

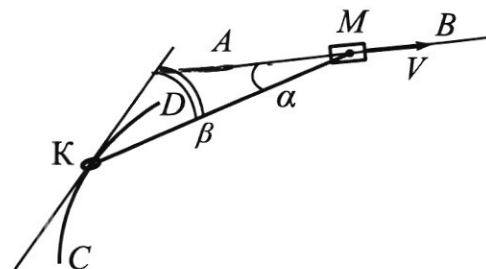
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-02

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без 1

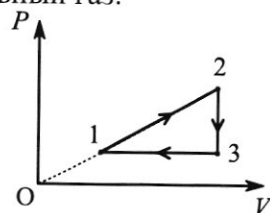
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

- 1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.
- 2) Найти для процесса 1-2 отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



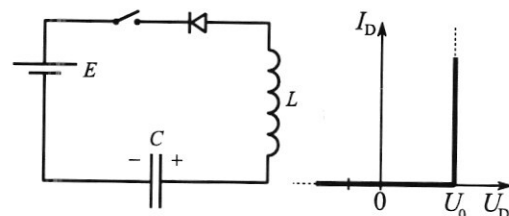
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
- 2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
- 3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

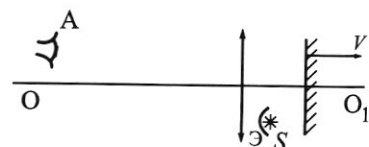
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.

- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.



5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/3$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
- 2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.

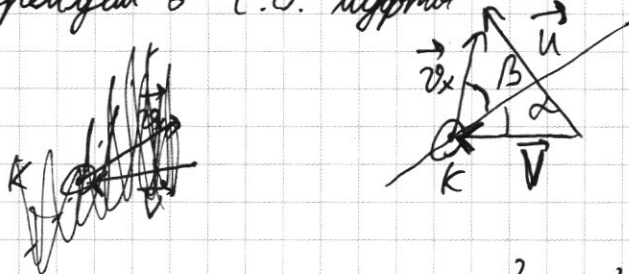


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

- 1) Пл.к. трос натянут, то проекции скоростей муфты и кольца на ось троса равны, т.е. $V \cos \alpha = v_x \cos \beta$, где v_x - искомая скорость кольца. $v_x = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{40 \cdot \frac{3}{5}}{\frac{8}{17}} = 51$ м/с, скорость кольца всегда вдоль касательной

- 2) Перейдем в С.О. муфты $\vec{u}$ - искомая скорость в С.О. муфты



по теореме косинусов $u^2 = v_x^2 + V^2 - 2Vv_x \cos(\alpha + \beta)$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} = -\frac{36}{85}$$

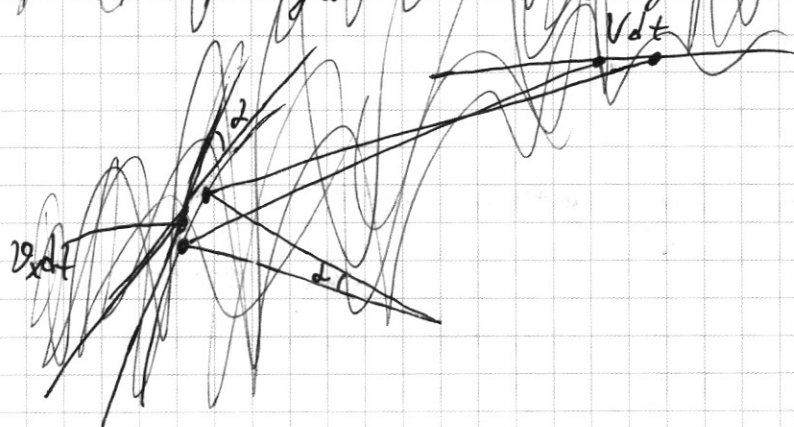
$$\sin \alpha = \frac{4}{5} \quad \sin \beta = \frac{15}{17}$$

$$u = \sqrt{v_x^2 + V^2 + 2Vv_x \cdot \frac{36}{85}} = \sqrt{51^2 + 40^2 + 2 \cdot 40 \cdot 51 \cdot \frac{36}{85}} =$$

$$= \sqrt{2601 + 1600 + 1728} = \sqrt{5929} = 77 \text{ м/с}$$

- 3) ~~Ускорение кольца~~ $\frac{v_x^2}{R}$ - центростремительное ускорение кольца (по оси x)

Рассмотрим систему через малый промежуток времени dt , кабина пройдет расстояние $v_x dt$, широта $V dt$, скорость широты постоянна, найдём на сколько изменится скорость кабеля

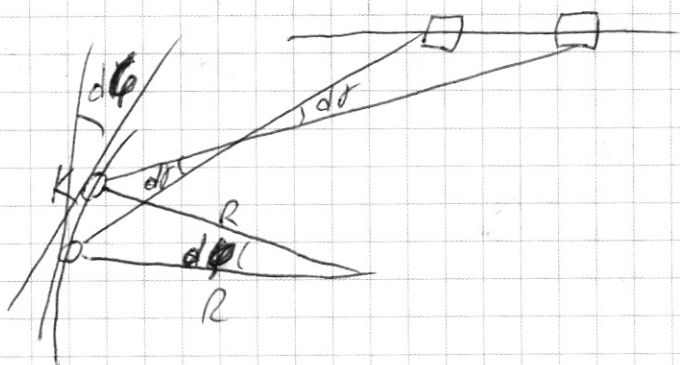


Угловая скорость троса не зависит от ~~на~~ перехода в неинвариантную СО, т.е. она равна $\omega = \frac{u}{r} = \frac{15 \text{ км}}{17 \text{ км}}$, м.к.

В СО широты кабина движется перпендикулярно тросу по окружности радиусом длины троса.

Рассмотрим систему через малый промежуток времени dt , тогда трос повернется на $\omega dt = d\alpha$ по часовой стрелке и угол α уменьшится на $d\alpha$, а кабина сдвинется на $dx = v_x dt$ и касательная к окружности в точке К повернется на $d\varphi = \frac{dx}{R} = \frac{v_x dt}{R}$ по часовой стрелке из-за чего угол β

увеличится на $d\alpha - d\varphi$.



Продолжение на странице 7

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2

1) Понижение температуры происходит на 2-3 и 3-1. Молярная теплоёмкость изохоры одноатомного газа $C_V = \frac{3}{2}R$, изобары $C_P = \frac{5}{2}R$, их отношение $\frac{C_P}{C_V} = \frac{5}{3}$

2) Пусть в точке 1 параметры газа P_0 и V_0 , а в точке 2 они увеличились в λ раз, тогда $\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} \Delta(PV) = \frac{3}{2} P_0 V_0 (\lambda^2 - 1)$, а работа газа $A_{1-2} = \frac{P_0 + \lambda P_0}{2} \cdot (\lambda V_0 - V_0) = \frac{P_0 V_0}{2} (\lambda^2 - 1)$, тогда $Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2} = \frac{3}{2} P_0 V_0 (\lambda^2 - 1) + \frac{1}{2} P_0 V_0 (\lambda^2 - 1) = 2 P_0 V_0 (\lambda^2 - 1)$, откуда $\frac{Q_{1-2}}{A_{1-2}} = 4$

3) Работа цикла $A_{cy} = A_{1-2} - |A_{3-1}|$, $\eta = \frac{A_{cy}}{Q_{1-2}}$, т.к. тепло

поглощается только на 1-2 ~~и на 2-3~~

$$\eta = \frac{A_{1-2} - |A_{3-1}|}{Q_{1-2}} = \frac{1}{4} - \frac{|A_{3-1}|}{Q_{1-2}}, \text{ т.е. } \eta_{\max} \text{ при } |A_{3-1}| = \min, \text{ т.е.}$$

при $|A_{3-1}| = 0 \quad \eta_{\max} = \frac{1}{4} = 25\%$

Ответ: 1) $\frac{5}{3}$ 2) 4 3) 25%

N3

1) начальная скорость V_1 , конечная 0, пройденный путь $S = d - 0,2d = 0,8d$, т.к. она движется от "-" обкладки, иначе она бы разогналась
 $\frac{V_1}{2} T = S \Rightarrow \frac{V_1}{2} T = 0,8d \Rightarrow T = \frac{1,6d}{V_1}$, т.к. $E = \text{const} \Rightarrow F = \text{const} \Rightarrow a = \text{const}$

2) напряжённость в конденсаторе $E = \frac{U}{d}$, по II закону Ньютона
 $ma = Eq \Rightarrow a = E \frac{q}{m} = \frac{U}{d} \gamma, \alpha = \frac{V_1}{T} \Rightarrow \frac{U}{d} \gamma = \frac{V_1^2}{1,6d} \Rightarrow U = \frac{V_1^2}{1,6\gamma}$

3) вне конденсатора напряжённость 0, т.е. на частицу не действуют никакие силы и её скорость постоянна и равна $V_1 \Rightarrow V_0 = V_1$

Ответ: 1) $\frac{1,6d}{V_1}$ 2) $\frac{V_1^2}{1,6\gamma}$ 3) V_1
 N4

1) Т.к. ключ только замыкался, тогда нет и напряжение диода 0, т.к. ему нужно время, чтобы заряды отделились, тогда по методу потенциалов $U_1 - E = U_2$ ~~$U_1 - E = U_2$~~ $\Rightarrow U_1' = U_1 - E = 15 \text{ В}$, сам этот сразу после замыкания значит, что прошёл очень малый промежуток времени, то ток начался и напряжение на диоде равно $U_0 \Rightarrow U_1 - E - U_0 = LI' \Rightarrow$

$$I' = \frac{U_1 - E - U_0}{L} = 10 \frac{\text{А}}{\text{с}} \text{ по методу потенциалов}$$

2) При максимальном токе напряжение диода U_0 , катушки 0, тогда $U_c = E + U_0 = 4 \text{ В}$, где U_c - напряжение конденсатора и в цепи протёк заряд $q = \frac{(U_1 - U_0)}{\gamma}$ - изменение заряда конденсатора, тогда работа источника $A_E = -qE$, тепло выделившееся на диоде $Q = U_0 q$ и по ЗСЭ

$$\frac{CU_1^2}{2} + A = \frac{CU_c^2}{2} + Q + \frac{LI_{\text{max}}^2}{2}, \text{ где } \frac{LI_{\text{max}}^2}{2} - \text{энергия катушки}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$L I_{\max}^2 = C U_1^2 - C U_0^2 + 2 A_E - 2 Q$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{C U_1^2 - C U_0^2 + 2 A_E - 2 Q}{L}}$$

$$\sqrt{\frac{10^{-6} \cdot 36 - 20 \cdot 10^{-6} (3+1)^2 - 2 \cdot 3 \cdot \frac{8-3-1}{20 \cdot 10^{-6}}}{L}}$$

$$= \sqrt{\frac{C U_1^2 - C U_0^2 - 2 E C \frac{U_1 - U_0}{L} - 2 U_0 \frac{U_1 - U_0}{L}}{L}} = \sqrt{\frac{C}{L}} \sqrt{U_1^2 - U_0^2 - 2 E (U_1 - U_0) - 2 U_0 (U_1 - U_0)}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{10000}} \sqrt{36 - 16 - 12 - 4} = 0,02 \text{ A}$$

3) U_2 станет тогда, когда ток станет равным 0 и диод закроется. ~~конденсатор при этом будет заряжен~~

Пусть в цепи к этому моменту протекает заряд q_x , он течет только против часовой стрелки, следовательно новый заряд конденсатора $q_n = |q_x - C U_1|$, где $C U_1$ — начальный заряд, работа источника $A_{E2} = -q_x E$, а тепло на диоде

$Q_2 = U_0 q_x$, ~~тогда~~ энергия катушки 0, тогда по ЗСЭ:

$$\frac{C U_1^2}{2} + A_{E2} = \frac{(q_x - C U_1)^2}{2C} + Q_2$$

$$\frac{C U_1^2}{2} = \frac{q_x^2 - 2 q_x C U_1 + C^2 U_1^2}{2C} + E q_x + U_0 q_x$$

$$\frac{C U_1^2}{2} = \frac{q_x^2}{2C} - q_x U_1 + E q_x + U_0 q_x + \frac{C U_1^2}{2}$$

$$q_x \left(\frac{q_x}{2C} - (U_1 - E - U_0) \right) = 0$$

$$q_x = 2C(U_1 - E - U_0)$$

$$q_n = |q_x - C U_1| = |C U_1 - 2 C E - 2 C U_0| = C |U_1 - 2E - 2U_0|$$

$$u_2 = \frac{q_H}{C} = |u_1 - 2\phi - 2u_0| = 2V$$

Ответ: 1) ~~10~~ $\frac{A}{C}$ 2) 0,02 A 3) 2B

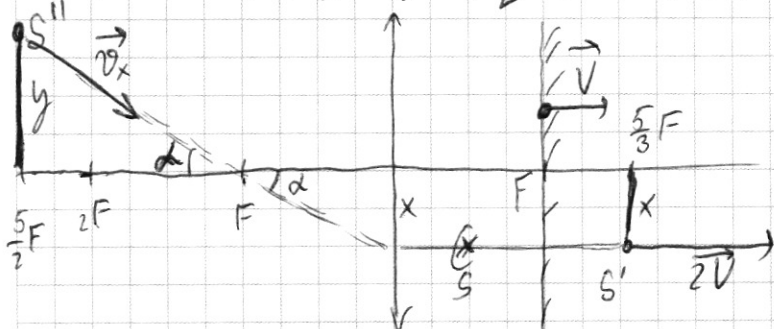
N5

1) Первичное изображение S' в зеркале находится ~~на~~ z_0 зеркалом на расстоянии $F - \frac{F}{3} = \frac{2F}{3}$ от него, т.к. изображение в зеркале всегда на том же расстоянии от него, что и предмет. S' находится на расстоянии $d = F + \frac{2F}{3} = \frac{5F}{3} > F$ от линзы, ~~т.е.~~ его изображение S'' слева от линзы на расстоянии f от неё. По формуле линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow$

$$f = \frac{Fd}{d-F} = \frac{\frac{5}{3}F^2}{\frac{5}{3}F - F} = \frac{5}{2}F - \text{искомое расстояние}$$

2) S' движется со скоростью $2V$, т.к. предмет и его изображение в зеркале движутся симметрично зеркалу в СО зеркала, в СО зеркала S движется со скоростью V влево, значит S' со скоростью V вправо и возвращаясь в линзу со S' со скоростью $2V$ вправо.

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{3}{2}$$



Предмет всегда летит на ~~луче~~ ^{луче} проходящем ~~и~~ ^и через него вдоль его вектора скорости, значит S'' тоже летит ~~на~~ ^и всегда на этом луче и его скорость направлена ~~вдоль~~ ^и него, $2\vec{V} \parallel OO, \Rightarrow$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Этот луч $\perp$ плоскости линзы $\Rightarrow$ он проходит через $F \Rightarrow$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{F} = \frac{8}{15} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} \frac{8}{15}, \text{ где } \alpha - \text{искомый угол}$$

3) Как известно ^{проекция изображения} отношение скорости ~~изображения~~ на OO_1 к проекции скорости предмета на OO_1 равна $\beta = \Gamma^2 = \frac{9}{4}$, проекция скорости предмета $S' 2V$, а скорости изображения $S'' v_x \cos \alpha$, где v_x - ~~искомая~~ скорость, $\frac{v_x \cos \alpha}{2V} = \frac{9}{4} \Rightarrow v_x = \frac{9V}{2 \cos \alpha}$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17} \Rightarrow v_x = \frac{9V}{2 \cdot \frac{15}{17}} = \frac{153V}{30} = \frac{51V}{10}$$

Ответ: 1) $\frac{5}{2} F$ 2) $\operatorname{arctg} \frac{8}{15}$ 3) $\frac{51}{10} V$

Продолжение задачи 1 пункт 3

Найдем новую скорость кольца, т.к. скорость шара не изменилась, проекции на ось проса скоростей все еще равны.

$$V \cdot \cos(\alpha - d\gamma) = v_n \cos(\beta + d\gamma - d\varphi), \text{ где } v_n - \text{новая скорость кольца}$$

$$V(\cos \alpha + d\gamma \sin \alpha) = v_n(\cos \beta - (d\gamma - d\varphi) \sin \beta)$$

$$v_n = V \frac{(\cos \alpha + d\gamma \sin \alpha)}{\cos \beta - (d\gamma - d\varphi) \sin \beta} = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \frac{1 + d\gamma \operatorname{tg} \alpha}{1 - (d\gamma - d\varphi) \operatorname{tg} \beta} = v_x (1 + d\gamma \operatorname{tg} \alpha)$$

$$\begin{aligned} & \cdot (1 - (d\gamma - d\varphi) \operatorname{tg} \beta)^{-1} = v_x (1 + d\gamma \operatorname{tg} \alpha) / (1 + (d\gamma - d\varphi) \operatorname{tg} \beta) = \\ & = v_x + v_x (d\gamma \operatorname{tg} \alpha + d\gamma \operatorname{tg} \beta - d\varphi \operatorname{tg} \beta) = v_x + v_x d\gamma \left(\frac{15}{17} (\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha) - \right. \\ & \left. \frac{v_x}{2} \operatorname{tg} \beta \right), \operatorname{tg} \alpha = \frac{4}{3}, \operatorname{tg} \beta = \frac{15}{8}, \text{ откуда тангенциальное ускорение} \end{aligned}$$

$$\text{кольца } a_\tau = \frac{v_n - v_x}{dt} = \frac{v_x}{2} \left(\frac{15}{17} (\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha) - \frac{v_x}{2} \operatorname{tg} \beta \right) =$$

$$= \frac{v_x}{2} \left(\frac{15}{17} \left(\frac{77}{24} \right) - \frac{v_x}{2} \frac{15}{8} \right) = \frac{v_x}{2} \left(\frac{5.77}{17.8} - \frac{15}{8} v_x \right)$$

а максимальное ускорение кабеля создается только силой натяжения

троса $\Rightarrow$ по II закону Ньютона $ma_T = T \cos \beta \Rightarrow$

$$T = \frac{ma_T}{\cos \beta} = \frac{m v_x}{2 \cos \beta} \left(\frac{5-77}{8-77} u - \frac{15}{8} v_x \right) = \frac{1 \cdot 51}{17 \cdot \frac{8}{17}} \left(\frac{5-77}{8-17} \cdot 77 - \frac{15}{8} \cdot 51 \right) =$$

$$= \frac{510}{8} \left(\frac{5}{8-17} 77^2 - \frac{5 \cdot 3}{8} \cdot 51 \right) = \frac{17 \cdot 30}{8} \left(\frac{5}{8-17} \cdot 77^2 - \frac{5}{8} \cdot 3 \cdot 51 \right) =$$

$$= \frac{30}{8} \cdot \frac{5}{8} (77^2 - 51^2) = \frac{150}{64} \cdot 26 \cdot 128 = 150 \cdot 52 = 7800 \frac{\text{H}}{10000} = 0,78 \text{ H}$$

Ответ: 1) 51 см/с 2) 77 см/с 3) 0,78 Н

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten calculations and diagrams on graph paper:

Calculations:

$$\begin{array}{r} 71 \\ \times 71 \\ \hline 71 \\ 497 \\ \hline 5041 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 79 \\ \times 79 \\ \hline 711 \\ 553 \\ \hline \end{array}$$

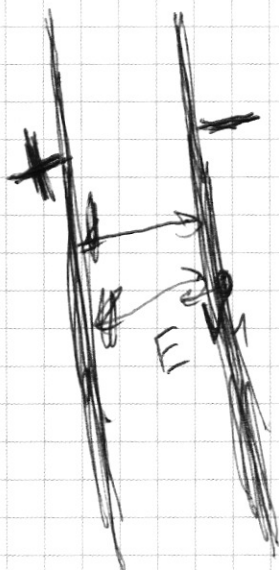
$$\begin{array}{r} 77 \\ \times 77 \\ \hline 539 \\ 539 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36 \\ \times 48 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 144 \\ \times 12 \\ \hline 288 \\ 144 \\ \hline 1728 \end{array}$$

Diagrams:

- A vector diagram showing a vector $\vec{r}$ originating from a point O and pointing towards a small square box. The vector is labeled $10x$.
- A diagram showing a vector $\vec{r}$ originating from a point O and pointing towards a small square box. The vector is labeled αx .
- A diagram showing a vector $\vec{r}$ originating from a point O and pointing towards a small square box. The vector is labeled α .
- A diagram showing a vector $\vec{r}$ originating from a point O and pointing towards a small square box. The vector is labeled β .
- A diagram showing a vector $\vec{r}$ originating from a point O and pointing towards a small square box. The vector is labeled α .



← ●

$$\begin{array}{r} 64 \\ \times 24 \\ \hline 448 \\ 128 \\ \hline 7728 \end{array}$$