

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.
2025-26 учебный год. 10 класс. Максимальный балл – 50.**

Задача №1

Для приготовления антисептика готовят водно-спиртовые растворы, для которых требуется точное соблюдение концентрации. Известно, что растворение спирта в воде происходит с выделением тепла.

В первом опыте смешали 94% (по массе) раствор спирта массой 1,02 кг, взятый при температуре $t_1=26^\circ\text{C}$ с водой, при температуре 26°C , получив 75% раствор спирта при температуре 34°C .

Во втором опыте вместо воды в 94%-ый спирт массой 1,02 кг решили добавить лед при температуре -1°C в таком количестве, чтобы опять получить 75% раствор спирта.

Теплоемкость раствора можно считать равной сумме теплоемкостей, входящих в него воды и спирта. Удельные теплоемкости составляющих: $C_{\text{сп}}=2400 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, $C_{\text{в}}=4200 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, $C_{\text{л}}=2100 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, удельная теплота плавления льда $\lambda=334 \text{ кДж/кг}$. Потерями тепла пренебречь.

Вопрос №1: Сколько тепла выделилось при растворении спирта в первом опыте?

Вопрос №2: В каком агрегатном состоянии будет система при установлении теплового равновесия во втором опыте?

Вопрос №3: Найти конечную температуру раствора во втором опыте.

Составитель: Тукова Надежда Борисовна

Возможное решение:

Вопрос №1:

$$\omega_1 = 94\%, \quad \omega_2 = 75\%$$

Определение составляющих растворов.

Исходный раствор: где ω_1 – это % содержания, $m_{\text{р1}}$ – это масса исходного раствора, $m_{\text{в1}}$ – масса воды в исходном растворе

$$m_{\text{сп}} = m_{\text{р1}} \cdot \omega_1 \quad m_{\text{сп}} = 1,02 \text{ кг} \cdot 0,94 = 0,9588 \text{ кг}$$

$$m_{\text{в1}} = m_{\text{р1}} - m_{\text{сп}} \quad m_{\text{в1}} = 0,0612 \text{ кг}$$

Конечный раствор:

$$m_{\text{р2}} = \frac{m_{\text{сп}}}{\omega_2} \quad m_{\text{р2}} = \frac{0,9588 \text{ кг}}{0,75} = 1,2784 \text{ кг}$$

Масса добавленной воды:

$$m_{\text{в2}} = m_{\text{р2}} - m_{\text{р1}} \quad m_{\text{в2}} = 0,2584 \text{ кг}$$

$$\text{Общая масса воды: } m_{\text{в}} = m_{\text{в1}} + m_{\text{в2}} = 0,3196 \text{ кг}$$

Тогда теплота, выделяющаяся при растворении:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{сп}} = m_{\text{сп}} c_{\text{сп}} (t_2 - t_1) + m_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_2 - t_1) = 29,15 \text{ кДж}$$

Вопрос №3:

Для получения 75%-го раствора спирта во втором опыте потребуется взять льда столько же (по массе), сколько воды в первом опыте. Тогда все массы совпадут с массами из первого опыта. Предположим, что весь лед растает, тогда энергия, выделяющаяся при смешивании воды и спирта, пойдет на нагрев спирта, нагрев льда, плавление льда и нагрев воды.

$$Q_{\text{р}} = c_{\text{л}} \cdot m_{\text{л}} (0 - t_{\text{л}}) + m_{\text{л}} \cdot \lambda_{\text{л}} + c_{\text{в}} \cdot m_{\text{л}} (\theta - 0) + c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в1}} (\theta - t_1) + c_{\text{сп}} \cdot m_{\text{сп}} (\theta - t_1), \text{ где}$$

$$m_{\text{л}} = m_{\text{в2}}.$$

$$\theta = \frac{Q_{\text{р}} + c_{\text{л}} m_{\text{л}} t_{\text{л}} - m_{\text{л}} \cdot \lambda_{\text{л}} + c_{\text{в}} m_{\text{в1}} t_1 + c_{\text{сп}} m_{\text{сп}} t_1}{c_{\text{в}} \cdot m_{\text{л}} + c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в1}} + c_{\text{сп}} \cdot m_{\text{сп}}} = 2,4^\circ\text{C}$$

Вопрос №2:

$\theta > 0$ значит система находится в жидком состоянии (весь лед растаял).

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
Вопрос №1		
1	Найдены компоненты начального раствора	0,5+0,5
2	Найдены компоненты конечного раствора	0,5+0,5
3	Выражено и рассчитано количество теплоты, выделяющееся при растворении	2
Вопрос №3		
4	Указано, что масса добавляемого льда, должна быть равна массе добавленной в первом опыте воды	1
5	Указано, что во втором опыте при растворении спирта выделится столько же тепла, что и в первом.	1
6	Верно записано уравнение теплового баланса для системы со льдом	2
7	Выражена и рассчитана, установившаяся температура в системе со льдом	1
Вопрос №2		
8	Верно определено и обосновано состояние системы	1

Задача №2

В логистическом центре при сортировке посылок их перемещают по шероховатому полу. В этой задаче рассмотри одну посылку массой 8 кг. Коэффициент трения посылки о пол $\mu=0,4$. На посылку действуют с горизонтальной силой, изменяющейся по закону, представленному на графике (рис.1).

Вопрос №1: Чему равна скорость посылки в момент времени равный 4с?

Вопрос №2: Определить скорость движения посылки в момент времени 10с.

Вопрос №3: На какое расстояние переместится посылка за время с 10 с по 13 с

Вопрос №4: С какой минимальной силой необходимо действовать на посылку, чтобы ее ускорение равнялось ускорению на втором участке? Сила может быть направлена под углом к горизонту. Считайте $g = 9,8 \frac{м}{с^2}$.

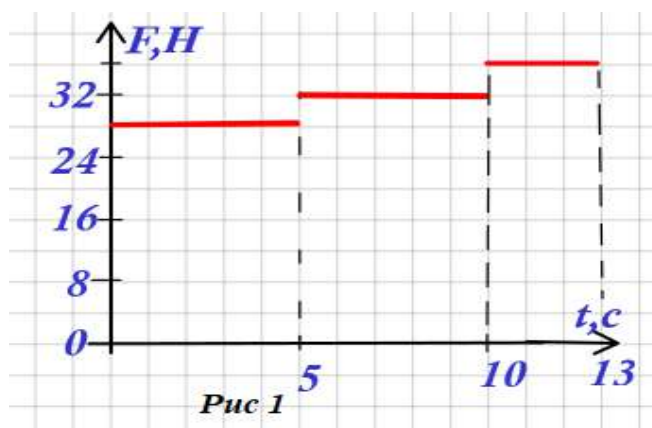


Рис 1

Составитель : Тукова Надежда Борисовна

Возможное решение.**Вопрос №1:**

Найдем максимальную силу трения покоя

$$F_{\text{max тр пок}} = \mu Mg = 31,36 \text{ Н}$$

Из графика: первые $t_5 = 5$ с на посылку действует сила $F=28\text{Н}$, поэтому посылка неподвижна $v_1 = 0 \frac{м}{с}$, так как $F < F_{\text{max тр пок}}$

Вопрос №2:

Посылка начинает движение, когда $F > 31,36 \text{ Н}$. Из графика $F_2 = 32\text{Н}$

Тогда в проекции на горизонтальную ось: $F - F_{\text{тр}} = Ma_2$, откуда $a_2 = \frac{F - F_{\text{тр}}}{M} = 0,08 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$$v_{10} = a_2 t_2 = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

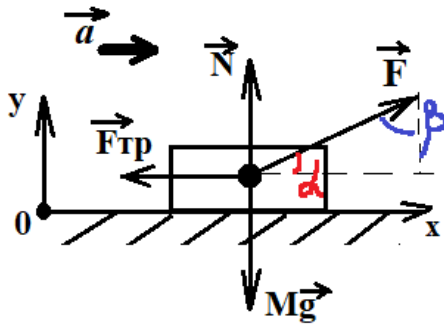
Вопрос №3:

a_3 определяем аналогично a_2

$$a_3 = 0,58 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$S_3 = v_{10} \cdot t_3 + \frac{a_3 t_3^2}{2} = 3,81 \text{ м}$$

Вопрос №4:



Для нахождения $F_{\min}$

$$x: Ma = F \cdot \cos \alpha - F_{\text{тр}}$$

$$y: 0 = F \cdot \sin \alpha + N - Mg$$

Тогда

$$F_{\text{тр}} = (Mg - F \cdot \sin \alpha) \cdot \mu$$

$$F = M \frac{a + \mu g}{\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha}$$

$F_{\min}$, если $\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha = \max$

Обозначим $\text{ctg} \beta = \mu$,

$$\text{тогда, } \sin \beta = \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}, \quad \cos \beta = \frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}$$

$$\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha = \left(\frac{\cos \alpha}{\sqrt{1+\mu^2}} + \frac{\mu \cdot \sin \alpha}{\sqrt{1+\mu^2}} \right) \cdot \sqrt{1+\mu^2} = \sqrt{1+\mu^2} (\sin \beta \cdot \cos \alpha + \cos \beta \cdot \sin \alpha) = \sqrt{1+\mu^2} \cdot \sin(\alpha + \beta)$$

$$\sin(\alpha + \beta) = 1 - \text{условие максимума } F_{\min} = M \frac{a + \mu g}{\sqrt{1+\mu^2}}$$

$$F_{\min} = 29,7 \text{ Н}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \text{arcctg} \mu$$

$$\alpha = 21,8^\circ$$

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
Вопрос №1		
1	Определена максимальная сила сухого трения скольжения 31,36 Н	1
2	Определена скорость в момент времени 5 с. $v_5 = 0 \text{ м/с}$	1
Вопрос №2		
3	Записано условие начала движения тела	1
4	Выражена и рассчитана скорость в конце 10-й секунды $v_{10} = a_2 t_2 = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	0,5+0,5
Вопрос №3		
5	Определено ускорение и рассчитано перемещение в интервале от 10 до 13 секунды	1+1
Вопрос №4		
6	Выведена зависимость силы от угла	1
7	Проведен анализ зависимости силы от угла	2
8	Верно вычислены значения минимальной силы и угла $F_{\min} = 29,7 \text{ Н}$ $\alpha = 21,8^\circ$	0,5+0,5

Задача №3

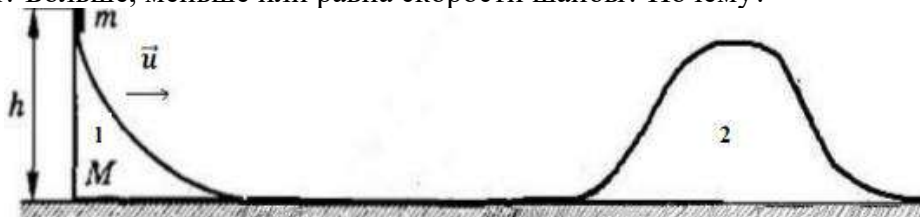
«Горка №1» массой M вместе с находящейся на её вершине шайбой массой $m = M/4$ двигалась с неизвестной скоростью $\vec{u}$ вдоль горизонтальной поверхности. В некоторый момент шайбу отпустили, и она соскользнула вниз с высоты h , в результате чего «горка №1» остановилась. На пути шайбы оказалась «горка №2» такой же высоты, которая не закреплена. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Трение отсутствует.

Вопрос №1. Определите скорость шайбы в конце «горки №1».

Вопрос №2. Определите начальную скорость «горки №1» с шайбой.

Вопрос №3. Определите, при какой массе «горки №2» шайба сможет её переехать.

Вопрос №4. Если с «горки №1» вместо шайбы скатить шарик, который будет катиться по горке без проскальзывания, то, какой будет его скорость внизу «горки №1» относительно скорости шайбы? Больше, меньше или равна скорости шайбы? Почему?



Возможное решение.

Вопрос №1, 2:

ЗСИ для системы «шайба-гора-1» вдоль горизонтальной поверхности

$$(m + M)u = mv$$

Откуда скорость шайбы:

$$v = \frac{(m + M)u}{m} = \frac{\left(\frac{1}{4}M + M\right)u}{\frac{1}{4}M} = 5u$$

ЗСЭ для шайбы при спуске с «горки №1»

$$\frac{(m + M)u^2}{2} + mgh = \frac{mv^2}{2}$$
$$\left(\frac{1}{4}M + M\right)u^2 + \frac{2}{4}Mgh = \frac{1}{4}M(5u)^2$$

Выполнив математические преобразования, получаем:

$$u^2 = \frac{gh}{10}$$

Следовательно скорость «горки №1»:

$$u = \sqrt{\frac{gh}{10}}$$

Получаем скорость шайбы внизу «горки №1»

$$v = 5\sqrt{\frac{gh}{10}} = \sqrt{\frac{25gh}{10}} = \sqrt{\frac{5gh}{2}}$$

Вопрос №3:

Рассмотрим предельный случай, когда шайба, оказавшись на вершине «горки №2» останавливается относительно нее. ЗСИ для системы «шайба – горка №2» вдоль горизонтальной поверхности:

$$mv = (m + M_1)u_1,$$

где M_1 – масса «горки №2», u_1 – скорость «горки №2».

Выразим скорость «горки №2»:

$$u_1 = \frac{mv}{m + M_1}$$

ЗСЭ для системы «шайба – горка №2» при подъёме шайбы на «горку №2»:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh + \frac{(m + M_1)u_1^2}{2}$$

$$mv^2 = 2mgh + (m + M_1) \cdot \frac{m^2 v^2}{(m + M_1)^2}$$

Выполнив математические преобразования, получаем:

$$\frac{mv^2}{(m + M_1)} = v^2 - 2gh$$

$$\frac{m}{(m + M_1)} \cdot \frac{5}{2} gh = \frac{5}{2} gh - 2gh = \frac{1}{2} gh$$

Откуда:

$$5m = m + M_1$$

$$M_1 = 4m = 4 \cdot \frac{1}{4} M = M$$

Вопрос 4:

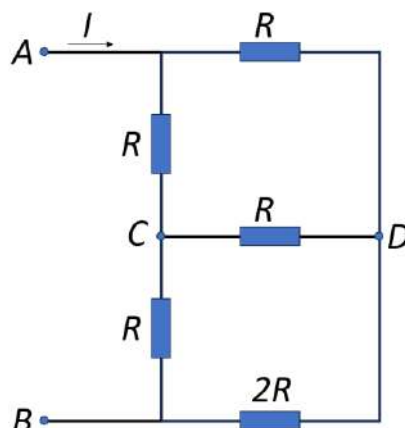
При замене шайбы на шарик, который скатывается с «горки №1» без проскальзывания, получаем, что начальная кинетическая энергия поступательного движения «горки №1» и шарика + потенциальная энергия шарика превращаются в кинетическую энергию поступательного движения шарика + кинетическую энергию вращательного движения + (возможно) кинетическую энергию горки. Следовательно, в конце спуска с «горки №1» шарик будет обладать меньшей скоростью, чем шайба.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
Вопросы №1, 2		
1	Записан закон сохранения импульса для системы «шайба – горка №1»	1,5
2	Записан закон сохранения энергии для шайбы при спуске с «горки №1»	1,5
3	Определены скорости шайбы и «горки №1»: $u = \sqrt{\frac{gh}{10}}; v = \sqrt{\frac{5gh}{2}}.$	1+1
Вопрос №3		
4	Записан закон сохранения импульса для системы «шайба – горка №2»	1
5	Записан закон сохранения для шайбы при подъёме на «горку №2»	1
6	Выполнены необходимые преобразования и определена масса «горки №2»: $M_1 = M$	1
Вопрос №4		
7	Указано, что при скатывании шарика у него появляется кинетическая энергия вращательного движения	0,5
8	Учтено, что конечная скорость горки в этом случае может быть не нулевой	0,5
9	Сделан вывод, что шарик будет иметь меньшую скорость, чем шайба.	1

Задача №4.

Электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке, собрали из пяти резисторов и подключили к внешней цепи. Известно, что $R = 0,1 \text{ кОм}$, сила тока во внешней цепи $I = 2 \text{ А}$.



Вопрос №1: определите напряжение между точками А и В.

Вопрос №2: определите ток I_{CD} , протекающий по ветке CD, и его направление.

Автор: Чукавин Андрей Игоревич

Возможное решение.

Вопрос №1:

Способ 1.

Найдем $R_{об}$ общее сопротивление участка цепи. Произведем эквивалентное преобразование схемы (замена «треугольника» на «звезду», см. Рис. 2).

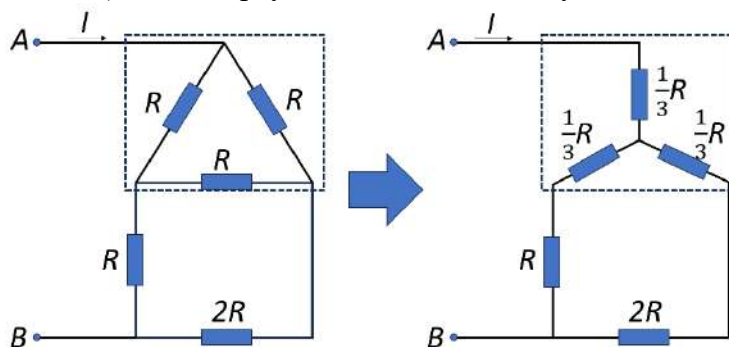


Рисунок 2.

$$R_{об} = \frac{\frac{4}{3}R \cdot \frac{7}{3}R}{\frac{4}{3}R + \frac{7}{3}R} + \frac{1}{3}R = \frac{28}{33}R + \frac{1}{3}R = \frac{13}{11}R$$

Отсюда легко найти напряжение между точками А и В: $U_{AB} = I \cdot R_{об} = I \cdot \frac{13}{11}R \approx 236 \text{ В}$

Способ 2.

Используем правила Кирхгофа. Выбор направлений токов и положительных обходов контуров указан на Рис.3.

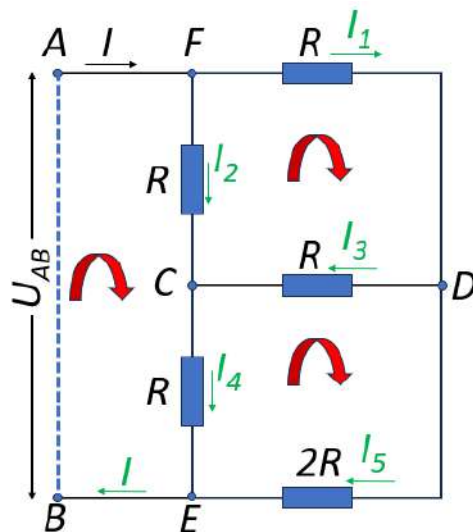


Рисунок 3.

По первому правилу для узлов C, D и E:

$$I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

$$I_1 - I_3 - I_5 = 0$$

$$I_4 + I_5 - I = 0$$

По второму правилу для контуров CFDC и ECDE:

$$-I_2 \cdot R + I_3 \cdot R + I_1 \cdot R = 0 \Rightarrow -I_2 + I_3 + I_1 = 0$$

$$I_5 \cdot 2R - I_3 \cdot R - I_4 \cdot R = 0 \Rightarrow 2I_5 - I_3 - I_4 = 0$$

Вышло 5 уравнений на 5 неизвестных токов, решая их как систему, получим:

$$I_1 = \frac{10}{11} \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{12}{11} \text{ A}$$

$$I_3 = -\frac{2}{11} \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{14}{11} \text{ A}$$

$$I_5 = \frac{8}{11} \text{ A}$$

Запишем теперь 2 правило Кирхгофа для контура AFEB (предположив, что он замкнутый и между точками AB есть некоторое напряжение U_{AB}), взяв за положительное направление «по часовой стрелке»:

$$-U_{AB} + I_2 \cdot R + I_4 \cdot R = 0$$

$$U_{AB} = \left(\frac{12}{11} \text{ A} + \frac{14}{11} \text{ A} \right) \cdot 100 \text{ Ом} \approx 236 \text{ В}$$

Вопрос №2:

Ток I_{CD} , протекающий по ветке CD был найден в Вопросе №1 в способе 2. Ток $I_{CD} = I_3 = -\frac{2}{11} \text{ A}$. Знак минус означает, что выбранное на Рис. 3 направление этого тока неверное, и в действительности ток течет в обратную сторону, то есть от C к D.

Критерии оценивания.

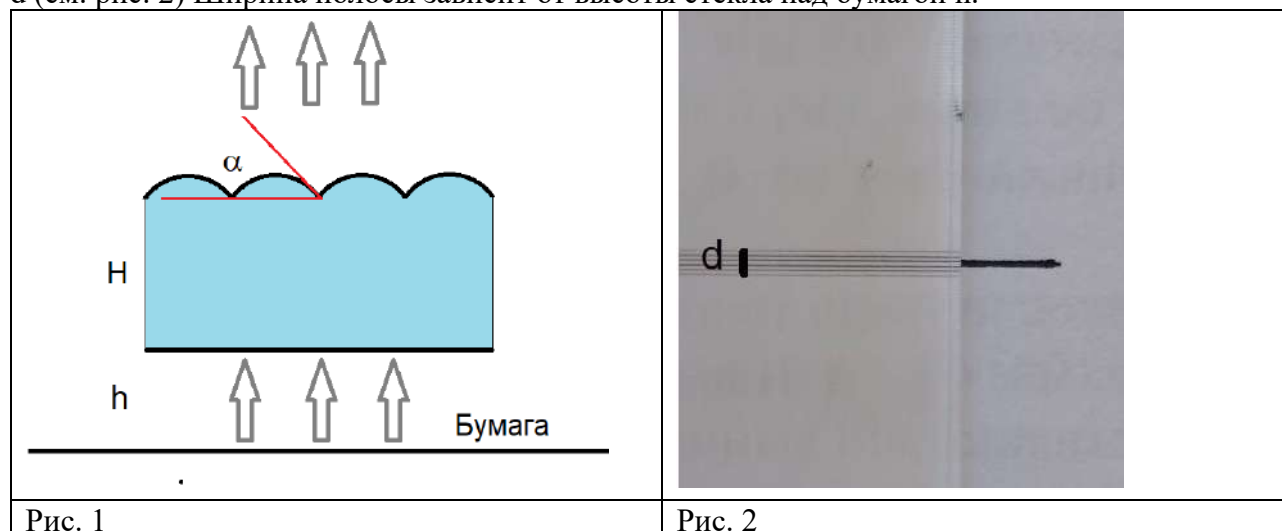
№	Критерий	Кол-во баллов
Вопрос №1 (способ 1)		
1	Произведем эквивалентное преобразование схемы (замена «треугольника» на «звезду»)	2
2	Верно определено общее сопротивление цепи $R_{06} = \frac{13}{11} R$	2
3	Верно определено напряжение между точками А и В: $U_{AB} = I \cdot R_{06} \approx 236 \text{ В}$	2
Вопрос №1(способ 2)		
1	Сделан рисунок с указанием направлений токов, а также выбраны направления обходов контуров	2*
2	Верно составлена система уравнений с применением 1-го и 2-го правил Кирхгофа	2*
3	Верно определено напряжение между точками А и В: $U_{AB} \approx 236 \text{ В}$	2*
Вопрос №2		
7	Верно определена величина тока $I_{CD} = \frac{2}{11} \text{ А} \approx 0,18 \text{ А}$	3
8	Показано, что ток течет от узла С к узлу D.	1

*проставляется только, если использовался способ 2

Задача №5

Иногда встречаются необычные стекла. Одна поверхность такого стекла гладкая, вторая – неровная. Все неровности очень маленькие (доли миллиметра), но абсолютно одинаковые, имеют в сечении форму дуги окружности, как показано на рисунке 1. Их высотой по сравнению с толщиной стекла можно пренебречь.

При рассматривании с большого расстояния через такое стекло линии, нарисованной на бумаге (ровная сторона стекла обращена к бумаге, «волны» на стекле направлены вдоль линии), можно видеть, что линия размывается (см. рис. 2). Каждая «волна» дает изображение в виде штриха, а близко расположенные штрихи почти сливаются и образуют полосу шириной d (см. рис. 2) Ширина полосы зависит от высоты стекла над бумагой h .



В таблице приведена зависимость ширины полосы, наблюдаемой с большого

расстояния, от высоты нижней поверхности стекла над листом бумаги h . Высота была измерена в шагах винта (1 шаг = 1,47 мм). Толщина стекла $H = 5,6$ мм.

h , шаг	2	3	4	5	10	15	20	25	30	34
d , мм	6	7	8	9	15	21	28	34	40	45

Вопрос №1: Постройте график зависимости ширины полосы от расстояния между стеклом и бумагой выраженного в мм.

Вопрос №2: Сделайте рисунок, поясняющий ход лучей и формирование полосы.

Вопрос №3: Определите показатель преломления стекла.

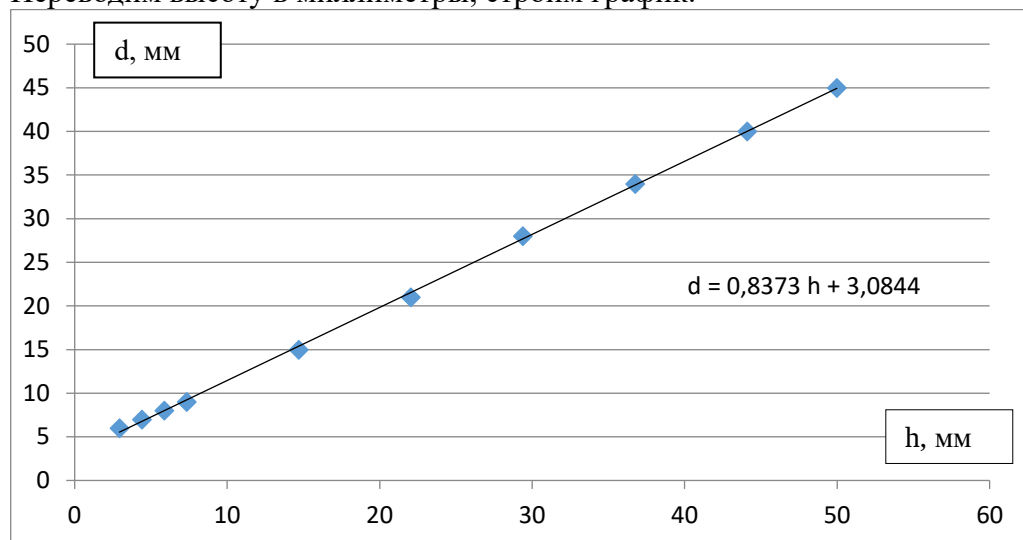
Вопрос №4: Определите угол α – угол максимального отклонения волны на стекле от плоской поверхности (см. рис. 1).

Автор: Воронцов Александр Геннадьевич

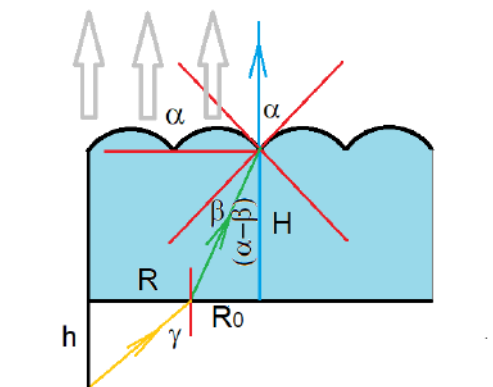
Возможное решение.

Вопрос №1:

Переводим высоту в миллиметры, строим график.



Вопрос №2:



Полоски в изображении дают все выпуклости, которые лежат вблизи линии зрения. Крайнее положение, при котором луч идет к наблюдателю (перпендикулярно бумаге), соответствует попаданию луча в область самого большого угла отклонения волнистой поверхности от плоскости, то есть в край волны, как показано на рисунке. При этом угол преломления будет равен α . При больших значениях угла γ выходящие лучи будут отклоняться вправо при попадании в любое место выпуклости, т.е. не попадут к наблюдателю. При меньших углах γ , к наблюдателю пойдут лучи, преломленные на средних частях выпуклостей.

Вопрос №3:

Для нахождения показателя преломления рассмотрим предельный луч, задающий край видимой широкой полосы. Обозначим угол его падения на волнистую поверхность за β . заметим, что:

$R_0/H = \operatorname{tg}(\alpha - \beta)$, где $R_0 = d_0/2 = 3,08/2 = 1,54$ мм – половина ширины видимой полосы при $h=0$ (находим из графика).

Получаем: $\alpha - \beta = 15,38^\circ$

Ширина видимой линии $d = 2(R + R_0)$, откуда следует, что $\frac{\Delta R}{\Delta h} = \frac{1}{2} \frac{\Delta d}{\Delta h}$. Величина $\frac{\Delta d}{\Delta h}$ равна угловому коэффициенту прямой на графике $\frac{\Delta d}{\Delta h} = 0,8373$, откуда $\frac{\Delta R}{\Delta h} = \frac{0,8373}{2} = 0,4187$.

Учитывая, что при $h=0$, $R=0$ Получаем, что $\frac{\Delta R}{\Delta h} = \frac{R}{h} = \operatorname{tg}(\gamma) = 0,4187$, $\gamma = 22,72^\circ$.

Запишем закон преломления для нижней границы стекла. $\sin(\gamma) = n \cdot \sin(\alpha - \beta)$, откуда $n = \frac{\sin(\gamma)}{\sin(\alpha - \beta)} = 1,46$.

Вопрос №4:

Для нахождения α , заметим, что нам известно:

$$\alpha - \beta = 15,38^\circ,$$

$$n = 1,46,$$

$n \sin(\beta) = \sin(\alpha)$ (закон преломления на волнистой поверхности).

Подставим

$$1,46 \sin(\alpha - 15,38^\circ) = \sin(\alpha)$$

Решим:

$$1,46 \sin(\alpha) \cos(15,38^\circ) - 1,46 \cos(\alpha) \sin(15,38^\circ) = \sin(\alpha)$$

$$(1,46 \cos(15,38^\circ) - 1) \sin(\alpha) = 1,46 \cos(\alpha) \sin(15,38^\circ)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha) = 1,46 \sin(15,38^\circ) / (1,46 \cos(15,38^\circ) - 1) = 0,95$$

$$\alpha = 43,5^\circ$$

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
Вопрос №1		
1	Высота пересчитана в миллиметры, данные записаны в таблицу	1
2	Построен график по экспериментальным точкам. Из них: Подписаны оси с единицами измерения – 0,5 Выбран разумный масштаб – 0,5 Верно нанесены экспериментальные точки – 0,5 Проведена усредняющая прямая – 0,5	2

Вопрос №2

3	Правильный рисунок, показывающий ход луча максимально отклоняющегося от линии зрения	1
Вопрос №3		
4	Из графика найдено $R_0 = 1,54$ мм (или $d_0 = 3,08$ мм)	1
5	Из графика найдено $\Delta R/\Delta h = 0,419$ (или $\Delta d/\Delta h = 0,837$)	1
6	Формула или последовательность вычислений для нахождения n	1
7	Значение n от 1,4 до 1,5	1
Вопрос №4		
8	Идея нахождения угла α	1
9	Численное значение α от 40° до 45°	1

* Численные значения могут отличаться от авторских из-за округления, особенно при операциях с углами.