



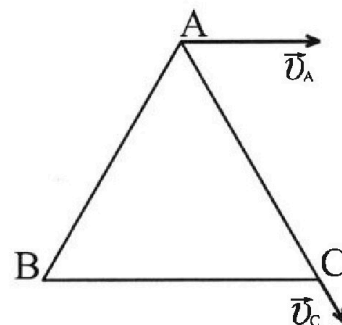
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 10-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Вырезанную из однородного листа металла пластину в форме равностороннего треугольника ABC (см. рис.) положили на гладкую горизонтальную плоскость и толкнули. Пластина пришла в движение. В момент $t = 0$ оказалось, что скорость $\vec{v}_A$ точки A параллельна стороне BC и по величине равна $v_A = 0,6$ м/с, а скорость $\vec{v}_C$ вершины C направлена вдоль стороны AC. Длины сторон треугольника $a = 0,3$ м.



1. Найдите модуль v_C скорости вершины C.

2. За какое время τ пластина в системе центра масс совершит восемь оборотов?

Пчела массой $m = 60$ мг прилетает и садится на пластину вблизи вершины B.

3. Найдите модуль R равнодействующей сил, приложенных к пчеле, сидящей на движущейся пластине. Масса пчелы пренебрежимо мала по сравнению с массой пластины.

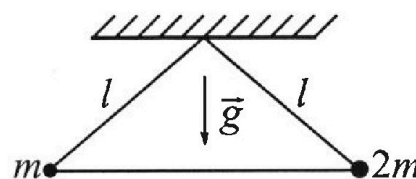
2. Фейерверк установлен на горизонтальной площадке. После мгновенного сгорания топлива начинается полет фейерверка по вертикали. В процессе подъема на высоте $h = 15$ м фейерверк находился через $\tau = 1$ с после начала полета.

1. На какую максимальную высоту H поднимается фейерверк? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

На максимальной высоте фейерверк разрывается на два осколка одинаковой массы, один из которых летит со скоростью $V_0 = 30$ м/с. Направление вектора $\vec{V}_0$ скорости таково, что расстояние между осколками после падения на горизонтальную площадку максимальное.

2. Найдите максимальное расстояние L_{MAX} между осколками после падения осколков на горизонтальную площадку.

3. Два шарика с массами $m = 200$ г и $2m$ подвешены на невесомых нерастяжимых нитях длины l , прикрепленных к одной точке потолка. Шарик скреплен с легким стержнем длины $L = 1,2l$. Систему удерживают так, что шарик находится на одной высоте. Далее систему освобождают.



1. Какой угол α с горизонтом образует вектор $\vec{a}_1$ ускорения шарика массой m сразу после освобождения системы? В ответе укажите $\sin \alpha$.

2. Найдите модуль a_1 ускорения шарика массой m сразу после освобождения системы. Начальная скорость нулевая. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

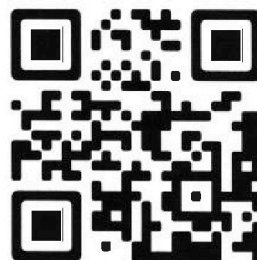
3. Найдите модуль T упругой силы, с которой стержень действует на этот шарик сразу после освобождения системы.



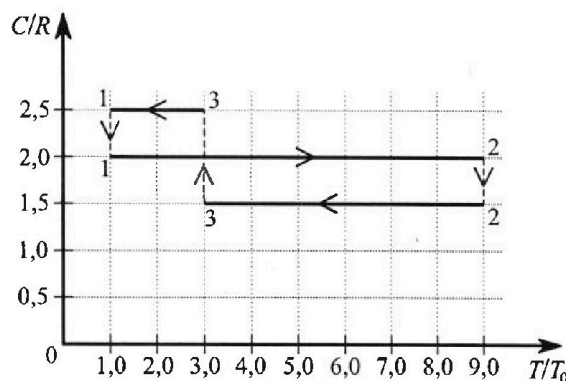
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2025

Вариант 10-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



4. Подъемник грузов приводится в движение с помощью тепловой машины, в которой $\nu = 1$ моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1. Зависимость молярной теплоемкости газа в цикле от температуры представлена на графике к задаче, $T_0 = 200$ К.

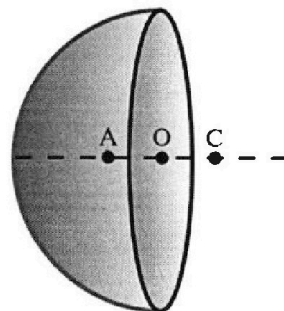


1. Постройте график процесса в координатах $(P/P_0, V/V_0)$, здесь P_0, V_0 – давление и объем газа в состоянии 1.

2. Какое количество Q_1 теплоты подводится к газу в процессе расширения за один цикл?

3. На какую высоту H подъемник медленно переместит груз массой $M = 415$ кг за $N = 25$ циклов тепловой машины? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с², универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Считайте, что в каждом цикле половина работы газа за цикл преобразуется в полезную работу подъемника.

5. По поверхности закреплённой диэлектрической полусферы однородно распределен заряд Q . Точки А, О, С находятся на оси симметрии (см. рис.). Точка О удалена от всех точек полусферы на расстояние R . Из точки А стартовала с нулевой начальной скоростью частица, масса которой m , заряд q . В точке О кинетическая энергия частицы равна K .



1. С какой скоростью V частица движется на большом по сравнению с R расстоянии от точки О? Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие на частицу всех сил кроме кулоновских пренебрежимо мало.

2. Найдите скорость V_C , с которой частица движется в точке С. Точки А и С находятся на неизвестных равных расстояниях от точки О.

Эффекты, связанные с поляризацией диэлектрика, считайте пренебрежимо малыми. Скорость частицы в любой точке траектории мала по сравнению со скоростью электромагнитных волн в вакууме.

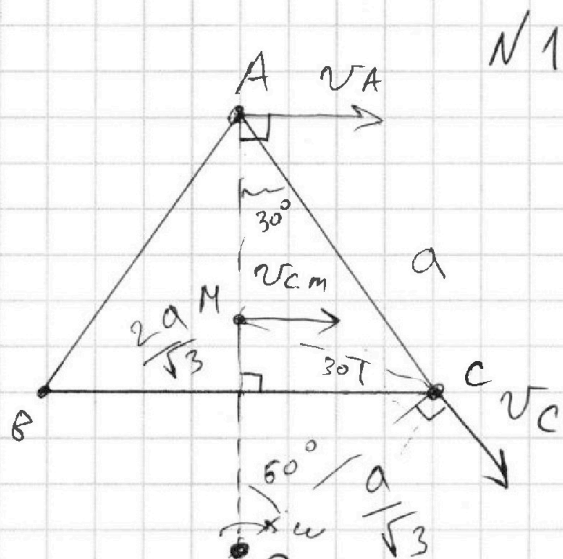


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 10

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!



Построим точку O.
O - мгновенный
центр вращения

$$AC = a$$

$$\angle OAC = 30^\circ$$

$$AO = \frac{2a}{\sqrt{3}} \quad OC = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

ц.м. - в точке M - пересечение медиан.

M - O - мгновенный центр вращения:

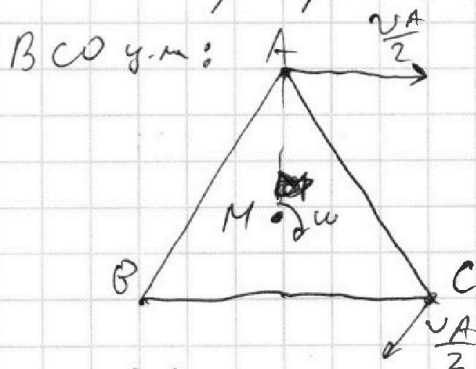
$$\frac{v_A}{AO} = \frac{v_C}{CO} \Rightarrow v_C = \frac{v_A}{2} = 0,3 \frac{v}{c}$$

Найдем v_{CM}

$$AM = MO = \frac{a}{\sqrt{3}} \text{ (из геометрии)}$$

$$\frac{v_{CM}}{OM} = \frac{v_A}{AO} \Rightarrow v_{CM} = \frac{v_A}{2}$$

Перейдем в СО центр масс



$$\omega = \frac{v_A}{2 \cdot AM} = \frac{v_A}{2 \cdot \frac{a}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot v_A}{2 \cdot a} = 1,73 \text{ c}^{-1}$$

$$\tau = \frac{2\pi N}{\omega} = \frac{2\pi N}{\frac{\sqrt{3} v_A}{2 \cdot a}} = \frac{4\pi N a}{\sqrt{3} v_A} \approx 29 \text{ c}$$

$$\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 0,3}{\sqrt{3} \cdot 0,6} = \frac{3,14 \cdot 16}{\sqrt{3}} \approx 10,1,75 = 28$$



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 10

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!

N2

$$h = v_0 \tau - \frac{g \tau^2}{2}$$

$$v_0 = \frac{h + \frac{g \tau^2}{2}}{\tau} = \frac{h}{\tau} + \frac{g \tau}{2} = 20 \frac{m}{c}$$

$$H = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{\left(\frac{h}{\tau} + \frac{g \tau}{2}\right)^2}{2g} = 20 m$$

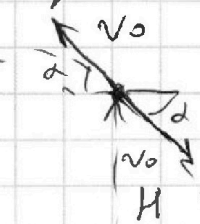
На макс. высоте $v_{\text{центр}} = 0 \Rightarrow \vec{p}_{\text{системы}} = 0$

ЗСЦ:

$$m v_0 - m v_1 = 0$$

$$v_0 = v_1$$

$\Rightarrow$ скорости шаров равны по модулю, но противоположны по направлению. т.к. суммарный импульс системы до взрыва был 0.



$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha$$

Найдем v_y' у земли из ЗСЭ:

$$v'^2 = v_0^2 + 2gH$$

$$v_y'^2 = v_0^2 + 2gH - v_0^2 \cos^2 \alpha$$

$$= v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH$$

$$v_y' = \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH}$$

$$\tau_1 = \frac{v_0 \sin \alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH}}{g}$$

$$\tau_2 = \frac{\sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH} - v_0 \sin \alpha}{g}$$



1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
4 из 10

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

$$L_1 = v_0 \cos \alpha \tau_1$$

$$L_2 = v_0 \cos \alpha \tau_2$$

τ_1, τ_2 - время полета
осколков

L_1, L_2 - расстояние

по горизонтали от

точки пуска фрейбурга

до падения осколков.

$$L = L_1 + L_2$$

$$= v_0 \cos \alpha (\tau_1 + \tau_2)$$

$$= v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2}{g} \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH}$$

$$= \frac{2v_0}{g} \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 2gH \cos^2 \alpha}$$

$$L \rightarrow \max \Rightarrow \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 2gH \cos^2 \alpha} \rightarrow \max$$

$$v_0^2 (1 - \cos^2 \alpha) \cos^2 \alpha + 2gH \cos^2 \alpha$$

$$= (v_0^2 + 2gH) \cos^2 \alpha - v_0^2 \cos^4 \alpha$$

$$\cos^2 \alpha \in [-1; 1] \quad \cos^2 \alpha \in [0; 1]$$

$$\max \text{ при } \cos^2 \alpha = \frac{v_0^2 + 2gH}{2v_0^2}$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{2} + \frac{gH}{v_0^2} < 1 \Rightarrow \text{подходит}$$

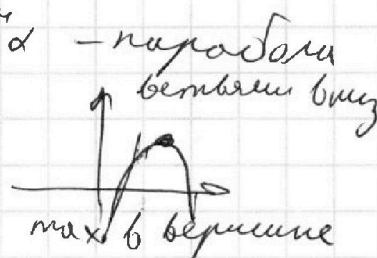
$$= \frac{1}{2} + \frac{2}{9} = \frac{13}{18}$$

$$L_{\max} = \frac{2v_0}{g} \sqrt{\frac{(v_0^2 + 2gH)^2}{4v_0^2}} = \frac{v_0^2 + 2gH}{g} = \frac{v_0^2}{g} + 2H$$

$$= 130 \text{ м}$$

$$\text{Ответ: } H = \frac{\left(\frac{h}{\tau} + \frac{g\tau}{2}\right)^2}{2g} = 20 \text{ м}; \quad L_{\max} = \frac{v_0^2}{g} + 2H = 130 \text{ м}$$

$$L = \frac{v_0^2}{g} + 2H = 130 \text{ м}$$





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
5 из 10

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!

$\sqrt{3}$

$BM = MC = 0,3 \text{ м}$ $AM = 0,3 \text{ м}$
 м.к. стержня легкий
 $\sum F = 0$ $\sum M = 0$
 сила вдоль стержня равна,
 $\Rightarrow$ сил перпендикулярных стержню нет
 м.к. имеет перемещение, ускорение шариков направлено перпендикулярно AB

~~...~~
 $a_n = 0$ м.к. $\angle WAP = 0$
 $\sin \alpha = \frac{3}{5}$ $\cos \alpha = \frac{4}{5}$

$$T \cos \alpha = mg \sin \alpha = ma_1$$

$$2mg \sin \alpha - T \cos \alpha = 2ma_2$$

$a_1 = a_2$ м.к. длины нитей равны и стержень твердый
 $T_1 > 0$ $T_2 > 0$
 $\Rightarrow$ нити натянуты.

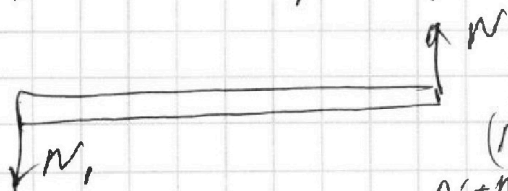
$$a_1 = \frac{g \sin \alpha}{3} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$T = \frac{4}{3} mg \sin \alpha = \frac{4}{3} mg \tan \alpha = mg = 2 \text{ Н}$$

Ответ: $\sin \alpha = \frac{3}{5} = 0,6$, $a_1 = \frac{g \sin \alpha}{3} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$$T = \frac{4}{3} mg \tan \alpha = mg = 2 \text{ Н}; \sin \alpha = 0,6$$

Докажем, что сил перпендикулярных стержню нет.



$$N = N_1, \text{ м.к. } \sum F = 0$$

$$(N + N_1) \frac{L}{2} = 0 \text{ м.к. } \sum M = 0$$

$$N + N_1 = 0 \Rightarrow N = 0 - N_1 = 0$$



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
7 из 10

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!

N4

для одноатомного газа:

$$C_V = \frac{3}{2} R; C_P = \frac{5}{2} R \quad C_M = \frac{C}{V}$$

$$C = \frac{3}{2} R \Rightarrow V = \text{const} \text{ т.к. это изохорический процесс}$$

$$C = \frac{5}{2} R \Rightarrow p = \text{const} \text{ т.к. это изобарический процесс}$$

$$pV = \nu RT \quad \Delta pV + p\Delta V = \nu R\Delta T$$

процесс 1-2: ~~процесс 1-2~~

$$C_M = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T + p \Delta V}{\nu \Delta T} = \frac{3}{2} R + \frac{p \Delta V}{\nu \Delta T}$$

$$= \frac{3}{2} R + \frac{p \Delta V + \Delta pV}{\nu \Delta T + \Delta pV} = 2R \quad (\text{процесс 1-2})$$

$$p \Delta V = \frac{1}{2} (p \Delta V + \Delta pV) \Rightarrow \Delta pV = p \Delta V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = \alpha V \quad p \sim V$$

точка 1: $p_1 V_1 = \nu R T_0$

точка 2: $p_2 V_2 = 9 \nu R T_0$

точка 3: $p_3 V_3 = 3 \nu R T_0$

$p_1 = p_3$ т.к.
1-3 - изобара

$V_2 = V_3$ т.к.
2-3 - изохора

$p_1 = p_3 = p_2$ $p_2 = 3p_1 = 3p_3$
 $V_2 = V_3 = 3V_1$ 1 ($p_0; V_0$) 2 ($3p_0; 3V_0$) 3 ($p_0; 3V_0$)

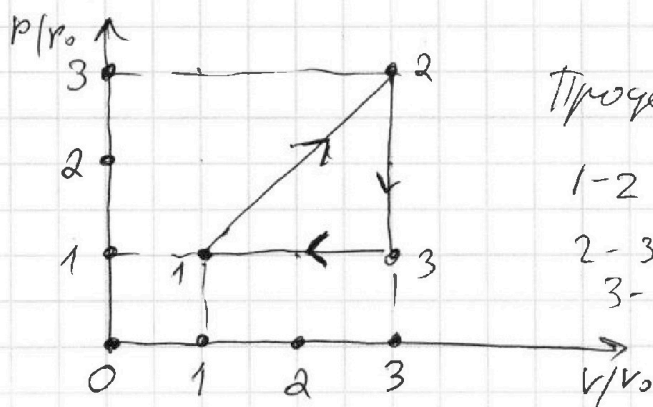


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
8 из 10

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!



Процесс идет так, так как

$$1-2 \Rightarrow p = \alpha V$$

$$2-3 \Rightarrow V = \text{const}$$

$$3-1 \Rightarrow p = \text{const}$$

$$C = 2VR$$

Процесс расширения: 1-2 $Q_1 = 2VR \cdot \Delta T = 16VRT_0$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} VR \Delta T_{12} + A_{12} = 12p_0V_0 + 4p_0V_0 = 16VRT_0$$

$$p_0V_0 = VRT_0$$

$$A_{12} = \frac{3p_0 + p_0}{2} \cdot 2V_0$$

$$3p_0V_0 = 3VRT_0$$

$$= 4p_0V_0 = 4VRT_0$$

$$Q_{12} = 16VRT_0 \approx 26,6 \text{ кДж}$$

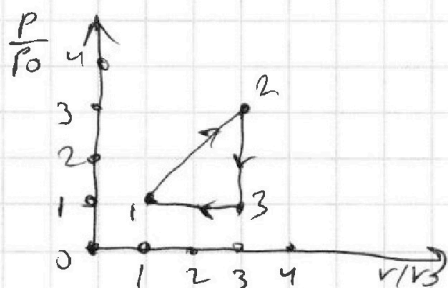
$$A_{12} = \frac{2p_0 \cdot 2V_0}{2} = 2p_0V_0 = 2VRT_0$$

работа газа за один цикл $\frac{N \cdot A_{12}}{2} = \Delta E_{\text{вот}} = Mgh$

$$Mgh = A_{12} \cdot N/2$$

$$H = \frac{A_{12} \cdot N}{2Mg} = \frac{2VRT_0 \cdot N}{2Mg} = \frac{2VRT_0 N}{Mg}$$

Ответ: $Q_1 = 16VRT_0 \approx 26,6 \text{ кДж}$; $H = \frac{2VRT_0 N}{Mg} = 10 \text{ м}$



$$\begin{aligned} &1 \cdot 4,15 \cdot 2 \cdot 200 \cdot 25 = 3320 \\ &4,15 \cdot 200 \cdot 10 = 830 \\ &1 \cdot 8,31 \cdot 200 \cdot 25 = 4155 \\ &8,31 \cdot 100 \cdot 10 = 831 \\ &1662 \cdot 16 = 26602 \\ &8,31 \cdot 200 \cdot 16 = 26602 \\ &1 \cdot 8,31 \cdot 200 \cdot 25 = 4155 \\ &4,15 \cdot 100 = 415 \\ &1 \cdot 8,31 \cdot 2 \cdot 25 = 415,5 \\ &4,15 \cdot 10 = 41,5 \\ &10 \text{ м} \end{aligned}$$



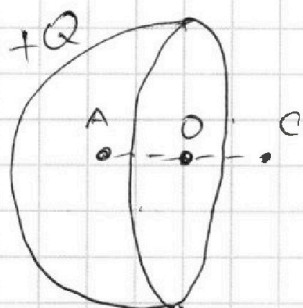
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1
☐2
☐3
☐4
☐5
☒6
☐7
☐СТРАНИЦА
9 из 10

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!

N5

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$



$$\phi_0 = \frac{kQ}{R} \quad \phi_\infty = 0$$

ЗСЭ:

$$(\phi_0 - \phi_\infty) \cdot q = \Delta E_k = \frac{mv^2}{2} - K$$

$$\frac{kQq}{R} = \frac{mv^2}{2} - K \quad v = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{kQq}{R} + K \right)}$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R} + K \right)}$$

ЗСЭ:

$$(\phi_A - \phi_0)q = \Delta E_k = K$$

$$\phi_0 - \phi_C = \Delta \phi_x$$

Дополним ^{полку} сферу до полной ~~сферы~~ сферой

грубой половинкой. $E_\infty = 0$ - поле

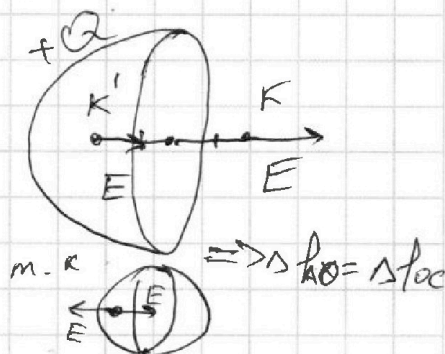
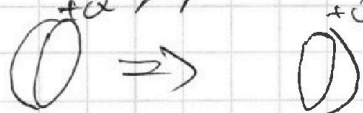
внутри сферы $\Rightarrow \phi = \text{const} \quad \phi_0 - \phi_A = 0$

$$\phi_0 - \phi_C = 0$$

$$-(\phi_A - \phi_0) = \Delta \phi_1 \quad (\phi_0 - \phi_C) = \Delta \phi_x$$

- для полушара в условии.

или ^{+Q} ~~сферу~~ ^{+Q} полушару и поставим симметрично ~~грубую~~ ^{грубую}.





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
10 из 10

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!

$(r_0 - r_A)_2 = \Delta r_x$ из симметрии;
 $(r_c - r_0)_2 = \Delta r_1$ — при симметричной полусфере

Если совместить обе полусферы:

$\bigcirc + \bigcirc \Rightarrow \bigcirc$ получится сфера,
 где $r_0 = r_A = r_c$

По принципу суперпозиции:

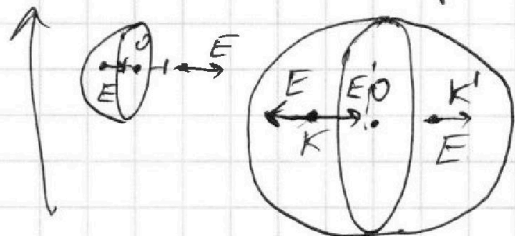
$(r_0 - r_A)_{\text{сф}} = (r_0 - r_A)_1 + (r_0 - r_A)_2 = 0$
 $-\Delta r_1 + \Delta r_x = 0 \Rightarrow \Delta r_x = \Delta r_1$

В искомым случае:

ЗСЭ: $r_A - r_0 = r_0 - r_c$ м.к $r_c - r_A = 2(r_0 - r_A)$
 $(r_c - r_A)q = \Delta E_k = K_1 = 2K = \frac{mv_c^2}{2}$

$v_c = 2\sqrt{\frac{K}{m}}$

Ответ: $v = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R} + K \right)}$; $v_c = 2\sqrt{\frac{K}{m}}$



Поля создаваемые каждой полусферой в точке К равны по модулю и противоположны по направлению.

Полусфера создает одинаковое поле E во всех точках симметричных центру.
 $\Rightarrow \Delta r$ вдоль диаметра и симметричными точками.