одновременно вылетают две частицы с начальными скоростями $v_{01} = 1$ м/с и $v_{02} = 3$ м/с. Через какое время угол между скоростями частиц станет равным 90° ? Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с². (10 баллов)

Решение.

Введем систему координат в плоскости движения частиц. Её начало поместим в точку вылета, ось Y направим вниз, а ось X направим горизонтально вдоль вектора скорости первой частицы.



Тогда через время t проекции вектора скорости первой частицы на оси координат будут равны: $v_{1x} = v_{01}$; $v_{1y} = gt$.

Проекции вектора скорости второй частицы на оси координат будут равны:

$$v_{2x} = -v_{02}, \quad v_{2y} = gt.$$

Используем понятие скалярного произведения двух векторов. Т.к. угол $\alpha = 90^\circ$, то с одной стороны имеем, что:

$$(\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2) = v_1 v_2 \cos \alpha = 0$$

а с другой стороны имеем:

$$(\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2) = v_{1x} v_{2x} + v_{1y} v_{2y} = -v_{01} v_{02} + g^2 t^2.$$

Решая совместно эти два уравнения, получим что

$$t = \frac{\sqrt{v_{01} v_{02}}}{g} = \frac{\sqrt{3}}{10} \approx 0,17 \text{ с.}$$

№	Критерии	Баллы
1	Введена система координат и найдены проекции векторов скорости через время t на оси координат	3
2	Записано скалярное произведение векторов скорости через их проекции на оси координат	2
3	Указано, что скалярное произведение равно 0 и составлено уравнение	2
4	Получено выражение для времени	2
5	Дан правильный ответ	1

Ответ: 0,17 с.

Задача 2. Экспериментатор Глюк от скуки задумал опыт со снегом. Он набрал на улице мокрый снег массой $m_c = 200$ г, который содержал 40% воды (по массе) и поместил его в калориметр. Впустил в калориметр водяной пар массой $m_n = 60$ г при температуре 100°C . Какова у Глюка будет температура t_k содержимого калориметра после того, как в нём

установится тепловое равновесие? Удельная теплота парообразования воды $L = 2,3 \text{ МДж/кг}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 0,33 \text{ МДж/кг}$, удельная теплоёмкость воды $c = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$. (10 баллов)

Решение.

Особенностью этой задачи является неопределённость конечного состояния. Ведь в зависимости от числовых значений данных задачи при установлении теплового равновесия в калориметре может оказаться:

- а) мокрый снег с увеличенным по сравнению с начальным содержанием воды (в таком случае $t_k = 0^\circ\text{C}$);
- б) водяной пар и кипяток (в таком случае $t_k = 100^\circ\text{C}$);
- в) только вода при температуре $0^\circ\text{C} \leq t_k \leq 100^\circ\text{C}$;
- г) в конце водяной пар и кипяток.

Количество теплоты, выделившееся при конденсации водяного пара:

$$Q_k = Lm_{\text{п}} = 138 \text{ кДж.}$$

Количество теплоты, необходимое для плавления снега (в калориметре будет только вода при 0°C):

$$Q_c = \lambda \cdot 0,6m_c = 39,6 \text{ кДж.}$$

Количество теплоты, необходимое для нагрева всей воды до 100°C :

$$Q_n = cm_c (t_k - t_n) = 84 \text{ кДж.}$$

Так как $Q_c + Q_n < Q_k$, то только часть энергии, выделившейся при конденсации водяного пара, ушла на получение стоградусной воды из мокрого снега. Поэтому весь пар не сконденсировался и реализуется случай б) $t_k = 100^\circ\text{C}$.

№	Критерии	Баллы
1	Рассмотрены все варианты конечного состояния	по 0,5
2	Найдено количество теплоты, выделившееся при конденсации водяного пара	2
3	Найдено количество теплоты, необходимое для плавления снега	2
4	Найдено количество теплоты, необходимое для нагрева всей воды до 100°C	2
5	Сделан правильный вывод	2

Ответ: 100°C .

Задача 3. На гладком горизонтальном столе лежит однородный пластилиновый куб массой 200 г. Его пробивает стальной шарик, летевший до удара в горизонтальном направлении со скоростью 100 м/с. При этом его масса увеличивается вдвое, от 20 г до 40 г, за счёт налипшего вещества куба. Скорость шарика «на выходе» горизонтальна и составляет 20 м/с. Найдите количество теплоты, выделившееся при взаимодействии шарика и куба. (10 баллов)

Решение.

Пусть m - масса начальная шарика, $2m$ - масса «на выходе», M - начальная масса кубика, $M-m$ «конечная» масса кубика, v - начальная скорость шарика, u - конечная скорость шарика, V - начальная скорость кубика, U - скорость кубика в конечный момент, Q -выделившееся количество теплоты.

Начальный импульс нашей системы будет равен mv , поскольку куб покоится и движется только шарик.

Конечный импульс системы тогда: $2mu + (M-m)V$.

Начальная энергия системы - $mv^2/2$, а конечная энергия системы - $2mu^2/2 + (M-m)V^2/2 + Q$

Запишем законы сохранения импульса и энергии:

$$\begin{cases} mv = 2mu + (M - m)V, \\ \frac{mv^2}{2} = \frac{2mu^2}{2} + \frac{(M-m)V^2}{2} + Q, \end{cases}$$

Решая систему уравнений получаем:

$$Q = \frac{mv^2}{2} - mu^2 - \frac{m^2(v-2u)^2}{2(M-m)} = 88 \text{ Дж.}$$

№	Критерии	Баллы
1	Записан начальный импульс системы	1
2	Записан конечный импульс системы	2
3	Записана начальная энергия	1
4	Записана конечная энергия системы	2
5	Записана система уравнений	2
6	Найдено количество теплоты	2

Ответ: 88 Дж.

Задача 4. На плоском столе находится прозрачная полусфера радиуса $R = 10$ см с показателем преломления $n = \sqrt{2}$. На неё вдоль поверхности стола на высоте $h = R/\sqrt{2}$ падает световой луч (рис. 1). Определите, на каком расстоянии s от поверхности полусферы луч попадёт на стол. Показатель преломления воздуха, окружающего полусферу, примите равным единице. (10 баллов)

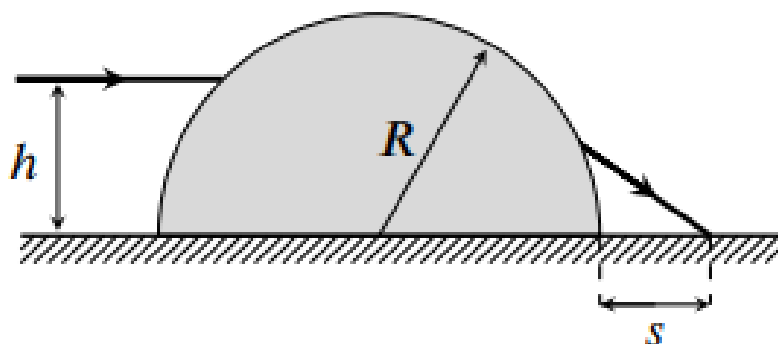


Рис.1

Решение.

Построим ход луча в полусфере (см. рис.2).

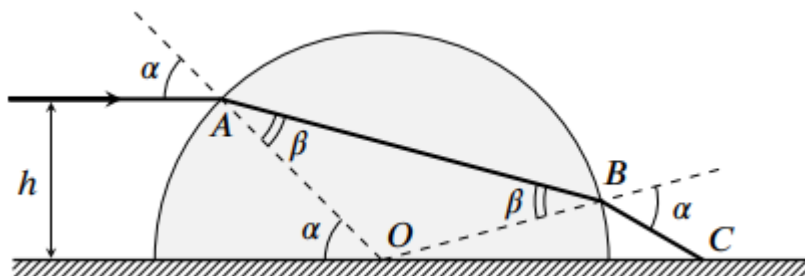


Рис.2

Так как $h = R/\sqrt{2}$, угол падения в точке A равен $\alpha = 45^\circ$, то из закона Снеллиуса найдём угол преломления β :

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{1}{2} \Rightarrow \beta = 30^\circ.$$

Поскольку треугольник ΔAOB является равнобедренным ($AO = BO = R$), поэтому $\angle OBA = \angle OAB = \beta = 30^\circ$. Тогда угол, под которым луч выходит из полусферы, будет равен $\alpha = 45^\circ$.

Рассмотрим теперь $\triangle BOC$ и найдём его углы:

$$\angle OBC = 180^\circ - \alpha = 135^\circ, \quad \angle BOC = 2\beta - \alpha = 15^\circ, \quad \angle BCO = \alpha - \angle BOC = 30^\circ.$$

Воспользуемся для этого треугольника теоремой синусов, учитывая, что $OC = R + s$:

$$\frac{R+s}{\sin 135^\circ} = \frac{R}{\sin 30^\circ} \Rightarrow s = R(\sqrt{2} - 1) \approx 4,1 \text{ см.}$$

№	Критерии	Баллы
1	Записано, что угол падения луча на полусферу равен 45°	0,5
2	Найдено, что угол преломления луча в полусфере равен 30°	0,5
3	Найдено, что $\angle OBA = \angle OAB$	1
4	Найдены правильные значения углов $\triangle BOC$	1
5	Правильно записано уравнение (или система уравнений), необходимое для нахождения s	3
6	Найдено, что $s = R(\sqrt{2} - 1)$	3
7	Найдено, что $s \approx 4,1 \text{ см}$	1

Ответ: 4,1 см.

Задача 5. Псевдоэксперимент

Экспериментатор Глюк в своей баллистической лаборатории решил повторить опыты Галилео Галилея и экспериментально исследовать зависимость ускорения тележки от времени и описать прямолинейное движение этого тела. Результаты его измерений для последовательных моментов времени представлены в таблице. Погрешность измерения ускорения у него составила $0,4 \text{ м/с}^2$, а времени – $0,2 \text{ с}$. Проекция начальной скорости тела была равна 2 м/с .

$a_x,$ м/с^2	4,5	2,5	2,0	- 1,0	- 3,0	- 6,0
t, с	0,50	2,25	3,75	4,50	6,50	8,75

Считать, что на всех временных промежутках, рассматриваемых в задаче, закон изменения ускорения одинаков.

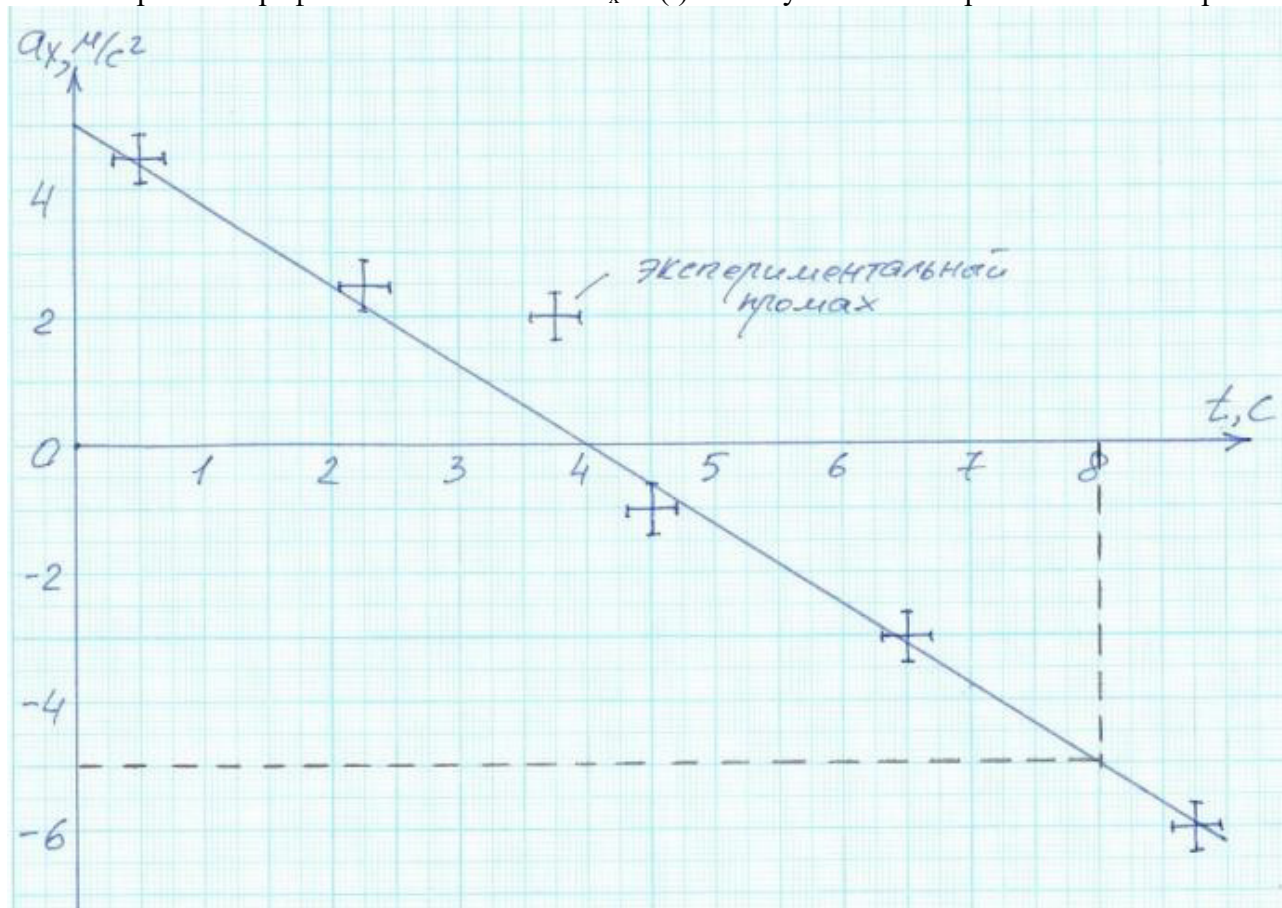
- 1) Постройте график зависимости $a_x(t)$ с учётом погрешности измерений.
- 2) Найдите чему равна проекция ускорения тела в момент времени 8 с?
- 3) Определите максимальную скорость движения на промежутке времени от 0 до 12 с.

Оборудование: лист миллиметровой бумаги формата А5.

Примечание: решение без графика $a_x(t)$ оценивается в 0 баллов.
(10 баллов)

Решение.

1. Построим график зависимости $a_x(t)$ с учётом погрешности измерений.



2) Из графика получаем, что в момент времени $t=8$ сек проекция ускорения будет равна:
 $a_x = -5 \text{ м/с}^2$.

3) Изменение скорости за определённый промежуток времени находим как площадь фигуры под графиком $a_x(t)$ с учётом знака.

4) Максимальная скорость в момент времени 12 с равна 28 м/с.

№	Критерии	Баллы
1	Построен график зависимости $a_x(t)$ с учетом погрешностей	3
2	Получено значение проекции ускорения на 8 сек. (Ответ оценивается полным баллом, если найденная проекция ускорения соответствует диапазону $[-5,5; -4,5] \text{ м/с}^2$).	2
3	Изменение скорости как площадь фигуры под графиком $a_x(t)$ с учётом знака.	2
4	Найдена максимальная скорость (Ответ оценивается полным баллом, если найденная скорость соответствует диапазону $[25; 31] \text{ м/с}$.)	3

Перечисленные ниже критерии касаются не существа графика, а его оформления. При этом если график является неверным по существу, график не оценивается.

№	Критерии	Баллы	Пояснения
1	Размер графика	0,5	График должен занимать не менее 70–80 % от предложенного формата миллиметровой бумаги
2	Расположение и ориентация осей графика	0,5	По оси абсцисс откладывается независимая величина, по оси ординат – зависимая
3	Подписывание осей графика	0,5	Около осей должны быть указаны откладываемые величины, единицы их измерения и (при необходимости)

			десятичный множитель
4	Оцифровка осей графика	0,5	Штрихи на осях должны наноситься через равные интервалы и попадать на основные линии миллиметровой бумаги. При оцифровке штрихов следует использовать натуральные числа и числа, кратные 2, 5. Интервал между числами 2–4 см
5	Точки графика	0,5	Должны соответствовать таблице и оставаться видимыми на фоне линии. При необходимости наносятся с учётом погрешности измерения
6	Линия графика	0,5	Плавная кривая. На графиках должны быть проведены «усредняющие» линии. Вместо «усредняющих» линий не допускается проведение ломаных, последовательно соединяющих экспериментальные точки. Линейный участок графика должен строиться по линейке