

ШИФР

(заполняется ответственным секретарем приемной комиссии)

## Письменная работа

### Межрегиональная олимпиада школьников БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ-БУДУЩЕЕ НАУКИ

по физике в 11 классе  
(наименование общеобразовательного предмета)

Фамилия И.О. участника Кузнецов Егор Геннадьевич

Дата рождения

Школа № СУНЦ МГУ район Фили-Давыдовское город Москва

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

+ 1 чистовик  
+ 1 черновик

Дата проведения 03.03.2024

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

#### Оформление работы

Участник аккуратно заполняет титульный лист папки «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

#### 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

(подпись участника олимпиады)



Задание 1	Задание 2	Задание 3	Задание 4	Сумма баллов
25	10	5	15	55

Заполняется проверяющим!

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

№2.

1) Скорость кольца будет максимальной, когда стержень будет вертикален. Это понятно, если записать ИЗН. для кольца

в проекции на спицу:  $m \frac{dv_k}{dt} = T \cos \theta$

( $T$  - сила реакции в стержня,  $\theta$  - угол между спицей и стержнем)  $v_{\max} \rightarrow \frac{dv_k}{dt} = 0$

$\cos \theta = 0 \rightarrow$  стерж. верт.!

2) ЗСЭ для системы «шарик» + «кольцо» + «стерж.»:  $m g L = \frac{m v_{\omega}^2}{2} + \frac{m v_k^2}{2} \quad (1)$

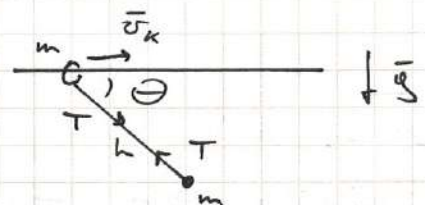
3) ЗСИ для этой же системы в проекции на спицу, т.к. нет трения:  $0 = m v_{\omega} - m v_k \rightarrow v_{\omega} = v_k = v_{\max} \quad (2)$

• Комбинируем (1) и (2):

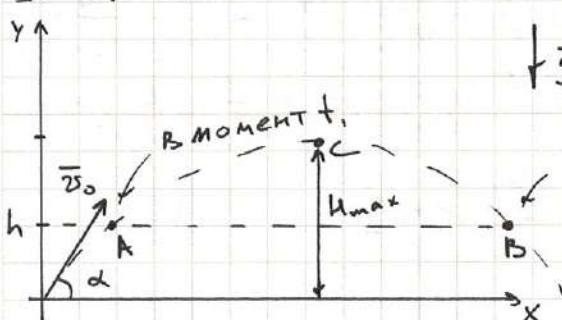
$$v_{\max} = \sqrt{g h}$$

Ответ: максимальная

скорость кольца  $v_{\max} = \sqrt{g h}$ .



№1.



$\downarrow \vec{g}$

A - момент вр. +

B - момент вр. +

C - макс. высота  
подъёма

1) До т. А тело поднимается за  $t_1$ . От т. А до т. В летит  $(t_2 - t_1)$ . В силу симметрии траектории и т.к. движ. равноуск. от т. А до т. С тело долетит за  $\frac{(t_2 - t_1)}{2}$ , тогда от  $t=0$  до подъёма на  $H_{\max}$  проходит время  $\frac{(t_1 + t_2)}{2}$ , а тогда время полного полёта равно  $(t_1 + t_2)$ .

2) Запишем ур. движ. тела в проекции на ось  $y$  от  $t=0$  до подъёма на  $H_{\max}$ :

$$H_{\max} = v_0 \sin \alpha \frac{(t_1 + t_2)}{2} - \frac{g(t_1 + t_2)^2}{8} \quad (1)$$

3) Запишем ур. движ. тела в проекции на ось  $y$  от  $t=0$  до падения на землю:

$$0 = v_0 \sin \alpha (t_1 + t_2) - \frac{g(t_1 + t_2)^2}{2} \rightarrow v_0 \sin \alpha (t_1 + t_2) = \frac{g(t_1 + t_2)^2}{2} \quad (2)$$

• Комбинируем (1) и (2), исключая часть  $v_0 \sin \alpha$ , и получаем:

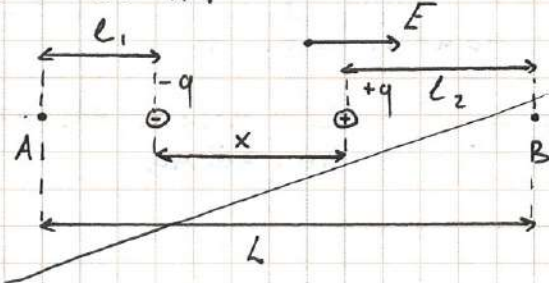
$$H_{\max} = \frac{g(t_1 + t_2)^2}{4}$$

Ответ: максимальная высота подъёма тела составит  $H_{\max} = \frac{g(t_1 + t_2)^2}{4}$ .

З. 3.

Найдём две точки с нулевой напряжённостью

эл. поля:



$$(1) E_A = E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{L_1^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(x+L_1)^2} = 0$$

$$(2) E_B = E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{L_2^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(x+L_2)^2} = 0$$

$$L = L_1 + x + L_2 \quad (3)$$



2) Изменение разности потенциалов:

- Только поле:  $\varphi_A - \varphi_B = E \cdot L$  (4)

- Добавили заряды: рассм. принцип суперпозиции поля  $E$  и зарядов

Потенциал поля от зарядов в т. А и В:

$$\varphi'_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q}{l_1+x} - \frac{q}{l_1} \right) \quad \text{и} \quad \varphi'_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q}{l_2} - \frac{q}{l_2+x} \right)$$

Добавляя разность потенц. от  $E$  получим:

$$\varphi_A - \varphi_B = E \cdot L + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q}{l_1+x} - \frac{q}{l_1} + \frac{q}{l_2} - \frac{q}{l_2+x} \right) \quad (5)$$

(4) = 2 · (5) - по условию

$$\frac{2}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1+x} - \frac{1}{l_2+x} \right) \cdot q = E \cdot L$$

$$2kqx \left( \frac{1}{l_1(l_1+x)} + \frac{1}{l_2(l_2+x)} \right) = EL \quad (*)$$

$$(1) \quad E = \frac{kq}{(l_1(l_1+x))^2} \cdot (x^2 + 2xl_1)$$

$$(2) \quad E = \frac{-kq}{(l_2(l_2+x))^2} \cdot (x^2 + 2xl_2)$$

$$(*) \quad EL = \frac{2kqx(l_1^2 + l_2^2 + (l_1 + l_2)x)}{l_1(l_1+x)l_2(l_2+x)}$$

§ 3.

1) Рассмотрим поле двух зарядов  $+q$  и  $-q$ .

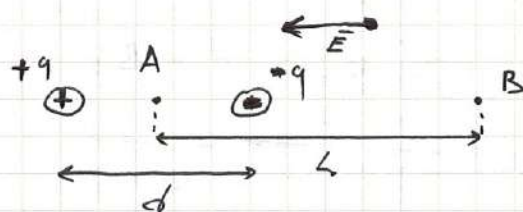
⊖ ← ⊕ Поле между зарядами сначала

возрастает по величине напря-

женности, а потом убывает. Максимум наблюдается посередине, а напр. от  $+q$  к  $-q$ .

Если мы поместим эти два заряда в однородное поле  $E$ , то в общем случае

У нас будет три точки с  $E_{\Sigma} = 0$ , но т.к. по условию их две, то значит одна из точек попадает ровно между зарядами, а внешнее поле напр от  $-q$  к  $+q$ .



2) Запишем усл. равенства поля от т. А и В:

$$E_A = E - \frac{kq}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} = 0 \quad (1)$$

$$E_B = E + \frac{kq}{\left(L + \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{kq}{\left(L - \frac{d}{2}\right)^2} = 0 \quad (2)$$

3) Усл. на разность потенциалов. Изначально

$\varphi_B - \varphi_A = EL$ , но теперь добавили заряды.

Воспользуемся принципом суперпозиции полей зарядов и  $\vec{E}$ . Потенциал от зарядов в

т. А равен 0, а в т. В сост.  $\frac{kq}{\left(L + \frac{d}{2}\right)} - \frac{kq}{\left(L - \frac{d}{2}\right)}$ .

Т.о.  $\varphi_B - \varphi_A = EL + \frac{kq}{\left(L + \frac{d}{2}\right)} - \frac{kq}{\left(L - \frac{d}{2}\right)}$

По усл. :  $\varphi_B - \varphi_A = 2(\varphi_B' - \varphi_A')$

$$EL = 2EL - \frac{kq}{\left(L^2 - \frac{d^2}{4}\right)} \cdot d \rightarrow EL = \frac{kqd}{\left(L^2 - \frac{d^2}{4}\right)} \quad (3)$$

(1)  $\rightarrow E = \frac{8kq}{d^2}$  (подст. в (3))

$$8L^3 - 2Ld^2 = d^3 \quad / : d^3 \quad t = \frac{L}{d}$$

$$8t^3 - 2t = 1$$

Будет 2 отр.  $t$  и  $t \approx 0,66$

Т.о.  $d \approx 1,5L$

$$E = \frac{8kq^2}{d^2} = \frac{kq^2}{L^2} \cdot 5,33$$

Ответ:  $d \approx 1,5L$ ;  $E \approx 5,3 \frac{kq^2}{L^2}$ .



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

Реш.

1) Найдем зависимость угла откл. от времени для двух маятников (отсчёт  $t=0$  начинаем с момента отпущк. второго тела):

$$\theta_2(t) = \theta_0 \cdot \cos \omega t + , \text{ где } \omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

- Для ~~второго~~ маятника закон  $\theta_1(t)$  не тривиален, как для первого, поэтому выведем его. Скорость при  $\frac{\theta_0}{2}$  у мат. маятника 2:

$$\theta_2(t') = \frac{\theta_0}{2} = \theta_0 \cos \omega t' \rightarrow t' = \frac{\pi}{3\omega}$$

$$\dot{\theta}_2(t') = -\theta_0 \omega \sin \omega t' = -\frac{\sqrt{3}}{2} \theta_0 \omega$$

У первого маятника будет такая же скор.

при  $t=0$ :  $\theta_1(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$

$$A = \theta_0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta_1(0) = \frac{\theta_0}{2} = A \cos \varphi_0 \\ \dot{\theta}_1(0) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \theta_0 \omega = -A \omega \sin \varphi_0 \end{array} \right.$$

$$\text{т.е. } \varphi_0 = \frac{\pi}{3}$$

Т.о.  $\theta_1(t) = \theta_0 \cos(\omega t + \frac{\pi}{3}) +$

2) Движением по вертикали пренебрежём. Расстояние по горизонтали между ними от времени меняется так:  $S^2(t) = (\theta_1^2(t) \cdot L^2 + \theta_2^2(t) L^2)$

При  $S_{\max} \rightarrow \frac{dS^2}{dt} = 0$ :  $2\theta_1 \dot{\theta}_1 + 2\theta_2 \dot{\theta}_2 = 0$

$$\cos(\omega t_1 + \frac{\pi}{3}) \sin(\omega t_1 + \frac{\pi}{3}) + \cos \omega t_2 \cdot \sin \omega t_2 = 0$$

$$\sin(2\omega t_1 + \frac{2\pi}{3}) = -\sin(2\omega t_2)$$

- это выполняется, если  $2\omega t_1 = -\frac{\pi}{3} + \pi k$ , где  $k \in \mathbb{Z}$

Р.О. это расстояние впервые будет достигнуто через  $t_1 = \frac{\pi}{3\omega}$ , а равно оно будет

$$S(t_1) = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} L = \underline{\underline{\frac{L}{\sqrt{2}}}}$$

ОТВЕТ:  $S_{\min} = \frac{\sqrt{2}L}{2}$  ;  $t_1 = \frac{\pi}{3} \sqrt{\frac{L}{g}}$ .

