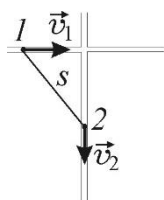


**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**  
**Олимпиада «Ломоносов 2021/2022» по физике**  
**Заключительный этап для 10-х – 11-х классов**

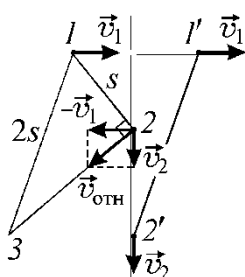
**Вариант 1 (решения)**



**1.2.1. Задача.** По двум прямым дорогам, перпендикулярным друг другу, едут с постоянными скоростями два автомобиля. В некоторый момент времени расстояние между автомобилями стало минимальным и равным  $s = 100$  м, а через  $\tau = 10$  с удвоилось. Найдите скорость  $v_1$  первого автомобиля, если скорость второго автомобиля  $v_2 = 36$  км/ч. Ответ приведите в км/ч.

**Вопросы.** Дайте определение скорости. Сформулируйте закон сложения скоростей.

**1.2.1. Решение.** На рисунке изображено положение автомобилей в момент времени, когда



расстояние между ними минимально и равно  $s$  (точки 1 и 2), а также в момент, когда расстояние между ними равно  $2s$  (точки 1' и 2'). По закону сложения скоростей относительная скорость автомобилей  $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ , а ее модуль  $v_{\text{отн}} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$ . В момент, когда расстояние между автомобилями минимально, вектор их относительной скорости  $\vec{v}_{\text{отн}}$  перпендикулярен отрезку прямой, соединяющей автомобили (отрезку 1-2 на рисунке). Модуль относительного перемещения

автомобилей за время  $\tau$  (длина отрезка 2-3) равен  $v_{\text{отн}} \tau = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \cdot \tau$ . По теореме Пифагора расстояние между автомобилями (длина отрезка 1-3), равное по условию  $2s$ , удовлетворяет

соотношению  $(2s)^2 = s^2 + (v_1^2 + v_2^2) \cdot \tau^2$ . Отсюда  $v_1 = \sqrt{\frac{3s^2}{\tau^2} - v_2^2}$ . **Ответ:**

$$v_1 = \sqrt{\frac{3s^2}{\tau^2} - v_2^2} \approx 14,1 \text{ м/с} \approx 50,9 \text{ км/ч}.$$

**2.8.1. Задача.** В прочном сосуде объемом  $V = 0,1 \text{ м}^3$  находится смесь из  $\nu_1 = 0,05$  моль водорода и  $\nu_2 = 1$  моль сухого воздуха. Найдите относительную влажность  $f$  воздуха в сосуде после сгорания водорода и охлаждения содержимого сосуда до температуры  $t = 20^\circ\text{C}$ . Давление насыщенного водяного пара при этой температуре  $p_n = 2330 \text{ Па}$ . Массовая доля кислорода в воздухе составляет примерно 23%. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$ .

**Вопросы.** Какие виды парообразования вы знаете? Дайте определение удельной теплоты парообразования.

**2.8.1. Решение.** Уравнение реакции горения водорода в кислороде имеет вид:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ . Отсюда следует, что количество молей сгоревшего водорода равно количеству молей образовавшегося водяного пара и вдвое превышает количество молей требующегося для горения кислорода. Поскольку  $0,23\nu_2 > \frac{\nu_1}{2}$ , имеющегося в сосуде воздуха с избытком хватит для полного сгорания водорода. Следовательно, в воздухе образуется  $\nu_1$  молей водяного пара. Используя уравнение Менделеева–Клапейрона, находим парциальное давление водяного пара:  $p = \frac{\nu_1 RT}{V}$ , где  $T = t + 273^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$ .

Относительная влажность воздуха  $f = \frac{p}{p_n} = \frac{\nu_1 RT}{p_n V} \approx 0,52$ .

**Ответ.**  $f = \frac{\nu_1 RT}{p_n V} \approx 0,52$  или 52%.

**3.8.2. Задача.** Маленький шарик массой  $m = 10$  г, несущий заряд  $q = 10^{-6}$  Кл, надет на гладкую непроводящую спицу, расположенную горизонтально. С помощью легкой непроводящей пружины шарик связан с неподвижной опорой. На одном горизонтальном уровне с этим шариком и в той же вертикальной плоскости закреплен второй маленький шарик, несущий заряд  $-q$  (см. рисунок). В положении равновесия расстояние между шариками равно  $L = 50$  см. Когда подвижный шарик сместили от положения равновесия на малое расстояние и отпустили, он стал совершать гармонические колебания с частотой  $f = 1,47$  Гц. Найдите жесткость пружины  $k$ . Электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

*Указание.* При расчетах воспользуйтесь приближенной формулой  $(1+x)^\alpha \approx 1+\alpha x$ , справедливой при  $\alpha x \ll 1$ .

**Вопросы.** Дайте определение напряжённости электрического поля. Сформулируйте принцип суперпозиции электрических полей.

**3.8.2. Решение.** В положении равновесия шарика пружина растянута на величину  $\Delta l$ , которую можно найти, используя закон Гука и закон Кулона, а именно  $k\Delta l = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2}$ .

Совместим начало координат с положением шарика в состоянии равновесия и направим координатную ось  $Ox$  вправо. По второму закону Ньютона имеем:

$m\ddot{x} = -k(x + \Delta l) + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2}$ , где  $x$  – смещение шарика от положения равновесия, а

точками обозначена вторая производная по времени. Учитывая, что  $x \ll L$ , преобразуем

последнее слагаемое следующим образом:  $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{-2} \approx \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} \left(1 + \frac{2x}{L}\right)$ . В итоге

уравнение движения шарика принимает вид:  $\ddot{x} + \left(\frac{k}{m} - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 mL^3}\right)x = 0$ . Следовательно,

шарик совершает гармонические колебания с круговой частотой  $\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 mL^3}}$ .

Отсюда  $k = (2\pi f)^2 m + \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^3}$ .

**Ответ:**  $k = (2\pi f)^2 m + \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^3} \approx 1$  Н/м.

**4.1.1. Задача.** Тонкая собирающая линза плотно вставлена в круглое отверстие в непрозрачной ширме. На расстоянии  $l = 8$  см от линзы расположен экран, перпендикулярный ее главной оптической оси. По другую сторону от линзы в ее главном фокусе находится точечный источник света. При этом на экране наблюдается светлое пятно диаметром  $D = 5$  см. Когда источник переместили в точку, находящуюся на главной оптической оси линзы на удвоенном фокусном расстоянии от линзы, диаметр светлого пятна на экране стал равным  $d = 3$  см. Найдите фокусное расстояние линзы  $F$ .

**Вопросы.** Дайте определения фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы.

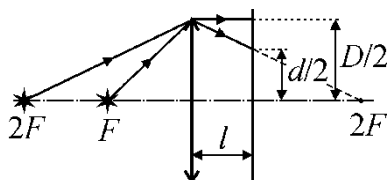
**4.1.1. Решение.** Ход одного из лучей, ограничивающих размер светового пятна на экране, изображен на рисунке при двух положениях источника. Когда источник помещен в фокус линзы, диаметр светлого пятна на экране совпадает с диаметром линзы. Если источник расположен на расстоянии  $a > F$  от линзы, то расстояние  $b$  от линзы до его действительного изображения определяется

по формуле тонкой линзы  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$  и равно  $b = \frac{aF}{a - F}$ . В частности, при  $a = 2F$  имеем

$b = 2F$ . Из подобия треугольников (см. рисунок) следует, что  $\frac{d}{D} = \frac{2F - l}{2F}$ . Отсюда находим

$$F = \frac{Dl}{2(D - d)} = 10 \text{ см.}$$

**Ответ:**  $F = \frac{Dl}{2(D - d)} = 10 \text{ см.}$



## Критерии оценки

### Задачи (каждая задача оценивается максимально в 15 баллов)

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **1 – 5 баллов**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **6 – 10 баллов**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **11-14 баллов**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **15 баллов**.

### Теоретические вопросы (максимальная оценка 10 баллов)

1. Ответ по существу обеих частей вопроса полностью отсутствует – **0 баллов**.
2. Ответ является неполным (дан ответ только на одну часть вопроса) – **1 – 5 балла**.
3. Ответ является неполным (даны формально ответы на обе части вопроса, но отсутствуют или не полностью приведены необходимые пояснения) – **6 – 9 баллов**.
4. Ответ является полным (содержит по обеим частям вопроса необходимые физические понятия и величины с пояснением их смысла) – **10 баллов**.