



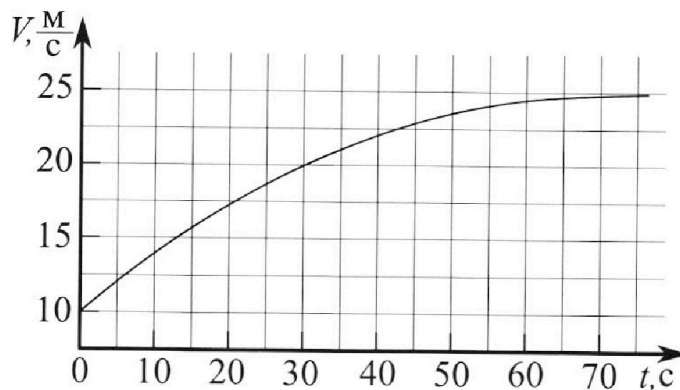
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



1. Автомобиль массой $m = 1500$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 600$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- 2) Найти силу тяги F_0 в начале разгона.
- 3) Какая мощность P_0 передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

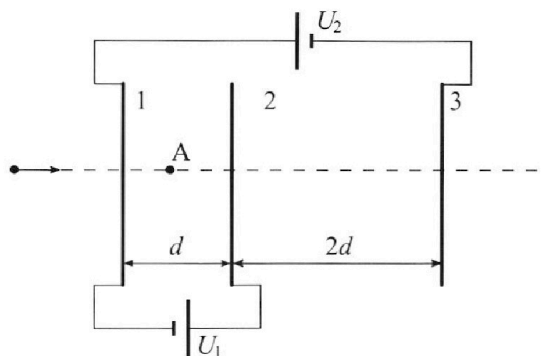
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении $P_0 = P_{\text{атм}}/2$ ($P_{\text{атм}}$ - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определите отношение конечной и начальной температур в сосуде T/T_0 .

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 3U$. Частица массой m и зарядом $q > 0$ движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость V_0 на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд q намного меньше модуля зарядов сеток.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- 2) Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/4$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

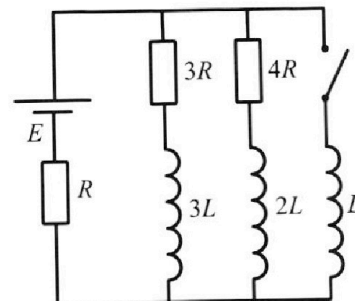
Вариант 11-03

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

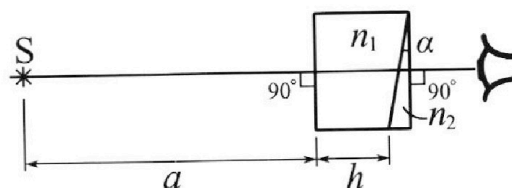
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $3R$ при замкнутом ключе?

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления n_1 и n_2 и находится в воздухе с показателем преломления $n_{\text{в}} = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 90$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



- 1) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

1. 1) ускорение $a = \frac{dV}{dt}$, т.е. тангенс угла наклона касательной к графику $V(t)$ в точке начала разгона ($t=0$).

Из графика $a_{\text{нач}} \approx \frac{2 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{5 \text{ с}} = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Ответ: $0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

2) Введём коэф. пропорциональности силы сопротивления скорости: $F_{\text{сопр}} = kV$

(V - темп. скорость, k - коэф., $F_{\text{сопр}}$ - сила сопротивления)

В конце разгона: $V_{\text{кон}} \rightarrow 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $a_{\text{кон}} \rightarrow 0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

(т.к. скорость не меняется). Запишем 2 закон

Ньютона для конца разгона: (выберем на направление движения):

$$F_k - F_{\text{сопр}_{\text{кон}}} = 0$$

$$F_k = kV_{\text{кон.}}$$

откуда: $k = \frac{F_k}{V_{\text{кон.}}} = \frac{600 \text{ Н}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$

23. Нютона в проекции на напр. движения для начала разгона:

$$F_0 - F_{\text{сопр}_{\text{нач}}} = m a_{\text{нач.}}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☒

2
☐

3
☐

4
☐

5
☐

6
☐

7
☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

отсюда $F_0 = m a_{\text{нач}} + K V_{\text{нач}} = 7500 \text{ кг} \cdot 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 600 \text{ Н} + 240 \text{ Н} = 840 \text{ Н}.$

Ответ: 840 Н

3) мгновенная мощность P_0 в начале
пути вычисляется по формуле:

$$P_0 = F_0 \cdot V_{\text{нач}} = 840 \text{ Н} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 8400 \text{ Вт}$$

Ответ: 8400 Вт.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

2. 1) Запишем УКУ (уравнение Клапейрона-Менделеева) для обоих газов при комнатной температуре:

$$\begin{cases} P_0 \left(\frac{V}{2} - \frac{V}{4} \right) = \nu_{\text{ум.}} R T_0 & (\nu_{\text{ум.}} \text{ и } \nu_{\text{нас.}} - \text{кол-во ум. газа и насыщ. паров.}) \\ P_0 \frac{V}{2} = \nu_{\text{нас.}} R T_0 & (\text{зависимость введ. паров. давления}) \end{cases}$$

$$\frac{\frac{V}{4}}{\frac{V}{2}} = \frac{\nu_{\text{ум.}}}{\nu_{\text{нас.}}} \rightarrow \frac{\nu_{\text{нас.}}}{\nu_{\text{ум.}}} = \frac{\frac{V}{2}}{\frac{V}{4}} = 2$$

Ответ: 2

2) Вычислим кол-во растворённого в воде ум. газа: $\Delta \nu = k P_0 \frac{V}{4} = \frac{k P_{\text{атм}} V}{8}$

Химическая формула ум. газа химически не растворяется, значит его кол-во увеличилось на $\Delta \nu$. Также появляется давление вод. пара (которым ранее, при комнатной температуре, пренебрегали). Заметим, что $T = 373\text{K} = 100^\circ\text{C}$, а значит давление вод. пара при такой температуре равно атмосферному: $P_{\text{пара}} = P_{\text{атм.}}$

Запишем УКУ для смеси после окончательного нагрева:



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\begin{cases} P_{\text{гид}} \left(V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} \right) = (J_{\text{гид}} + \Delta V) RT * \\ P_{\text{гид}} \frac{V}{5} = J_{\text{гид}} RT ** \end{cases}$$

а также учесть из положения равновесия!

$$P_{\text{гид}} = P_{\text{гид}} + P_{\text{пара}}$$

$$*: P_{\text{гид}} \cdot \frac{11}{20} V = \left(J_{\text{гид}} + \frac{K P_{\text{пара}} V}{8} \right) RT$$

$$P_{\text{гид}} = \frac{20}{11} \left(\frac{J_{\text{гид}}}{V} + \frac{K P_{\text{пара}}}{8} \right) RT$$

$$**: P_{\text{гид}} = \frac{5 J_{\text{гид}} RT}{V}$$

Также из пункта 1) известно, что $J_{\text{гид}} = \frac{P_0 V}{2 RT_0}$ (из
УКГ для воды) и $J_{\text{гид}} = \frac{J_{\text{пара}}}{2}$. (сохранение фл.)

$$\frac{5 J_{\text{гид}} RT}{V} = \frac{20}{11} \left(\frac{J_{\text{гид}}}{V} + \frac{K P_{\text{пара}}}{8} \right) RT + P_{\text{пара}}$$

$$\frac{5 P_0 T}{2 T_0} = \frac{20}{11} \left(\frac{P_0}{4 R T_0} + \frac{K P_{\text{пара}}}{8} \right) RT + P_{\text{пара}}$$

$$\frac{5 P_{\text{пара}} T}{4 T_0} = \frac{20}{11} \cdot \frac{P_{\text{пара}} T}{8 T_0} + \frac{20}{11} \cdot \frac{K P_{\text{пара}} RT}{8} + P_{\text{пара}}$$

$$\frac{T}{T_0} \left(\frac{5}{4} - \frac{20}{11 \cdot 8} \right) = \frac{5}{11 \cdot 2} K RT + P_{\text{пара}} T$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{\frac{5}{22} K RT + 1}{\frac{5}{4} - \frac{5}{22}} = \frac{10 K RT + 44}{55 - 10} = \frac{10 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 + 44}{45} =$$

$$= \frac{59}{45}$$

$$\text{Ответ: } \frac{59}{45}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

3. 1) Обозначим потенциалы электр.
 φ_1, φ_2 и φ_3 соответственно. Тогда:

$$\varphi_1 - \varphi_3 = U_2 = 3V$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U_1 = U.$$

Поле между пластинами 1 и 2 можно
считать однородным, т.к. разст. между пластин-
ками d много меньше размеров электр.

$$\text{Тогда } E = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d} = \frac{U}{d} \quad (E \text{ - поле между пластинами}$$

1 и 2, поле направлено от 2-ой к 1-ой, т.к. $\varphi_2 > \varphi_1$).

На частицу в таком поле будет действовать сила

Eq , напр. протав. направленная (вдо), тогда 2 закон
Ньютона в проекции на напр. движения примет

$$\text{вид: } -Eq = ma, \text{ откуда } |a| = \frac{Eq}{m} = \frac{Uq}{dm}$$

$$\text{ответ: } \frac{Uq}{dm}$$

$$2) \text{ ЗЦД: } K_1 = K_2 + Eq \cdot d \quad \leftarrow \text{работа силы}$$

$$\text{или-но, } K_1 - K_2 = Eqd = \frac{U}{d} qd = Uq$$

$$\text{ответ: } Uq$$

$$3) \text{ ЗЦД: } \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_A^2}{2} + Eq \cdot \frac{d}{4}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_A^2}{2} + \frac{Uq}{4}$$

$$V_A^2 = \frac{2}{m} \left(\frac{m}{2} V_0^2 - \frac{Uq}{4} \right) = V_0^2 - \frac{Uq}{2m}$$

$$V_A = \sqrt{V_0^2 - \frac{Uq}{2m}}$$

$$\text{Ответ: } \sqrt{V_0^2 - \frac{Uq}{2m}}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

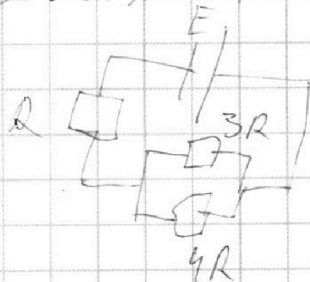
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



4. 1) при установившемся режиме ток не течет, а значит на катушках ЭДС равна 0, т.е. они не оказывают никакого влияния. Значит, схема такая:



сначала считаем эквивалентное сопротивление

$$R_0 = R + \frac{3R \cdot 4R}{3R + 4R} =$$

$$= \frac{19}{4} R; \text{ тогда ток в цепи}$$

$$I_0 = \frac{E}{R_0} = \frac{4}{19} \frac{E}{R}$$

Обозначим ток на $3R$ как I_{10} , на $4R$ как I_{20} .

Имеем: $I_{10} + I_{20} = I_0$, $I_{10} 3R = I_{20} 4R$; откуда,

$$I_{20} = \frac{3}{4} I_{10} \Rightarrow I_0 = \frac{7}{4} I_{10} \Rightarrow I_{10} = \frac{4}{7} I_0 =$$

$$= \frac{4}{19} \frac{E}{R}.$$

$$\text{Ответ: } \frac{4}{19} \frac{E}{R}$$

2) рассмотрим контур, состоящий из резистора R , батарейки, ключа и катушки L . В кач. нач. момент времени ток на резисторе I_0 из п. 1), тогда на катушке



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Нет, но EMF скорости изменяемая ($\frac{dI}{dt}$);
запишем для такого контура Правило Кирхгофа:

$$L \frac{dI}{dt} + I_0 R = E$$

округа, $\frac{dI}{dt} = \frac{E - I_0 R}{L} = \frac{E - \frac{72}{75} \frac{E}{R} R}{L} = \frac{72}{75} \frac{E}{L}$

Ответ: ~~$\frac{72}{75} \frac{E}{L}$~~

3) что произошло: через резистор $3R$ шёл ток, после выключения ключа - уже не шёл (всё пошло через катушку), значит ток через резистор, а значит и катушку, уменьшился, значит поднимать ЭДС катушки - на малый промежуток времени τ (который и прошёл до исчезновения тока). Ввиду малости времени, процесс убывания тока можно считать линейным, тогда $\frac{dI}{dt} = \frac{I_0}{\tau}$.

~~$\frac{dI}{dt} = \frac{I_0}{\tau}$~~

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



4.3) (продолжение) Тогда ЭД конденсатора

$$|E_{3L}| = L \frac{dI}{dt} = L \frac{4E}{5R\tau} = \frac{4EL}{5R\tau}$$

Эта ЭД равна по модулю ЭДС источника ЭР, значит

$$I_{3R} = \frac{E_{3L}}{3R} = \frac{4EL}{54R^2\tau}; \quad Q_{3R} = I_{3R} \cdot \tau =$$

$$= \frac{4EL}{54R^2}$$

Ответ: $\frac{4EL}{54R^2}$

4.3) (продолжение). $\tau = \frac{3L}{3R} = \frac{L}{R}$

характерное время установившегося

равновесия, т.е. время минимально

$$Q = \frac{I_{10} \cdot \tau}{2} = \frac{4}{2} \frac{E}{R} \cdot \frac{L}{R} = \frac{2EL}{R^2}$$

Ответ: $\frac{2EL}{R^2}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

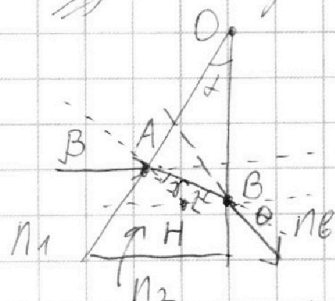
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

5. ~~1~~ Изобразим призму 2 билиней:



пусть O - вершина в угле α ;

A - точка входа луча, B -

точка выхода; HA и HB -

перпендикуляры к граням призмы;

β - угол падения, γ - угол преломления.

Рассмотрим общий случай, поэтому

слева от призмы угол с норм. кривой N_1 ,

справа - N_2 . (Вторая грань - N_2). Тогда:

$n_1 \sin \beta = n_2 \sin \gamma$; т.к. α - малый угол,

то β и γ - тоже малые углы. Тогда

$$\sin \beta \approx \beta \text{ и } \sin \gamma \approx \gamma \rightarrow n_1 \beta = n_2 \gamma$$

$$\angle HAO = \angle HBO = 90^\circ \rightarrow \angle BHA = 180^\circ - \alpha, \text{ тогда } \angle HBA =$$

$$= 180^\circ - (\gamma + 180^\circ - \alpha) = \alpha - \gamma. \text{ Пусть } \theta - \text{угол между}$$

перпендикулярами к грани и векторами $\vec{OA}$ и $\vec{OB}$,

$$\text{тогда: } n_2 \sin(\alpha - \gamma) = n_1 \sin \theta, \text{ а с}$$

$$\text{учетом малости углов: } n_2(\alpha - \gamma) = n_1 \theta.$$

$$\text{Читаем угол отклонения } \Delta \varphi. \Delta \varphi = \beta - \gamma + \theta - (\alpha - \gamma) =$$

$$= \beta + \theta - \alpha = \beta - \alpha + n_2(\alpha - \gamma) = \beta - \alpha + n_2 \alpha - n_2 \gamma =$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$= \beta - \alpha + n_2 \alpha - n_1 \beta = \beta(1 - n_1) - \alpha(1 - n_2);$$

$$\beta = 90^\circ + \alpha - 90^\circ = \alpha, \text{ значит } \Delta\varphi = \alpha(1 - n_1) - \alpha(1 - n_2) =$$

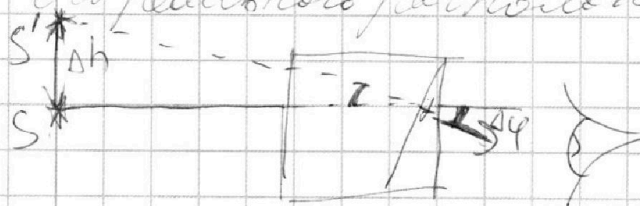
$$= \alpha(n_2 - n_1)$$

тогда 1) $\Delta\varphi = \alpha(n_2 - n_1) = 0,7 \text{ рад} \cdot 0,7 = 0,49 \text{ рад}$

Ответ: 0,49 рад

2) с учетом малости всех углов и отклонений, наблюдатель увидит светящийся центр звезды

сферического рассеяния:



Весь светящийся центр звезды

собирается на изгибе (2)

тогда $\Delta h = (a + h) \Delta\varphi \approx$

$$\approx (a + h) \Delta\varphi = 7,04 \text{ м} \cdot 0,49 \text{ рад} = 0,345 \text{ м} \approx$$

($\Delta\varphi$ из пункта 1) $\approx 4,3 \text{ см}$.

$$\begin{array}{r} 7,04 \\ \cdot 0,49 \\ \hline 0,345 \end{array}$$

Ответ: 4,3 см.

3) $\Delta\varphi = \alpha(n_2 - n_1) = 0,7 \text{ рад} \cdot 0,3 = 0,21 \text{ рад}$

аналогично, $\Delta h = (a + h) \Delta\varphi = 0,372 \text{ м} \approx$

$$\approx 3,7 \text{ см}.$$

$$\begin{array}{r} 7,04 \\ \cdot 0,21 \\ \hline 0,372 \end{array}$$

Ответ: 3,7 см.



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

