



ШИФР

В-5

(заполняется представителем Оргкомитета)

## Письменная работа

Межрегиональная олимпиада школьников  
БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ - БУДУЩЕЕ НАУКИпо ФИЗИКЕ

(наименование общеобразовательного предмета)

Дата проведения 03.03.24ФИО участника (полностью) ЩЕРБАТЫХ СТАНИСЛАВ ОЛЕГОВИЧДата рождения                     Класс 11Школа № 38район ЛЕНИНСКИЙгород ВОРОНЕЖ

**Особые отметки** (Заполняется представителем оргкомитета)  
о добавлении листов, о смене цвета пасты, о нарушении правил поведения и т.д.

**Правила поведения**

Участник очного тура олимпиады обязан:

- занять место, которое ему указано представителями оргкомитета;
- соблюдать тишину;
- использовать для записей только листы установленного образца;
- работать самостоятельно и не оказывать помощь в выполнении задания другим участникам.

**Внимание.** Если во время проверки письменных работ, жюри обнаружит идентичный текст (или цитаты с одинаковыми грамматическими, речевыми или смысловыми (фактическими) ошибками) в двух, или более работах, то за эти работы баллы не начисляются.

Участнику олимпиады запрещается:

- разговаривать с другими участниками;
- использовать какие-либо справочные материалы (учебные пособия, справочники, словари, записные книжки, в том числе и электронные, и т.д., а также любого вида шпаргалки);
- пользоваться средствами мобильной связи;
- покидать пределы территории, которая установлена организаторами для проведения очного тура олимпиады.

**Внимание.** За нарушение правил поведения участник удаляется с очного тура олимпиады с выставлением нуля баллов за выполняющуюся работу независимо от числа правильно выполненных заданий.

Все виды шпаргалок изымаются и выдаются по

письменному заявлению после истечения времени, предусмотренного на подачу и рассмотрение апелляций по данному предмету.

**Оформление работы**

Участник аккуратно заполняет титульный лист «Письменная работа», ставит дату и подпись.

На вложенных листах, как для чистовых, так и для черновых записей, можно писать или синей, или фиолетовой, или черной пастой (чернилами), одинаковой во всей работе (при необходимости смены цвета пасты (чернил), следует обратиться за разрешением к представителю оргкомитета олимпиады).

Задания (или часть задания), выполненные на листах, на которых имеются рисунки или записи, не относящиеся к выполняемому заданию, а также записи не на русском языке, и любые другие пометки, которые могут идентифицировать участника, на проверку не поступают и претензии по этим заданиям (задачам) не принимаются. На проверку не поступают также листы, подписанные участником, листы, на которых имеются записи карандашом (кроме рисунков, необходимых для пояснения сути ответа), и рваные (надорванные) листы.

Нельзя делать исправления карандашом.

**Внимание!** Если в работе ошибки исправлены карандашом, то при шифровке работы карандашные исправления будут стерты и на проверку поступит работа без исправлений.

С правилами поведения на олимпиаде и правилами оформления работы ознакомлен

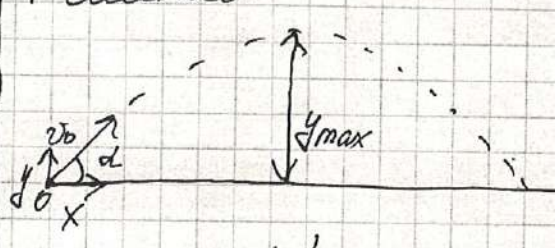
(подпись участника олимпиады)



Фамилию, имя, отчество не писать! Лист не подписывать! Все листы вложить в папку «Письменная работа»!

<sup>N1</sup>  
Дано:  $t=0;$   
 $y(t_1)=y(t_2)$   
 $g$   
 $y_{\max}=?$

Решение:



Запишем ур-я  
в координаты на оси  
 $x$  и  $y$ ;  
В силу симметрии  
перелом  $y_{\max}$  происходит  
в середине полета.

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g}{2} t^2$$

$$v_0 \sin \alpha \cdot t_1 - \frac{g}{2} t_1^2 = v_0 \sin \alpha \cdot t_2 - \frac{g}{2} t_2^2$$

$$v_0 \sin \alpha (t_1 - t_2) = \frac{g}{2} (t_1^2 - t_2^2)$$

$$v_0 \sin \alpha (t_1 - t_2) = \frac{g}{2} (t_1 - t_2) (t_1 + t_2)$$

$$(t_1 - t_2) \cdot [v_0 \sin \alpha - \frac{g}{2} (t_1 + t_2)] = 0$$

- Если  $t_1 - t_2 = 0$ ;  $t_1 = t_2 = t_{\max}$   
 $y_{\max} = v_0 \sin \alpha \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right) - \frac{g}{2} \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right)^2$
- Если  $t_1 - t_2 \neq 0$ , то  
 $v_0 \sin \alpha = \frac{g}{2} (t_1 + t_2)$  - ур. (1).  
 Найдём  $y_{\max}$ ; для этого решим ур-е  $y'(t) = 0$   
 $y' = v_0 \sin \alpha - g t$   
 $y' = 0 \Rightarrow v_0 \sin \alpha = g t_{\max}$  - Подставим  $v_0 \sin \alpha$  из ур. (1)  
 $\frac{g}{2} (t_1 + t_2) = g t_{\max} \Rightarrow t_{\max} = \frac{t_1 + t_2}{2}$   
 $y_{\max} = v_0 \sin \alpha \cdot \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right) - \frac{g}{2} \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right)^2$

Ответ:  $y_{\max} = v_0 \sin \alpha \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right) - \frac{g}{2} \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right)^2$



Всего:

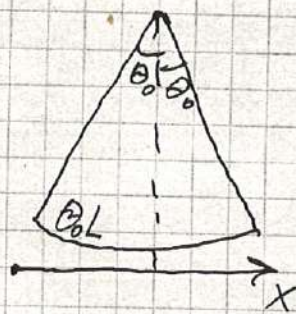
$L; g$

$\theta_0; \frac{\theta_0}{2}$

$d_{max} - ?$

$t_{max} - ?$

Решение:



Амплитуда колебаний

рав проекции на горизонтальную

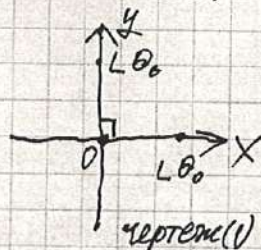
ось равна:  $A = L \sin \theta_0$

$A = L \sin \theta_0$ ; мб, т.к.

$\theta_0$  - малый угол, то  $\sin \theta_0 \approx \theta_0$

Запишем уравнения гармонических колебаний и  $A \approx L \theta_0$

маткинов:



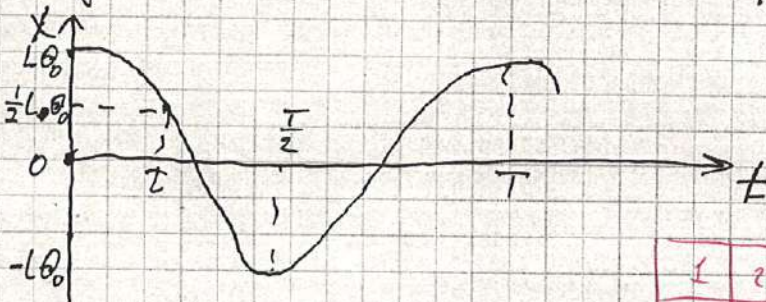
$$x = L \theta_0 \cos(\omega t)$$

$$y = L \theta_0 \cos[\omega(t - T)]$$

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega \text{ т.к.}$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = T$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L}}$$



Найдем  $T$ :

$$L \theta_0 \cos \omega T = \frac{L \theta_0}{2}$$

$$\cos \omega T = \frac{1}{2} \Rightarrow \omega T = \frac{\pi}{3} \Rightarrow T = \frac{\pi}{3\omega} = \frac{\pi}{3} \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

В момент  $t$  отнимают второй маятник.

Из пункта (1) по Птх Пифагора:  $d^2 = y^2 + x^2$

$$d^2 = L^2 \theta_0^2 \cdot \cos^2(\omega t) + L^2 \theta_0^2 \cdot \cos^2[\omega(t - T)] = L^2 \theta_0^2 [\cos^2 \omega t + \cos^2(\omega t - \frac{\pi}{3})] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 [\cos^2 \omega t + (\cos \omega t \cdot \cos \frac{\pi}{3} + \sin \omega t \cdot \sin \frac{\pi}{3})^2] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 [\cos^2 \omega t + (\frac{1}{2} \cos \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t)^2] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 [\cos^2 \omega t + \frac{1}{4} \cos^2 \omega t + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t \cos \omega t + \frac{3}{4} \sin^2 \omega t] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 [\frac{5}{4} \cos^2 \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin 2\omega t + \frac{3}{4} \sin^2 \omega t] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 [\frac{\sqrt{3}}{4} \sin 2\omega t + \frac{3}{4} (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t) + \frac{1}{4} \sin^2 \omega t] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 [\frac{\sqrt{3}}{4} \sin 2\omega t + \frac{3}{4} + \frac{1}{4} \sin^2 \omega t]$$

продолжение на стр 2.

стр. 2

1	2	3	4	Σ
25	15	5	25	70
CH	CH	CH	CH	CH



Возьмем производную  $d^2$  по времени

$$\dot{d}^2 = L^2 \theta_0^2 \left[ \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot 2\omega \cos(2\omega t) + \frac{1}{4} \cdot 2 \sin(\omega t) \cdot \omega \cos(\omega t) \right] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 \left[ \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \cos(2\omega t) + \frac{1}{4} \sin(2\omega t) \right]$$

$$\dot{d}^2 = L^2 \theta_0^2 \left[ \frac{5}{4} \cos^2 \omega t \right]$$

$$d^2 = L^2 \theta_0^2 \left[ \frac{5}{4} \cos^2 \omega t + \frac{\sqrt{3}}{4} \sin 2\omega t + \frac{3}{4} \sin^2 \omega t \right]$$

$$= L^2 \theta_0^2 \left[ \frac{3}{4} (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t) + \frac{1}{2} \cos^2 \omega t + \frac{\sqrt{3}}{4} \sin 2\omega t \right] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 \left[ \frac{3}{4} + \frac{1}{2} \cos^2 \omega t + \frac{\sqrt{3}}{4} \sin 2\omega t \right]$$

Возьмем производную  $d^2$  по времени

$$\dot{d}^2 = L^2 \theta_0^2 \left[ \frac{1}{2} \cdot 2 \cos(\omega t) \cdot \omega (-\sin(\omega t)) + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot 2\omega \cdot \cos(2\omega t) \right] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 \left[ -\omega \cdot \frac{\sin(2\omega t)}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \cos(2\omega t) \right]$$

Приравнявая  $\dot{d}^2$  к нулю найдем время экстремума  $t_0$

$$\frac{\omega}{2} L^2 \theta_0^2 \left[ -\sin(2\omega t_0) + \sqrt{3} \cos(2\omega t_0) \right] = 0$$

$$\sin 2\omega t_0 = \sqrt{3} \cos 2\omega t_0 \quad | : \cos(2\omega t_0) \neq 0$$

$$\tan(2\omega t_0) = \sqrt{3}$$

$$2\omega t_0 = \frac{\pi}{3} + \pi k; \quad k \in \mathbb{Z}$$

$$t_0 = \frac{\pi}{6\omega} + \frac{\pi}{2\omega} k = \frac{\pi}{6} \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}} + \frac{\pi k}{2} \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}} = \left( \frac{\pi}{6} + \frac{\pi k}{2} \right) \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}}$$

$t_0$  - будет чередоваться максимумы и минимумы.

$t_0 > t$ , иначе не имеет смысла.

$$\left( \frac{\pi}{6} + \frac{\pi k}{2} \right) \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}} > \frac{\pi}{3} \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}}$$

$$\frac{1}{6} + \frac{k}{2} > \frac{1}{3} \Rightarrow k > 1$$

Проверим, будет ли  $t_{01}^{k=1}$  и  $t_{02}^{k=2}$  в рамках нашей задачи.

$$t_{01} = \left( \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2} \right) \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}} = \frac{2\pi}{3} \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}}$$

$$t_{02} = \left( \frac{\pi}{6} + \pi \right) \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}} = \frac{7\pi}{6} \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{g}}$$

продолжение на стр 4



$$d_1^2 = d^2(t_{\text{с}1}) = L^2 \theta_0^2 \left[ \cos^2 \left( \sqrt{\frac{g}{L}} \cdot \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{\sqrt{L}}{g} \right) + \cos^2 \left( \sqrt{\frac{g}{L}} \cdot \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{\sqrt{L}}{g} - \frac{\pi}{3} \right) \right] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 \left[ \cos^2 \left( \frac{2\pi}{3} \right) + \cos^2 \left( \frac{\pi}{3} \right) \right] = L^2 \theta_0^2 \left[ \left( \frac{1}{2} \right)^2 + \left( \frac{1}{2} \right)^2 \right] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 \cdot \left[ \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right] = \frac{L^2 \theta_0^2}{2} \Rightarrow d_1 = \frac{L \theta_0}{\sqrt{2}}$$

$$d_2^2 = d^2(t_{\text{с}2}) = L^2 \theta_0^2 \left[ \cos^2 \left( \sqrt{\frac{g}{L}} \cdot \left( \pi + \frac{\pi}{6} \right) \cdot \frac{\sqrt{L}}{g} \right) + \cos^2 \left( \sqrt{\frac{g}{L}} \cdot \left( \pi + \frac{\pi}{6} \right) \cdot \frac{\sqrt{L}}{g} - \frac{\pi}{3} \right) \right] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 \left[ \cos^2 \left( \pi + \frac{\pi}{6} \right) + \cos^2 \left( \frac{\pi}{3} \right) \right] = L^2 \theta_0^2 \left[ \cos^2 \left( \frac{\pi}{6} \right) + \cos^2 \left( \frac{\pi}{3} \right) \right] =$$

$$= L^2 \theta_0^2 \left[ \frac{3}{4} + \frac{1}{4} \right] = L^2 \theta_0^2 \cdot \frac{1}{1} = L^2 \theta_0^2 \Rightarrow d_2 = L \theta_0$$

$$d_1 < d_2; \text{ т.е. } \frac{L \theta_0}{\sqrt{2}} < \sqrt{3} \cdot \left( \frac{L \theta_0}{\sqrt{2}} \right)$$

$$t_{\text{max}1} = t_{\text{с}2} = \frac{7\pi}{6} \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$d_{\text{max}} = d_2 = \sqrt{\frac{3}{2}} L \theta_0$$

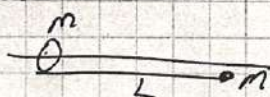
Отвер:  $d_{\text{max}} = \sqrt{\frac{3}{2}} L \theta_0$ ; или более точно:  $d_{\text{max}} = \sqrt{\frac{3}{2}} L \sin \theta_0$

$$t_{\text{max}} = \frac{7\pi}{6} \sqrt{\frac{L}{g}}$$

N2  
Дано:  
 $L; \frac{L}{2};$   
 $m = m$

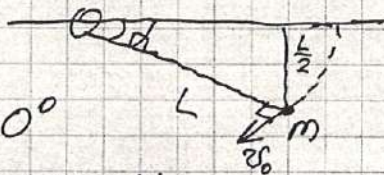
$g; v_{\text{max}}?$

Решение:

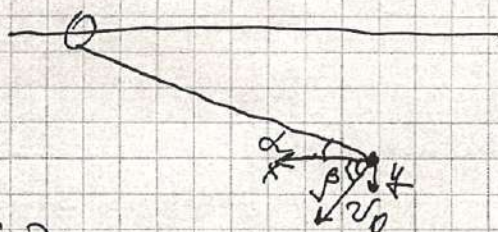


$$\alpha = \arcsin \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \right) = 30^\circ$$

В вершине Oм X и Y



$$\beta = 90^\circ - \alpha = 60^\circ$$



$$v_{0x} = v_0 \cos \beta = \frac{v_0}{2}$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \beta = \frac{\sqrt{3}}{2} v_0$$

З.С.Э:

$$E_1 = E_2 \Leftrightarrow U_1 + T_1 = U_2 + T_2$$

$$mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$gL = v_0^2 \Rightarrow v_0 = \sqrt{gL}$$

или с.р. 5

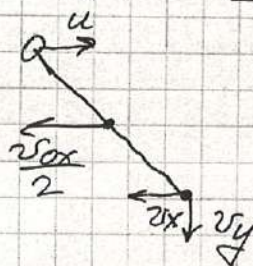
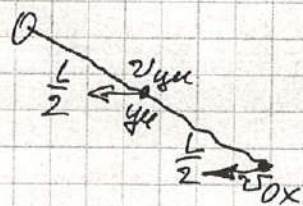
с.р. 4.



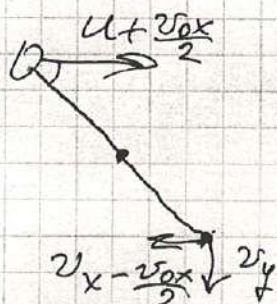
На систему действуют только одна внешняя

Т.к. трение отсутствует, то по оси  $Ox$  на систему не действует внешних сил  $\Rightarrow$  выполняется ЗСЦ, а также ускорение центра масс системы равно нулю.

Т.к. массы кольца и груза равны, то центр масс находится в середине стержня и его скорость равна ~~2/4~~  $v_{цм} = \frac{v_{0x}}{2}$



Перейдем в  $S_2$ , движущуюся влево со скоростью  $\frac{v_{0x}}{2}$



В этой  $S_2$  центр масс движется только по вертикали с ускорением.

Найдем  $u_{max}$ :  $v_{цx} - \frac{v_{0x}}{2}$  будет

самым большим, когда стержень

станет вертикальным; В этот момент центр масс не движется, скорости направлены перпендикулярно ему и равны:  $u + \frac{v_{0x}}{2} = v_{цx} - \frac{v_{0x}}{2}$

$$u_{max} + v_{0x} = v_{цx, max} \Rightarrow v_{цx, max} = u_{max} + \frac{\sqrt{gL}}{2}$$

ЗСЭ: По ПБк Кёмала  $T = T_{цк} + T_{отн}$

$$ЗСЭ: \frac{1}{2} m u_{max}^2 + \frac{1}{2} m v_{цx, max}^2 + (-mg \frac{L}{2}) = mg \frac{L}{2}$$

$$\frac{1}{2} m (u_{max}^2 + v_{цx, max}^2) = mgL$$

$$u_{max}^2 + v_{цx, max}^2 = 2gL$$

$$u_{max}^2 + u_{max}^2 + \sqrt{gL} u_{max} + \frac{gL}{4} = 2gL$$

см стр. 6



$$2u_{\max}^2 + \sqrt{g}L' u_{\max} - \frac{7}{4}gL = 0$$

$$D = gL + 4 \cdot \frac{7}{4}gL \cdot 2 = gL + 14gL = 15gL$$

$$u_{\max} = \frac{-\sqrt{g}L' \pm \sqrt{15gL}}{4} \quad u_{\max} > 0 \Rightarrow u_{\max} = \frac{(\sqrt{15} + 1)\sqrt{g}L'}{4}$$

$$\text{Other: } u_{\max} = \frac{(\sqrt{15} + 1)\sqrt{g}L'}{4}$$

N3

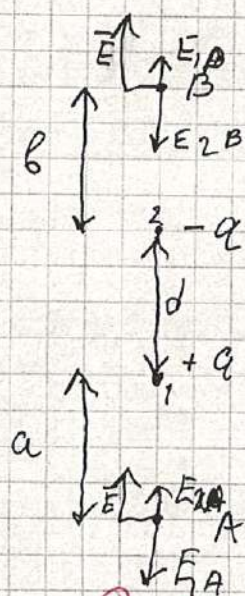
Дано:

$+q, -q, L$

$E_1 = E_2 = 0$

$E = ? d = ?$

Решение:



$$E_B = E + \frac{kq}{(d+b)^2} - \frac{kq}{b^2} = 0$$

$$E_A = E + \frac{kq}{(d+a)^2} - \frac{kq}{a^2} = 0$$

$$E_B = E_A$$

$$\frac{1}{(d+b)^2} - \frac{1}{b^2} = \frac{1}{(d+a)^2} - \frac{1}{a^2}$$

$$\text{либо } 1) b = a$$

$$\text{либо } 2) d + b = a$$

$$d + a = b$$

Р-при втором

$$d + d + b + a = a + b$$

$$2d = 0 \Rightarrow \text{не может быть}$$

Поэтому  $b = a$

$$E + \frac{kq}{(d+a)^2} - \frac{kq}{a^2} = 0$$

$$\Delta\varphi_0 = E \cdot |L|; \quad \Delta\varphi_0 = \varphi_{A0} - \varphi_{B0}$$

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_{A1} - \varphi_{B1} = \Delta\varphi_0 + \int_0^L E dx$$

$$= \Delta\varphi_0 + \varphi_A - \varphi_B$$

Тут  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  это потенциалы  
в заданных зарядах  $1$  и  $2$   
в точках А и В

или стр. 7

$$\varphi = -\int E dx$$

$$E = -\nabla \varphi$$

$$E = -\frac{d\varphi}{dx}$$

$$E dx = -d\varphi$$

$$\Delta\varphi = -\int E dx$$

$$\varphi_{A1} - \varphi_{B1} = -\int E dx$$



$$\varphi_A = \frac{kq}{a} - \frac{kq}{d+a} ; \varphi_B = \frac{kq}{d+b} - \frac{kq}{b} - \frac{kq}{d+a} - \frac{kq}{a}$$

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_0 + \frac{kq}{a} - \frac{kq}{d+a} - \left( \frac{kq}{d+a} - \frac{kq}{a} \right) =$$

$$= \Delta\varphi_0 + \frac{2kq}{a} - \frac{2kq}{d+a}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B$$

$$\Delta\varphi_1 = \frac{\Delta\varphi_0}{2}$$

$$\Delta\varphi_0 + \frac{2kq}{a} - \frac{2kq}{d+a} = \frac{\Delta\varphi_0}{2}$$

$$\frac{\Delta\varphi_0}{2} + \frac{2kq}{a} - \frac{2kq}{d+a} = 0 \Rightarrow \Delta\varphi_0 + \frac{4kq}{a} - \frac{4kq}{d+a} = 0$$

$$E \cdot L + \frac{4kq}{a} = \frac{4kq}{d+a} \quad d \rightarrow a? \quad \text{T.K. } L = d + 2a, \text{ TO } L - a = d + a$$

$$E \cdot L + \frac{4kq}{a} = \frac{4kq}{L-a}$$

$$E_A = 0 \Rightarrow E + \frac{kq}{(d+a)^2} = \frac{kq}{a^2} \Rightarrow E + \frac{kq}{(L-a)^2} = \frac{kq}{a^2}$$

имеем систему уравнений: E и a

$$\begin{cases} \frac{E \cdot L}{4kq} + \frac{1}{a} = \frac{1}{L-a} & \text{Заменим } \frac{1}{a} = \frac{1}{L-a} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{E}{kq} + \frac{1}{(L-a)^2} = \frac{1}{a^2} & \begin{cases} \frac{E \cdot L}{4kq} = \frac{1}{L-a} - \frac{1}{a} \\ \frac{E}{kq} = \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{L-a} \right) \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{L-a} \right) \end{cases} \end{cases}$$

$$\div \begin{cases} \frac{E \cdot L}{4kq} = \frac{1}{a} - \frac{1}{L-a} \end{cases}$$

$$\frac{E}{kq} = \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{L-a} \right) \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{L-a} \right)$$

$$- \frac{L(a)(L-a)}{4} = L-a+a$$

$$-LaL + La^2 = 4L \quad | : L$$

$$-La + La^2 - 4 = 0$$

$$La^2 - La - 4 = 0$$

$$D = L^2 + 16L$$

$$\Rightarrow \frac{-L}{4} = \frac{1}{a} + \frac{1}{L-a}$$

(если  $\frac{1}{a} - \frac{1}{L-a} \neq 0$ )

второй случай не подходит  
противоречие:  $\frac{1}{a} - \frac{1}{L-a} = 0$   
в этом случае

$$L-a=a$$

$$L=2a \Rightarrow d=0$$

противоречие!

расстояние между зарядами не равно нулю!

см стр. 8



Фамилию, имя, отчество не писать! Лист не подписывать! Все листы вложить в папку «Письменная работа»!

$$a = \frac{L \pm \sqrt{L^2 + 16L}}{2L} \quad a > 0 \Rightarrow a = \frac{L + \sqrt{L^2 + 16L}}{2L}$$

$$d = L - 2a = L - \frac{L + \sqrt{L^2 + 16L}}{2L} = \frac{L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L}}{2L}$$

$$-\frac{EL}{4kq} = \frac{1}{a} - \frac{1}{L-a} = \frac{L}{L + \sqrt{L^2 + 16L}} - \frac{1}{L - \frac{L + \sqrt{L^2 + 16L}}{2L}} =$$

$$= \frac{2L}{L + \sqrt{L^2 + 16L}} - \frac{1}{\frac{2L^2}{2L} + \frac{-L - \sqrt{L^2 + 16L}}{2L}} = \frac{2L}{L + \sqrt{L^2 + 16L}} - \frac{2L}{2L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L}}$$

$$= \frac{2L(2L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L}) - 2L(L + \sqrt{L^2 + 16L})}{(L + \sqrt{L^2 + 16L})(2L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L})}$$

$$E = -\frac{4kq}{L} \cdot \left( \frac{2L}{L + \sqrt{L^2 + 16L}} - \frac{2L}{2L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L}} \right) =$$

$$= 8kq \left( \frac{1}{L + \sqrt{L^2 + 16L}} - \frac{1}{2L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L}} \right)$$

Отв:  $d = \frac{2L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L}}{2L}$

$$d = \frac{L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L}}{L}$$

$$E = 8kq \left( \frac{1}{L + \sqrt{L^2 + 16L}} - \frac{1}{2L^2 - L - \sqrt{L^2 + 16L}} \right)$$