



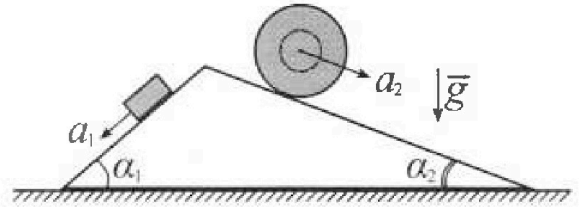
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 11-04



В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

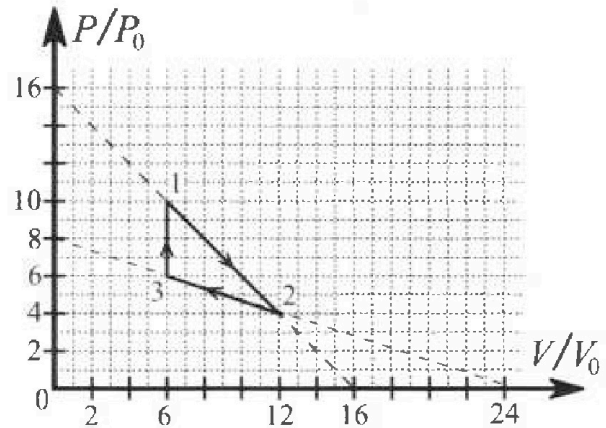
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой  $m$  с ускорением  $a_1 = 5g/17$  и скатывается без проскальзывания полый шар массой  $9m/4$  с ускорением  $a_2 = 8g/27$  (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту  $\alpha_1$  ( $\sin \alpha_1 = 3/5$ ,  $\cos \alpha_1 = 4/5$ ) и  $\alpha_2$  ( $\sin \alpha_2 = 8/17$ ,  $\cos \alpha_2 = 15/17$ ). Направления всех движений лежат в одной вертикальной плоскости.



- 1) Найти силу трения  $F_1$  между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения  $F_2$  между шаром и клином.
- 3) Найти силу трения  $F_3$  между столом и клином.

Каждый ответ выразить через  $m$  и  $g$  с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

2. С идеальным одноатомным газом совершают циклический процесс 1-2-3-1. На рисунке представлена зависимость  $P/P_0$  от  $V/V_0$ . Здесь  $V$  и  $P$  - объем и давление газа,  $V_0$  и  $P_0$  - некоторые неизвестные объем и давление.

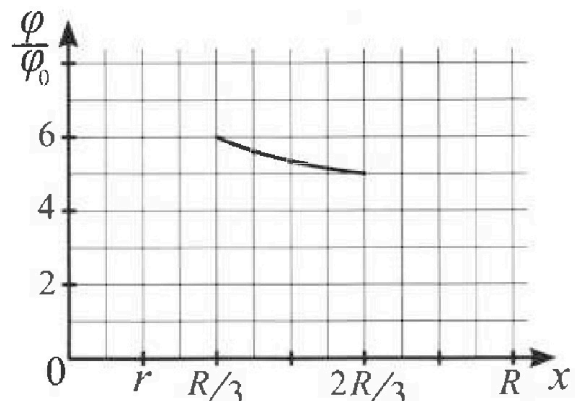
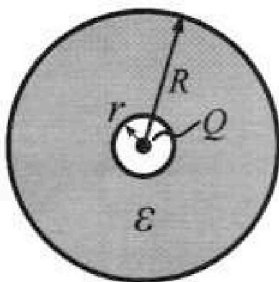


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.

Ответы выразите числом в виде обыкновенной дроби или целого числа.

3. В центре полого шара с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и радиусами поверхностей  $r$  и  $R$  находится шарик с зарядом  $Q$  (см. рис.). Известна графическая зависимость потенциала  $\varphi$  электрического поля внутри диэлектрика от расстояния  $x$  от центра полого шара в интервале изменений  $x$  от  $R/3$  до  $2R/3$  (см. рис.). Здесь  $\varphi_0$  — потенциал в некоторой точке вне шара. Потенциал в бесконечно удаленной точке принят равным нулю.

- 1) Считая известными  $r$ ,  $R$ ,  $Q$ ,  $\epsilon$ , найти аналитическое выражение (в виде формулы) для потенциала внутри диэлектрика при  $x = 11R/12$ .
- 2) Используя график, найти численное значение  $\epsilon$ .



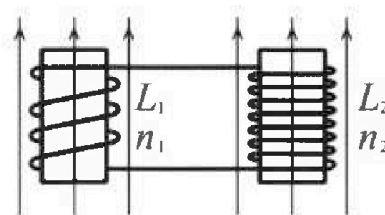
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2024

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

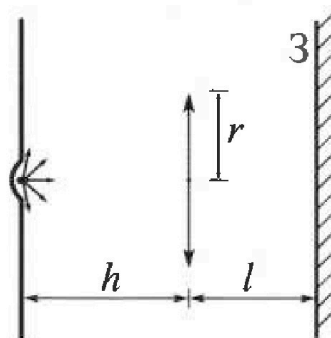


4. Две катушки с индуктивностями  $L_1 = L$  и  $L_2 = 9L/4$  и числами витков  $n_1 = n$  и  $n_2 = 3n/2$  помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки  $S$ . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. Катушки находятся достаточно далеко друг от друга. Омическое сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Вначале тока в катушках нет.



- 1) С какой скоростью (по модулю) нач нет изменяться ток в катушках, если в катушке с индуктивностью  $L_1$  индукция внешнего поля начнет уменьшаться со скоростью  $\Delta B / \Delta t = -\alpha (\alpha > 0)$ , а во второй катушке внешнее поле останется неизменным?
- 2) За некоторое время индукция внешнего поля в катушке с индуктивностью  $L_1$  уменьшилась от  $B_0$  до  $3B_0/4$ , не изменив направления, а в катушке с индуктивностью  $L_2$  индукция внешнего поля уменьшилась от  $4B_0$  до  $8B_0/3$ , не изменив направления. Внешние поля в катушках изменялись неравномерно. Найти ток (по модулю) в катушках к концу изменения внешних полей. Ответ дать с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

5. В стене сделана небольшая выемка, внутри которой находится маленькая лампочка так, что прямой свет от лампочки на стену не попадает (см. рис.). Справа от лампочки на некотором расстоянии  $h$  расположена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием  $F = 2h/3$ . Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы  $r = 4$  см. Справа от линзы на расстоянии  $l = h/2$  расположено параллельно стене плоское зеркало 3. Считать, что свет, идущий мимо линзы, проходит плоскость линзы беспрепятственно. Размеры стены и зеркала намного больше размеров линзы.



- 1) Найдите площадь неосвещённой части зеркала.
- 2) Найдите площадь неосвещённой части стены.

Ответы дайте в  $[\text{см}^2]$  в виде  $\gamma\pi$ , где  $\gamma$  - целое число или простая обыкновенная дробь.



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

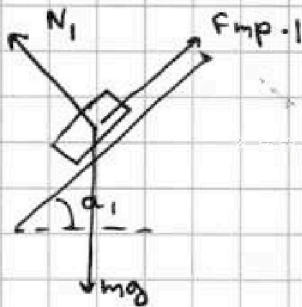
СТРАНИЦА  
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

21

1) По Тл. о движении  $m \cdot a_{y/m} = \sum \vec{F}_i$  вверх.

2) Какие внешние силы действуют на брусок? Сила тяжести, сила реакции опоры и сила трения между телом и клином:



$$m \cdot a_1 = m g \cdot \sin \alpha_1 - F_{\text{тр.1}} \Rightarrow$$

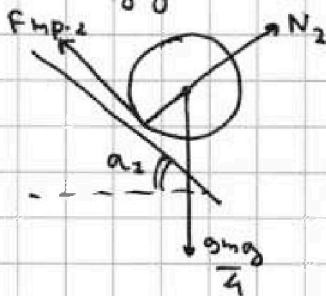
$$\Rightarrow m \cdot \frac{5g}{17} = m g \cdot \frac{3}{5} - F_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{5g}{17} = \frac{3g}{5} - \frac{F_1}{m} \Rightarrow \frac{F_1}{m} = \frac{3g}{5} - \frac{5g}{17} =$$

$$= \frac{51g - 25g}{85} = \frac{26g}{85} \Rightarrow F_1 = \frac{26mg}{85}$$

Значит найдем и  $N_1$ . По клину в покое,  $N_1 = m g \cdot \cos \alpha_1 =$   
 $= m g \cdot \frac{4}{5} = \frac{4mg}{5}$

3) Какие внешние силы действуют на шар? Эти силы те же: сила тяжести, сила реакции опоры и сила трения между телом и клином:



$$\frac{9m}{4} \cdot a_2 = \frac{9mg}{4} \cdot \sin \alpha_2 - F_{\text{тр.2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{9m}{4} \cdot \frac{8g}{27} = \frac{9mg}{4} \cdot \frac{8}{17} - F_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{8g}{27} = \frac{8g}{17} - \frac{4F_2}{9m} \Rightarrow \frac{4F_2}{9m} = \frac{8g}{17} - \frac{8g}{27} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{4F_2}{9m} = \frac{8g \cdot 10}{27 \cdot 17} \Rightarrow F_2 = \frac{8g \cdot 10 \cdot 9 \cdot m}{27 \cdot 17 \cdot 4} =$$

$$= \frac{20mg}{51}$$

Значит найдем  $N_2$ . По клину в покое,  $N_2 = \frac{9m}{4} g \cdot \cos \alpha_2 =$   
 $= \frac{9mg}{4} \cdot \frac{15}{17} = \frac{135mg}{68}$

4) Какие силы действуют на клин? По III закону Ньютона на него действуют силы реакции (перпендикулярные) со стороны шарика и бруска (+ сила тяжести). Также на него

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

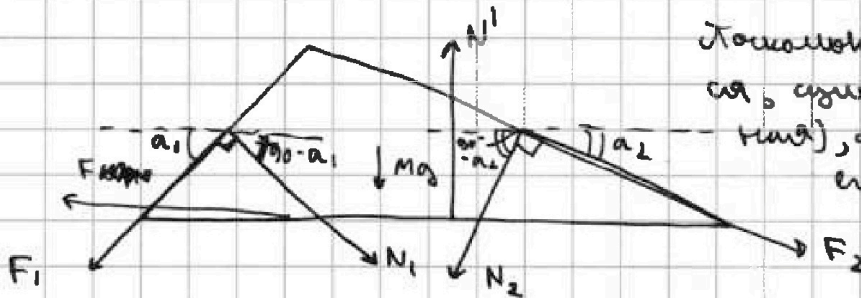


1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

действующая сила эффекта электростатического взаимодействия  
 $F$  - на электростатическую и сила тяжести:



Поскольку тело находится в равновесии, сумма сил (векторов) действующих на него должна быть равна нулю:

$$F + F_1 \cdot \cos \alpha_1 + N_2 \cdot \sin \alpha_2 - N_1 \cdot \sin \alpha_1 - F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = N_1 \cdot \sin \alpha_1 + F_2 \cdot \cos \alpha_2 - F_1 \cdot \cos \alpha_1 - N_2 \cdot \sin \alpha_2 =$$

$$= \frac{4 \text{ мкг}}{5} \cdot \frac{3}{5} + \frac{20 \text{ мкг}}{51} \cdot \frac{15}{17} - \frac{26 \text{ мкг}}{85} \cdot \frac{4}{5} - \frac{135 \text{ мкг}}{68} \cdot \frac{8}{17} =$$

$$= \frac{12 \text{ мкг}}{25} + \frac{300 \text{ мкг}}{867} - \frac{104 \text{ мкг}}{425} - \frac{1080 \text{ мкг}}{1156}$$

$$= \frac{12 \text{ мкг}}{5 \cdot 5} + \frac{300 \text{ мкг}}{17 \cdot 3 \cdot 17} - \frac{104 \text{ мкг}}{5 \cdot 5 \cdot 17} - \frac{1080 \text{ мкг}}{17 \cdot 4 \cdot 17} =$$

$$= \frac{12 \text{ мкг} \cdot 17 - 104 \text{ мкг}}{5 \cdot 5 \cdot 17} + \frac{300 \text{ мкг} \cdot 4 - 1080 \text{ мкг} \cdot 3}{17 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 17} =$$

$$= \frac{100 \text{ мкг}}{5 \cdot 5 \cdot 17} - \frac{2040 \text{ мкг}}{17 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 17} = \frac{4 \text{ мкг}}{17} - \frac{10 \text{ мкг}}{17} =$$

$$= -\frac{6 \text{ мкг}}{17} \text{ (не согласен с направлением } F \text{)}.$$

Ответ: 1)  $F_1 = \frac{26 \text{ мкг}}{85}$

2)  $F_2 = \frac{20 \text{ мкг}}{51}$

3)  $\frac{6 \text{ мкг}}{17}$

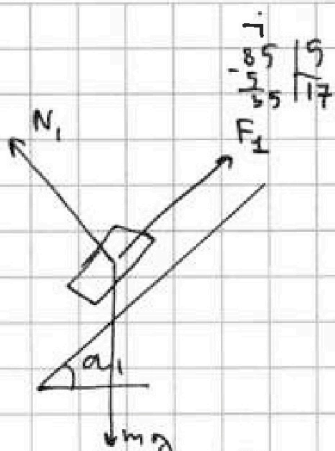
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
— ИЗ —

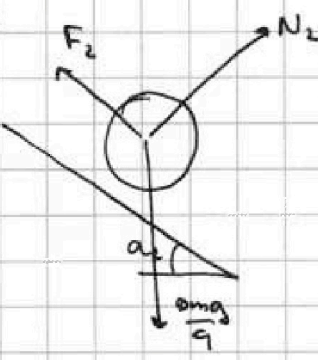
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



$$m a_1 = m g \cdot \sin \alpha_1 - F_1$$

$$a_1 = g \cdot \sin \alpha_1 - \frac{F_1}{m}$$

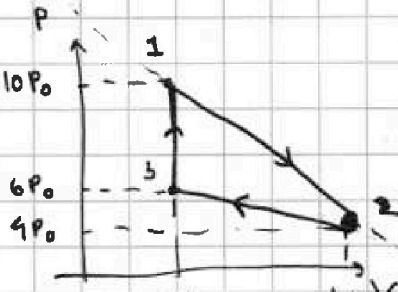
$$\frac{5g}{17} = g \cdot \frac{3}{5} - \frac{F_1}{m} \Rightarrow \frac{F_1}{m} = \frac{3g}{5} - \frac{5g}{17} = \frac{51g - 25g}{85} = \frac{26g}{85} \Rightarrow F_1 = \frac{26mg}{85}$$



$$\frac{9m}{4} \cdot a_2 = \frac{9mg}{4} \cdot \sin \alpha_2 - F_2$$

$$\Rightarrow a_2 = g \cdot \frac{8}{17} - \frac{4F_2}{9m}$$

$$\Rightarrow \frac{4F_2}{9m} = \frac{8g}{17} - \frac{8g}{27} = \frac{8g \cdot 27 - 8g \cdot 17}{17 \cdot 27} = \frac{8g \cdot 10}{17 \cdot 27}$$



$$10p_0 \cdot 6V_0 = U R T_1$$

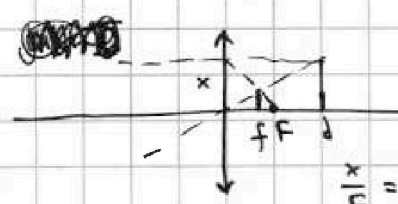
$$4p_0 \cdot 12V_0 = U R T_2$$

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T} - \frac{3}{2T} \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{T} + \frac{3}{2T} = \frac{5}{2T}$$

$$B_0 + L I_1 + \frac{3}{2} \cdot 4B_0 + \frac{27 L I_1}{8} = \frac{380}{4} + L I_2 + \frac{27 L I_2}{8} + \frac{3}{2} \cdot \frac{380}{8}$$

$$7B_0 + \frac{35 L I_1}{8} = \frac{1980}{4} + \frac{55 L I_2}{8}$$

$$\frac{35 L I_2}{8} = \frac{380}{4} + \frac{35 L I_1}{8}$$



$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T} - \frac{3}{2T} \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{T} + \frac{3}{2T} = \frac{5}{2T}$$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T} - \frac{3}{2T} \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{T} + \frac{3}{2T} = \frac{5}{2T}$$

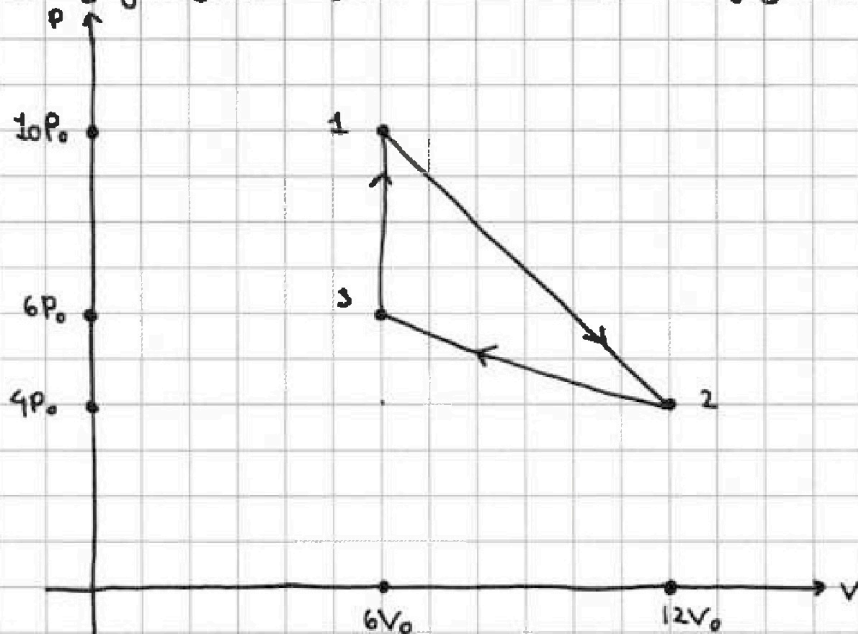
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 из 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1) Нарисуем цикл в  $P(V)$ -координатах:



1) Найдем работу  $A$  цикла по циклу. Она равна площади под нарисованным выше графиком:

$$A = \frac{1}{2} \cdot 6P_0 \cdot 6V_0 - \frac{1}{2} \cdot 2P_0 \cdot 6V_0 = \frac{1}{2} \cdot 6V_0 \cdot 4P_0 = 3V_0 \cdot 4P_0 = 12P_0V_0$$

2) Пусть  $T_1$  - температура газа в первом состоянии,  $T_2$  - во втором,  $\nu$  - к-во газа:

$$1: 10P_0 \cdot 6V_0 = \nu RT_1$$

$$2: 4P_0 \cdot 12V_0 = \nu RT_2$$

Газ одноатомный  $\Rightarrow$  его энергия  $U_1$  в первом состоянии =

$$= \frac{3}{2} \nu RT_1 = \frac{3}{2} \cdot 60P_0V_0 = 90P_0V_0, \text{ а энергия } U_2 \text{ во втором} =$$

$$= \frac{3}{2} \nu RT_2 = \frac{3}{2} \cdot 48P_0V_0 = 72P_0V_0$$

Изменение энергии внутренней энергии газа в пр-се

$$1 \rightarrow 2 = U_1 - U_2 = 90P_0V_0 - 72P_0V_0 = 18P_0V_0 = \sigma U$$

$$4) \frac{\sigma U}{A} = \frac{18P_0V_0}{12P_0V_0} = \frac{18}{12} = \frac{3}{2}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 из 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

5) Вывести уравнение, которому отвечает процесс 1-2. Зависимость  $P(V)$  в нем линейная  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow P = kV + b$

$$10P_0 = k \cdot 6V_0 + b \quad \Rightarrow \quad 6P_0 = -6kV_0 \Rightarrow k = -\frac{P_0}{V_0} \Rightarrow$$

$$4P_0 = k \cdot 12V_0 + b$$

$$\Rightarrow 10P_0 = -\frac{P_0}{V_0} \cdot 6V_0 + b \Rightarrow 10P_0 = -6P_0 + b \Rightarrow b = 16P_0.$$

Снова  $\Rightarrow$   $P = -\frac{P_0}{V_0} \cdot V + 16P_0$

$PV = \nu RT \Rightarrow T$  в процессе 1-2  $\Rightarrow$  зависит от  $V$  линейно-квадратично образом:  $T = \frac{PV}{\nu R} = \frac{1}{\nu R} \cdot \left(-\frac{P_0}{V_0} \cdot V + 16P_0\right) \cdot V =$   
 $= \frac{1}{\nu R} \cdot \left(-\frac{P_0}{V_0} \cdot V^2 + 16P_0 V\right).$

Вопрос этого уравнения  $V=0$  и  $V=16V_0 \Rightarrow$  максимальная температура достигается при  $V=8V_0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow T_{\max} = \frac{1}{\nu R} \cdot \left(-\frac{P_0}{V_0} \cdot 64V_0^2 + 16P_0 \cdot 8V_0\right) = \frac{1}{\nu R} \cdot \left(-64P_0V_0 + 128P_0V_0\right) = \frac{1}{\nu R} \cdot 64P_0V_0$$

6) Пусть  $T_3$  - температура газа в состоянии 3.

$$6P_0 \cdot 6V_0 = \nu RT_3 \Rightarrow T_3 = \frac{36P_0V_0}{\nu R}.$$

$$7) \frac{T_{\max}}{T_3} = \frac{64P_0V_0 \cdot \nu R}{\nu R \cdot 36P_0V_0} = \frac{64}{36} = \frac{32}{18} = \frac{16}{9}.$$

$$8) Q_{11} = A_{11} + \nu U_{11} = 0 + \frac{3}{2} \cdot (10P_0 \cdot 6V_0 - 6P_0 \cdot 6V_0) = \frac{3}{2} \cdot 6V_0 \cdot 4P_0 =$$

$$= 3 \cdot 6V_0 \cdot 2P_0 = 36P_0V_0.$$

$$Q_{12} = A_{12} + \nu U_{12} = \frac{1}{2} \cdot (10P_0 + 4P_0) \cdot 6V_0 - 18P_0V_0 = 5V_0 \cdot 14P_0 - 18P_0V_0 =$$

$$= 42P_0V_0 - 18P_0V_0 = 24P_0V_0.$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
3 ИЗ 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

В трубах  $3 \rightarrow 1$  и  $1 \rightarrow 2$  тепло производится  $\Rightarrow$  в трубе  $2 \rightarrow 3$  оно отводится  $\Rightarrow Q_{\text{своб.}} = Q_{31} + Q_{12} = 36 P_0 V_0 + 24 P_0 V_0 =$   
 $= 60 P_0 V_0$

Сила тока,  $\eta = \frac{A}{Q_{\text{своб.}}} = \frac{12 P_0 V_0}{60 P_0 V_0} = \frac{1}{5} = 0,2$

Ответ: 1)  $\frac{3}{2} = 1,5$

2)  $\frac{16}{9}$

3)  $0,2$





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

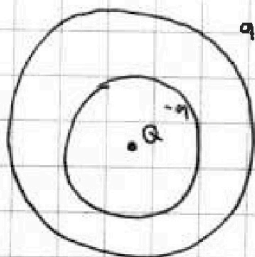
1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Печать QR-кода не допускается!

- 1) Из-за наличия создаваемого точечного заряда  $Q$ , на внешней поверхности поверхности шара индуцируется отрицательный заряд  $-q$ , а на внешней - положительный заряд  $q$ .
- 2) Эти заряды  $q$  и  $-q$  распределены по поверхности шара равномерно.

3)



Эквивалент  $q$  заряд  $Q$ . Также внутри шара в  $\epsilon$  раз меньше поля точечного заряда  $Q$ :

$$\frac{kQ}{\epsilon r^2} = \frac{kQ}{r^2} - \frac{kq}{r^2} \Rightarrow \frac{Q}{\epsilon} = Q - q \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q = Q - \frac{Q}{\epsilon} = Q \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}$$

- 4) Ответим на первый вопрос.

$$\text{Если } r < \frac{11R}{12} : \varphi(x) = \frac{kQ}{x} - \frac{kq}{x} + \frac{kq}{R} = \frac{kQ \cdot 12}{11R} - \frac{k \cdot Q \cdot (\epsilon - 1) \cdot 12}{\epsilon \cdot 11R} + \frac{kQ \cdot (\epsilon - 1)}{\epsilon R} = \frac{12kQ}{11R} - \frac{12kQ \cdot (\epsilon - 1)}{11\epsilon R} + \frac{kQ \cdot (\epsilon - 1)}{\epsilon R}$$

$$\text{Если } r > \frac{11R}{12} : \varphi(x) = \frac{kQ}{x} - \frac{kq}{r} + \frac{kq}{R} = \frac{kQ \cdot 12}{11R} - \frac{kQ \cdot (\epsilon - 1)}{\epsilon r} + \frac{kQ \cdot (\epsilon - 1)}{\epsilon R}$$

- 5) Поскольку зависимость на графике линейная, на ней представлена зависимость  $\varphi(x)$  внутри какой-то одной однородной области (внутри диэлектрика или внутри полости шара).

Докажем, что  $r < \frac{R}{3}$  (то есть данная зависимость внутри диэлектрика).

$$\varphi(x) = \frac{kQ}{x} - \frac{kq}{x} + \frac{kq}{R}$$

$$\varphi\left(\frac{R}{3}\right) = 6\varphi_0 = \frac{kQ \cdot 3}{R} - \frac{kq \cdot 3}{R} + \frac{kq}{R} = \frac{kq}{R} - \frac{3kq}{R} + \frac{3kQ}{R} = \frac{3kQ}{R} - \frac{2kq}{R}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$\varphi\left(\frac{2R}{3}\right) = \frac{kQ \cdot 3}{2R} - \frac{kq \cdot 3}{2R} + \frac{kq}{R} = \frac{3kQ}{2R} - \frac{3kq}{2R} + \frac{2kq}{2R} = \frac{3kQ}{2R} - \frac{kq}{2R} =$$

$$= 5\varphi_0$$

$$\frac{kq}{2R} = \frac{3kQ}{2R} - 5\varphi_0 \Rightarrow q = 3Q - \frac{2R \cdot 5\varphi_0}{k} = 3Q - \frac{10R\varphi_0}{k}$$

$$\frac{2kq}{R} = \frac{3kQ}{R} - 6\varphi_0 \Rightarrow q = \frac{3Q}{2} - \frac{3\varphi_0 R}{k}$$

$$\frac{3Q}{2} - \frac{3\varphi_0 R}{k} = 3Q - \frac{10R\varphi_0}{k} \Rightarrow \frac{3Q}{2} = \frac{7\varphi_0 R}{k} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{kq}{2R} = \frac{k}{R} \cdot \frac{7\varphi_0 R}{k} - 5\varphi_0 = 2\varphi_0 \Rightarrow \frac{k}{2R} \cdot Q \cdot \frac{(E-1)}{E} = 2\varphi_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{Q \cdot (E-1)}{ER} \cdot \frac{7\varphi_0 R}{3k} = 2\varphi_0 \Rightarrow \frac{7 \cdot (E-1)}{3E} = 2 \Rightarrow 6E = 7E - 7 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = 7.$$

Допустим,  $v > \frac{2R}{3}$  (выступы полностью находимся)  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \varphi(x) = \frac{kQ}{x} - \frac{kq}{v} + \frac{kq}{R}$$

$$\varphi\left(\frac{R}{3}\right) = \frac{kQ \cdot 3}{R} - \frac{kq}{v} + \frac{kq}{R} = 6\varphi_0$$

$$\varphi\left(\frac{2R}{3}\right) = \frac{kQ \cdot 3}{2R} - \frac{kq}{v} + \frac{kq}{R} = 5\varphi_0$$

$$\frac{3kQ}{2R} = \varphi_0$$

Из условия следует что дано поле выступов  
электризации  $E$ . Стало быть, второй случай не  
рассматриваем  $\Rightarrow v < \frac{R}{3} \Rightarrow v < \frac{11R}{12}$ .

Ответ: 1)  $\frac{12kQ}{11R} - \frac{12kQ \cdot (E-1)}{11ER} + \frac{kQ \cdot (E-1)}{ER}$ .

2)  $E = 7$

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

24

2) Пусть  $B_1$  - внешнее поле внутри катушки 1 в какой-то момент,  $B_{\text{сдв.1}}$  - соответствующее поле внутри катушки 1 в этот же момент.

$B_2$  и  $B_{\text{сдв.2}}$  - внешнее и соответствующее поле катушки 2 в этот же момент соответственно.

2) Если известно,  $B_{\text{сдв.1}} = L_1 I_1$ , а  $B_{\text{сдв.2}} = L_2 I_2$ . Тогда для катушки 1 ток равен  $I_1$ , а  $B_{\text{сдв.1}} = L I_1$ , а  $B_{\text{сдв.2}} = \frac{9L}{4} I_1 = \frac{9LI}{4}$  ( $I$  - ток катушки в этот момент).

3) Поток через поверхность катушки 1 в этот момент =  $(B_1 + B_{\text{сдв.1}}) \cdot n_1 S = nS \cdot (B_1 + LI) = \Phi_1$

Поток через поверхность катушки 2 в этот момент =  $\Phi_2 = (-B_2 + B_{\text{сдв.2}}) \cdot n_2 S = (-B_2 + \frac{9L}{4} I) \cdot \frac{3n}{2} \cdot S$

4)  $\mathcal{E}_1 = -\frac{d\Phi_1}{dt} = -nS \cdot (\dot{B}_1 + L\dot{I})$

$\mathcal{E}_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -\frac{3nS}{2} \cdot (-\dot{B}_2 + \frac{9L}{4}\dot{I}) = -\frac{3nS}{2} \cdot (-\dot{B}_2 + \frac{9L}{4}\dot{I})$

5)  $\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 0$  (токовые элементы в цепи нет)  $\Rightarrow$

$\Rightarrow \dot{B}_1 + L\dot{I} + \frac{3nS}{2} \cdot (-\dot{B}_2 + \frac{9L}{4}\dot{I}) = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \dot{B}_1 + L\dot{I} + \frac{3nS}{2} \cdot (-\dot{B}_2 + \frac{9L}{4}\dot{I}) = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow B_1 + LI + \frac{3nS}{2} \cdot (-B_2 + \frac{9L}{4}I) = \text{const}$

6) Известно, что  $B_2 = 0$ , а  $B_1 = -a$

$\Rightarrow -a + LI + \frac{27LI}{8} = 0 \Rightarrow a = \frac{35LI}{8} \Rightarrow I = \frac{8a}{35L}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

7) Ответим на вторую задачу. Пусть  $\mathcal{E}$  самым малым изменением силы катушки энергии ток  $I_1$ , а к катушке изменений  $\Rightarrow$  ток  $I_2$ .

Сначала пусть,

$$\mathcal{E}_0 + LI_1 = \frac{3}{2} \cdot 4\mathcal{E}_0 + \frac{27LI_1}{8} = \frac{3\mathcal{E}_0}{4} + LI_2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{8\mathcal{E}_0}{3} + \frac{27LI_2}{8} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 7\mathcal{E}_0 + \frac{35LI_1}{8} = \frac{9\mathcal{E}_0}{4} + \frac{35LI_2}{8} \Rightarrow \frac{35LI_2}{8} = \frac{35LI_1}{8} + \frac{9\mathcal{E}_0}{4} - 7\mathcal{E}_0 = \frac{35LI_1}{8} - \frac{13\mathcal{E}_0}{4}$$

$$\Rightarrow I_2 = I_1 + \frac{18\mathcal{E}_0}{35L}$$

$$\Rightarrow \frac{35LI_1}{8} - 5\mathcal{E}_0 = \frac{35LI_2}{8} + \frac{3\mathcal{E}_0}{4} - 4\mathcal{E}_0 = \frac{35LI_2}{8} - \frac{13\mathcal{E}_0}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{35LI_2}{8} = \frac{35LI_1}{8} + \frac{13\mathcal{E}_0}{4} - 5\mathcal{E}_0 = \frac{35LI_1}{8} - \frac{7\mathcal{E}_0}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_2 = I_1 - \frac{7\mathcal{E}_0}{4} \cdot \frac{8}{35L} = I_1 - \frac{2\mathcal{E}_0}{5L}$$

Ответ:  $\pm) \frac{8a}{35L}$



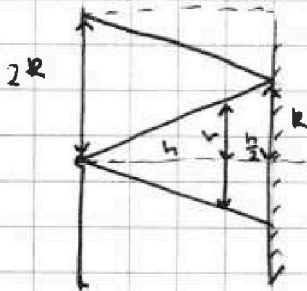
1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

25

а) Эти лучи, которые не попадают в линзу, доходят до зеркала и освещают его:

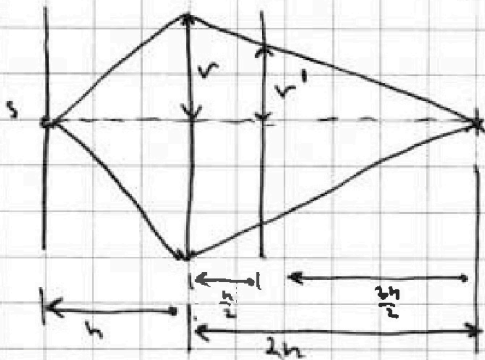


$$\frac{r}{h} = \frac{R \cdot 2}{3h} \Rightarrow R = \frac{3r}{2}$$

Затем эти лучи отражаются от зеркала и попадают на стелу, освещая её. Дело, что тогда на расстоянии (по вертикали)  $2R$  и более стела будет освещена.

б) Плеще разбейте с линзой, которые попадают в линзу. Поскольку предмет находится от линзы на расстоянии больше фокусного:

$$\frac{1}{h} + \frac{1}{f} = \frac{3}{2h} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{3-2}{2h} = \frac{1}{2h} \Rightarrow f = 2h \text{ (} f \text{ - расстояние между линзой и изображением предмета в линзе).}$$



Когда область зеркала займем

$S^*$   $r'$  будет освещена:

$$\frac{r}{2h} = \frac{r' \cdot 2}{5h} \Rightarrow r' = \frac{3r}{4}$$

Сила света, необходимая будет часть ~~каждой~~ ~~область~~ ~~зеркала~~ между  $r'$

и  $R$ . Ее площадь  $S = \pi R^2 - \pi r'^2 =$

$$= \pi \cdot \frac{9r^2}{4} - \pi \cdot \frac{9r^2}{16} = \pi \cdot \frac{9r^2}{4} \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{\pi \cdot 9r^2}{4} \cdot \frac{3}{4} = \frac{27\pi r^2}{16} =$$

$$= \frac{27\pi}{16} \cdot 16 = 27\pi \text{ см}^2.$$

в) Лучи, проходящие через линзу, попадают на зеркало и отражаются от него. А потом снова проходят через линзу.

г)  $S^*$  - минимальный предмет для зеркала. Его изображение  $S^{**}$  будет находиться на расстоянии  $\frac{3h}{2}$  от зер-

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

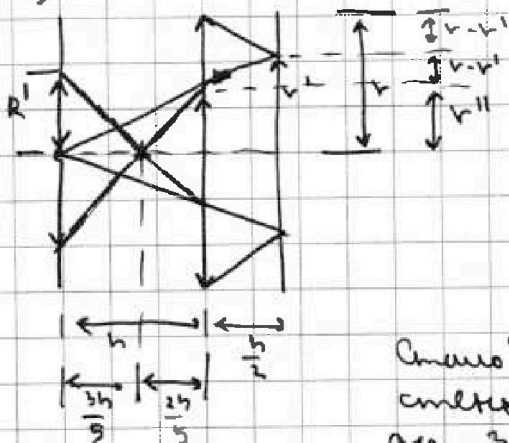
СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

если (то есть не расстоянием  $h$  от линзы слева от неё). Это изображение  $S^{**}$  для линзы будет минимально  $\Rightarrow$  расстояние  $f'$  между линзой и изображением определится в системе можно найти так как:

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f'} = \frac{1}{F} + \frac{1}{h} = \frac{3}{2h} + \frac{1}{h} = \frac{5}{2h} \Rightarrow f' = \frac{2h}{5}$$

5)



$$\Rightarrow v'' = v - 2 \cdot (v - v') = v - 2v + 2v' = 2v' - v = \frac{6v}{4} - v = \frac{3v}{2} - v = \frac{v}{2}$$

$$\frac{R' \cdot 5}{3h} = \frac{v'' \cdot 5}{2h} \Rightarrow R' = \frac{3v''}{2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{v}{2} = \frac{3v}{4}$$

Стало ясно, не будет обсежена часть между  $R'$  и  $2R$ , то есть между  $\frac{3v}{4}$  и  $3v$ . Поэтому этой части

можно найти как  $\pi \cdot 9v^2 - \pi \cdot \frac{9v^2}{16} = 9\pi v^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{16}\right) = 9\pi v^2 \cdot \frac{15}{16} = 9\pi \cdot 16 \cdot \frac{15}{16} = 135\pi \text{ см}^2$

Ответ: 1)  $27\pi$ .

2)  $135\pi$ .

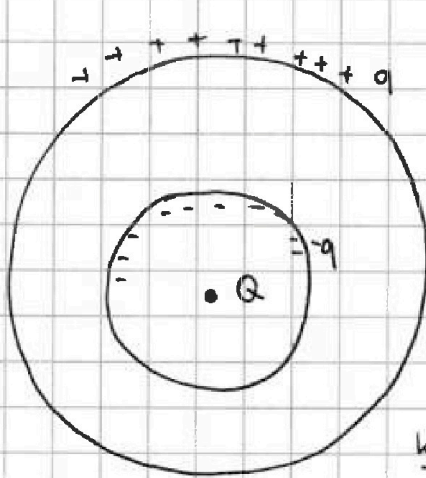


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  ИЗ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



$$(LI + B_{\text{внеш}})hS +$$

$$\frac{kQ}{R} - \frac{kq}{r} = \frac{kQ}{\epsilon_0 R^2}$$

$$kq = kQ - \frac{kQ \cdot \epsilon_0 (R-r)}{\epsilon_0 R^2}$$

$$q = \frac{Q \cdot (\epsilon_0 - 1)}{\epsilon_0}$$

$$\frac{kQ}{R} - \frac{kq}{R} + \frac{kq}{R} = \frac{kQ \cdot 2}{\epsilon_0 R} - \frac{kQ \cdot (\epsilon_0 - 1) \cdot 2}{\epsilon_0 \cdot R} + \frac{kQ \cdot (\epsilon_0 - 1)}{\epsilon_0 R} = \frac{2kQ}{\epsilon_0 R}$$

$$\Phi = (B_{\text{внеш}} + B_{\text{внут}})SN =$$

$$= (LI + B_{\text{внеш}}) \cdot S \cdot h$$

$$\mathcal{E} = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\epsilon}$$

$$\Phi = BS \cdot N = \frac{\mu_0 NI}{\epsilon} \cdot SN = \frac{\mu_0 S}{\epsilon} \cdot N^2 \cdot I$$

$$L_1 I_1 + L_2 I_2 = \text{const} = 0$$

$$\frac{\mu_0 S \cdot h^2}{\epsilon_1} = L$$

$$L_1 = L_2$$

$$\frac{\mu_0 S}{\epsilon_2} \cdot \frac{q h^2}{4} = \frac{qL}{4}$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{dB}{dt} \cdot S = aS$$

$$\Phi_1 = (LI + B_{\text{внеш}}) \cdot hS =$$

$$\Phi_2 = \left(\frac{qL}{4} \cdot I + B_{\text{внеш} \cdot 2}\right) \cdot \frac{3h}{2} \cdot S$$

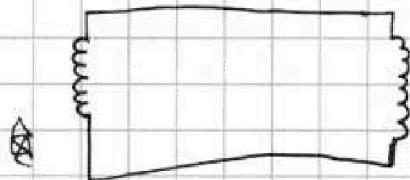
$$\mathcal{E}_1 = -\frac{d\Phi_1}{dt} = (LhS \cdot \dot{I} + hS \cdot \dot{B}_{\text{внеш} \cdot 1})$$

$$\mathcal{E}_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -\left(\frac{qL}{4} \cdot \frac{3h}{2} \cdot S \cdot \dot{I} + B_{\text{внеш} \cdot 2} \cdot \frac{3h}{2} S\right)$$

$$\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 0$$

$$LhS \dot{I} - hS a + \frac{27LhS}{8} \dot{I} = 0$$

$$\text{так } a = \frac{35LI}{8} \Rightarrow \dot{I} = \frac{8a}{35L}$$

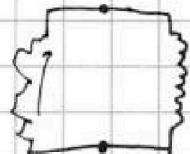


$$L_1 \dot{I} = -L_2 \dot{I}$$

$$LI = \Phi$$

$$\frac{+27}{35}$$

$$a = \frac{dB}{dt} = \frac{LI}{\epsilon_0} \frac{dI}{dt}$$





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

- 1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
\_\_ ИЗ \_\_

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$\frac{1}{5} + \frac{1}{f} = \frac{1}{25} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{3-2}{25} = \frac{1}{25} \Rightarrow f = 25$$

$$R/5 = \frac{f \cdot 2}{3f} \Rightarrow \frac{R}{R} = \frac{2}{3} \Rightarrow R = \frac{3R}{2}$$

$$25 - \frac{5}{2} = \frac{15}{2}$$

$$\sqrt{15} = \frac{36}{2 \cdot 24} = \frac{36}{48}$$

$$\sqrt{15} = \frac{36}{48}$$

$$\pi R^2 - \pi v^2 = \pi \cdot \frac{9v^2}{4} - \pi \cdot \frac{9v^2}{16} =$$

$$\frac{9v^2}{4} \pi \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) =$$

$$= \frac{9v^2}{4} \cdot \frac{3}{4} = \frac{27\pi v^2}{16}$$