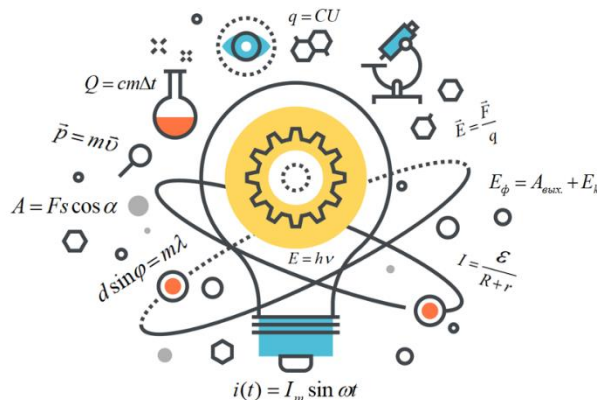


Институт цифровых технологий, электроники и физики

<http://phys.asu.ru/>

ЕГЭ по физике 2023



Задания 29-30 (часть 2 КИМ ЕГЭ):

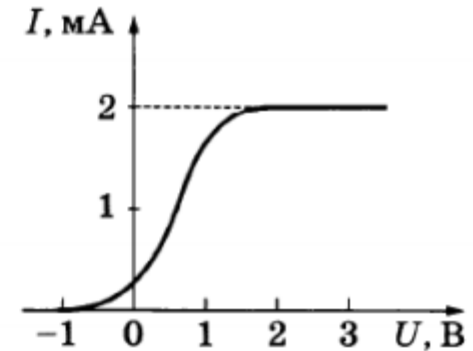
Расчетные задачи

Шимко Елена Анатольевна

доцент кафедры общей и экспериментальной физики АлтГУ

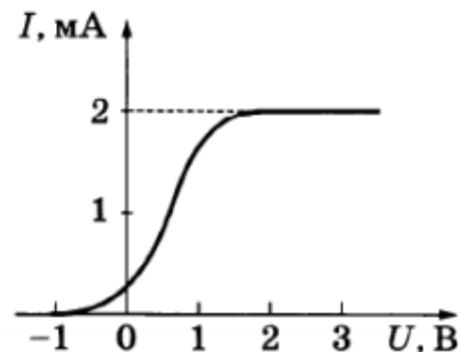
29.1

В опыте по изучению фотоэффекта свет частотой $\nu = 5,2 \cdot 10^{14}$ Гц падает на поверхность катода, в результате чего в цепи возникает ток. График зависимости силы тока I от напряжения U между анодом и катодом приведён на рисунке. Какова мощность падающего света P , если в среднем один из 30 фотонов, падающих на катод, выбивает электрон?



29.1

В опыте по изучению фотоэффекта свет частотой $\nu = 5,2 \cdot 10^{14}$ Гц падает на поверхность катода, в результате чего в цепи возникает ток. График зависимости силы тока I от напряжения U между анодом и катодом приведён на рисунке. Какова мощность падающего света P , если в среднем один из 30 фотонов, падающих на катод, выбивает электрон?



Дано:

$$\nu = 5,2 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$I_n = 2 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$N_\phi = 30 N_\ominus$$

$P - ?$

Решение:

Мощность света:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{N_\phi \cdot h\nu}{\Delta t}$$

Сила тока насыщения:

$$I_n = \frac{q}{\Delta t} = \frac{N_\ominus \cdot e}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{N_\ominus \cdot e}{I_n}$$

$$P = \frac{N_\phi \cdot h\nu \cdot I_n}{N_\ominus \cdot e}$$

$$P = \frac{30 N_\ominus \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 5,2 \cdot 10^{14} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{N_\ominus \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 0,13 \text{ Вт.}$$

Ответ: $P = 0,13 \text{ Вт}$

Ток насыщения определяется тем количеством электронов, которые вырываются в секунду из металла под действием света.

Ток насыщения зависит от падающего на фотоэлемент светового потока: он будет тем больше, чем больше число фотонов в секунду падает на катод.

29.2

Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода), находящейся в сосуде, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем напряжённостью $E = 5 \cdot 10^4$ В/м. Какой путь пролетит электрон, пока он разгонится в этом поле до скорости $v = 3 \cdot 10^6$ м/с? Релятивистские эффекты не учитывать.

29.2

Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода), находящейся в сосуде, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем напряжённостью $E = 5 \cdot 10^4$ В/м. Какой путь пролетит электрон, пока он разгонится в этом поле до скорости $v = 3 \cdot 10^6$ м/с? Релятивистские эффекты не учитывать.

Дано:

$$A_{\phi} = E_{\phi}$$

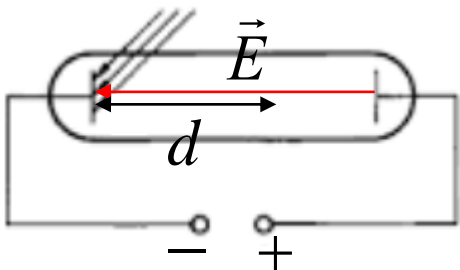
$$E = 5 \cdot 10^4 \text{ В/м}$$

$$v = 3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$d - ?$



Решение: Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$E_{\phi} = h\nu = A_{\phi} + E_k$$

$$E_{\phi} = h\nu_{\text{кр}} = A_{\phi} \Rightarrow E_{k0} = \frac{mv_0^2}{2} = 0$$

1) **Динамический способ:** $d = s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{v^2}{2a}$

Второй закон Ньютона: $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m}$

$$d = \frac{mv^2}{2qE}$$

2) **Энергетический способ:** $A = \Delta E_k$ (теорема об изменении кинетической энергии)

$$qEd = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow d = \frac{mv^2}{2qE}$$

$$d = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} (3 \cdot 10^6 \text{ м/с})}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 5 \cdot 10^4 \text{ В/м}} \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Ответ: $d = 0,5 \text{ мм}$

29.3

В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключён конденсатор ёмкостью $C = 8000$ пФ. При длительном освещении катода светом фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд $q = 11 \cdot 10^{-9}$ Кл. Работа выхода электронов из кальция $A = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны λ света, освещающего катод.

29.3

В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключён конденсатор ёмкостью $C = 8000$ пФ. При длительном освещении катода светом фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд $q = 11 \cdot 10^{-9}$ Кл. Работа выхода электронов из кальция $A = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны λ света, освещающего катод.

Дано:

$$C = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$q = 11 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$A = 4,42 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$\lambda - ?$

Решение:

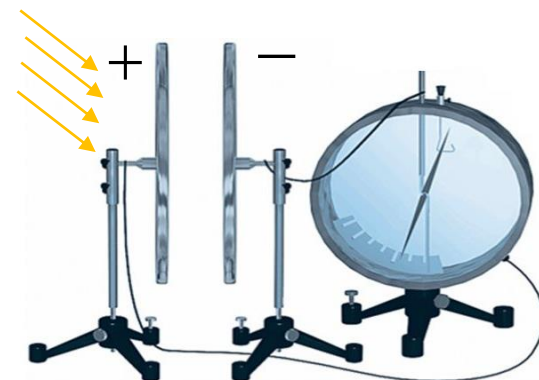
$$E = A + E_k$$

$$C = \frac{q}{U} \Rightarrow U_3 = \frac{q}{C}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A + eU_3 \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{A + \frac{qe}{C}}$$

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,42 \cdot 10^{-19} + \frac{11 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{8 \cdot 10^{-9}}} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

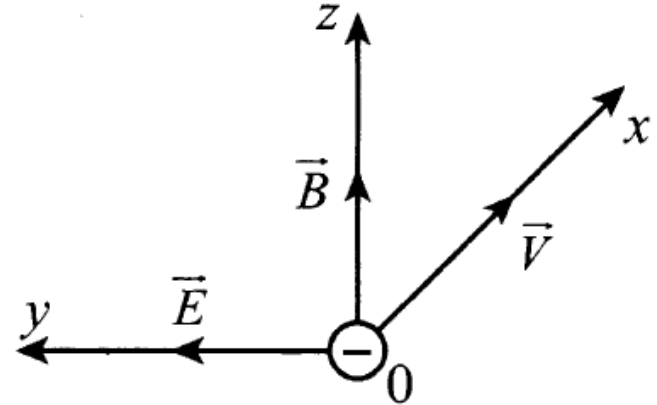
Ответ: $\lambda = 300 \text{ нм}$



Запирающее напряжение – минимальное тормозящее напряжение между катодом и анодом при котором отсутствует ток в цепи, то есть фотоэлектроны не долетают до анода.

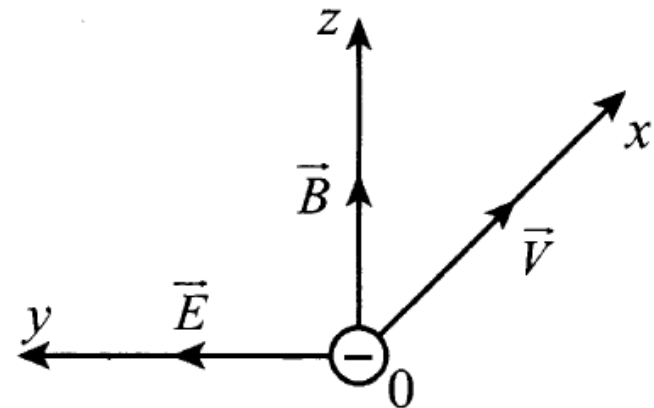
29.4

Электроны, вылетевшие в положительном направлении оси Ox под действием света с катода фотоэлемента, попадают в электрическое и магнитное поля (см. рисунок). Какой должна быть частота падающего света ν , чтобы в момент попадания самых быстрых электронов в область полей действующая на них сила была направлена против оси Oy ? Работа выхода для вещества катода $2,39$ эВ, напряжённость электрического поля $3 \cdot 10^2$ В/м, индукция магнитного поля 10^{-3} Тл.



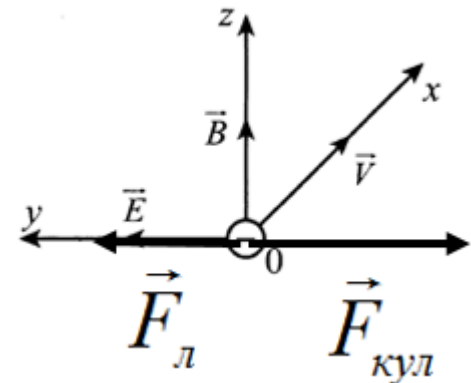
29.4

Электроны, вылетевшие в положительном направлении оси Ox под действием света с катода фотоэлемента, попадают в электрическое и магнитное поля (см. рисунок). Какой должна быть частота падающего света ν , чтобы в момент попадания самых быстрых электронов в область полей действующая на них сила была направлена против оси Oy ? Работа выхода для вещества катода 2,39 эВ, напряжённость электрического поля $3 \cdot 10^2$ В/м, индукция магнитного поля 10^{-3} Тл.



$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

- ✓ На электроны, вырванные светом, действует магнитное поле и электрическое поле.
- ✓ Чтобы фотоэлектроны двигались вправо, необходимо, чтобы:



$$F_{\text{кул}} > F_L$$

$$\vec{F}_{\text{кул}} = q\vec{E}$$

$$F_L = qvB \sin \alpha = qvB$$

Направление вектора силы Лоренца – по правилу левой руки (для электрона $q = -e$)

Дано:

$$A_{\text{вых}} = 2,39 \text{ эВ} = 3,824 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$E = 300 \text{ В/м}$$

$$B = 0,001 \text{ Тл}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

ν - ?

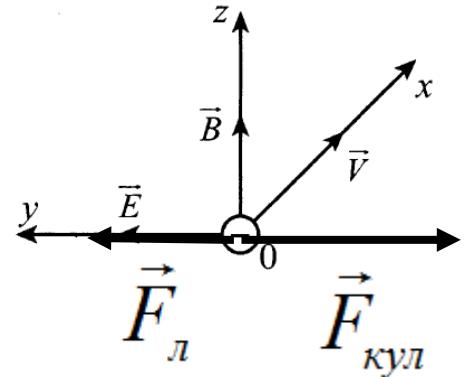
Решение:

$$F_{\text{кул}} > F_{\text{л}}$$

$$F_{\text{кул}} = eE$$

$$F_{\text{л}} = e\nu B \sin \alpha = e\nu B$$

$$eE > e\nu B \Rightarrow \nu < \frac{E}{B} = \frac{300 \text{ В/м}}{0,001 \text{ Тл}} = 3 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$



Уравнение Эйнштейна
для фотоэффекта:

$$E_{\phi} = A_{\text{вых}} + E_k \Rightarrow h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m\nu^2}{2}$$

$$\nu < \frac{1}{h} \left(A + \frac{m\nu^2}{2} \right)$$

$$\nu < \frac{1}{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} (3,824 + 0,419) 10^{-19} \text{ Дж} = 6,4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

Ответ: $\nu < 6,4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$

29.5

Источник в монохроматическом пучке параллельных лучей за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Лучи падают по нормали на площадку $S = 0,7 \text{ см}^2$ и создают давление $P = 1,5 \cdot 10^{-5}$ Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.

29.5

Источник в монохроматическом пучке параллельных лучей за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Лучи падают по нормали на площадку $S = 0,7 \text{ см}^2$ и создают давление $P = 1,5 \cdot 10^{-5}$ Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.

Дано:

$$\Delta t = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

$$N = 5 \cdot 10^{14}$$

$$S = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$P = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$$

$$N_{\text{отр}} = 0,4N$$

$$N_{\text{погл}} = 0,6N$$

$$\lambda - ?$$

Решение:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{F_1 + F_2}{S} \quad - \text{давление света}$$

Второй закон Ньютона:

$$F_1 = \frac{N_{\text{отр}} \cdot \Delta p_1}{\Delta t} \quad - \text{сила, с которой действуют на площадку фотоны при отражении}$$

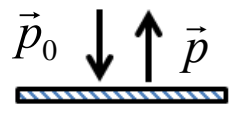
$$F_2 = \frac{N_{\text{погл}} \cdot \Delta p_2}{\Delta t} \quad - \text{сила, с которой действуют на площадку фотоны при поглощении}$$

$$\Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 \quad - \text{изменение импульса фотона при столкновении с площадкой}$$

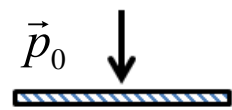
Импульс фотона:

$$p = p_0 = mc = \frac{h}{\lambda}$$

Отражение:


$$\Delta p_1 = p - (-p_0) = 2p$$

Поглощение:


$$\Delta p_2 = 0 - (-p_0) = p$$

Дано:

$$\Delta t = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

$$N = 5 \cdot 10^{14}$$

$$S = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$P = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$$

$$N_{\text{отр}} = 0,4N$$

$$N_{\text{погл}} = 0,6N$$

$\lambda - ?$

Решение:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{F_1 + F_2}{S} \quad - \text{давление света}$$

Второй закон Ньютона:

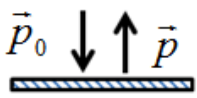
$$F_1 = \frac{N_{\text{отр}} \cdot \Delta p_1}{\Delta t} \quad - \text{сила, с которой действуют на площадку фотоны при отражении}$$

$$F_2 = \frac{N_{\text{погл}} \cdot \Delta p_2}{\Delta t} \quad - \text{сила, с которой действуют на площадку фотоны при поглощении}$$

$$\Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 \quad - \text{изменение импульса фотона при столкновении с площадкой}$$

Импульс фотона:

$$p = p_0 = mc = \frac{h}{\lambda}$$

Отражение:  $\Delta p_1 = p - (-p_0) = 2p$

Поглощение:  $\Delta p_2 = 0 - (-p_0) = p$

$$F_1 = \frac{0,4N \cdot 2p}{\Delta t}; \quad F_2 = \frac{0,6N \cdot p}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{N \cdot p}{S \cdot \Delta t} (0,4 \cdot 2 + 0,6) = \frac{1,4Nh}{S \cdot \Delta t \cdot \lambda}$$

$$\lambda = \frac{1,4Nh}{S \cdot \Delta t \cdot P} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{1,4 \cdot 5 \cdot 10^{14} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \text{ с} \cdot 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ Па}} \approx 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda = 550 \text{ нм}$

29.6

Излучением лазера с длиной волны $3,3 \cdot 10^{-7}$ м за время $1,25 \cdot 10^4$ с был расплавлен лёд массой 1 кг, взятый при температуре 0 °С, и полученная вода была нагрета на 100 °С. Сколько фотонов излучает лазер за 1 с? Считать, что 50% излучения поглощается веществом.

29.6

Излучением лазера с длиной волны $3,3 \cdot 10^{-7}$ м за время $1,25 \cdot 10^4$ с был расплавлен лёд массой 1 кг, взятый при температуре 0 °С, и полученная вода была нагрета на 100 °С. Сколько фотонов излучает лазер за 1 с? Считать, что 50% излучения поглощается веществом.

Дано:

$$\lambda = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$t = 1,25 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$\lambda_0 = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж / кг}$$

$$c = 4200 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta T = 100 \text{ К}$$

$$\eta = 0,5$$

$$\Delta t = 1 \text{ с}$$

$$N_1 - ?$$

Решение:

$$\eta = \frac{Q}{W} = \frac{\lambda_0 m + c m \Delta T}{N \cdot \frac{hc}{\lambda}}$$

← Количество теплоты, которое пошло на плавление льда и нагрев воды

← Энергия света

$$N = \frac{m\lambda(\lambda_0 + c\Delta T)}{\eta hc} \quad \text{— количество фотонов, излучаемых за время } t$$

$$N_1 = \frac{m\lambda(\lambda_0 + c\Delta T)}{\eta h c} \quad \text{— количество фотонов, излучаемых за } 1 \text{ с}$$

$$N_1 = \frac{1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-7} (3,3 \cdot 10^5 + 4200 \cdot 100)}{0,5 \cdot 1,25 \cdot 10^4 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} =$$
$$= 2 \cdot 10^{20} \frac{\text{фотонов}}{\text{с}}$$

Ответ: $N_1 = 2 \cdot 10^{20} \frac{\text{фотонов}}{\text{с}}$

29.7

Постулаты Бора

Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ, где $n = 1, 2, \dots$. При переходах с верхних уровней энергии на нижние атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с $n = 1$ образуют серию Лаймана; на уровень с $n = 2$ – серию Бальмера; на уровень с $n = 3$ – серию Пашена и т. д. Найдите отношение β минимальной частоты фотона в серии Лаймана к максимальной частоте фотона в серии Бальмера.

29.7

Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ, где $n = 1, 2, \dots$. При переходах с верхних уровней энергии на нижние атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с $n = 1$ образуют серию Лаймана; на уровень с $n = 2$ – серию Бальмера; на уровень с $n = 3$ – серию Пашена и т. д. Найдите отношение β минимальной частоты фотона в серии Лаймана к максимальной частоте фотона в серии Бальмера.

Дано:

$$E_n = -\frac{13,6 \text{ эВ}}{n^2}$$

$$\beta = \frac{(\nu_{\min})_L}{(\nu_{\max})_B} = ?$$

Решение:

Энергия фотона (второй постулат Бора):

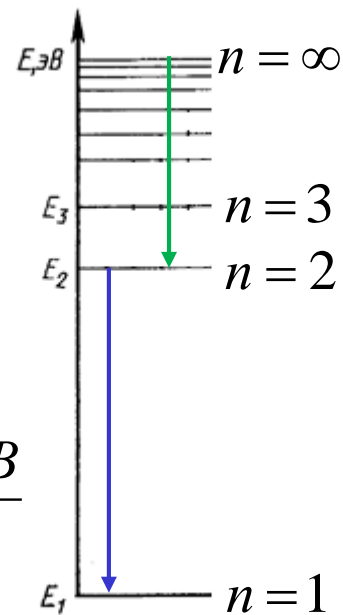
$$h\nu_{21} = E_2 - E_1$$

$$h\nu_{\infty 2} = E_{\infty} - E_2$$

$$E_1 = -\frac{13,6 \text{ эВ}}{1^2}, \quad E_2 = -\frac{13,6 \text{ эВ}}{2^2}, \quad E_{\infty} = -\frac{13,6 \text{ эВ}}{\infty^2}$$

$$\beta = \frac{(\nu_{\min})_L}{(\nu_{\max})_B} = \frac{E_2 - E_1}{E_{\infty} - E_2}$$

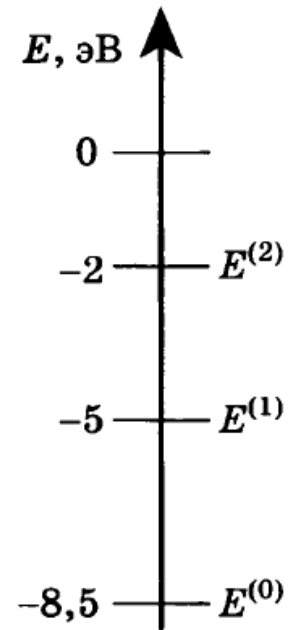
$$\beta = \frac{13,6 \text{ эВ} \left(-\frac{1}{2^2} + \frac{1}{1^2} \right)}{13,6 \text{ эВ} \left(0 + \frac{1}{2^2} \right)} = 3.$$



Ответ: $\beta = 3$

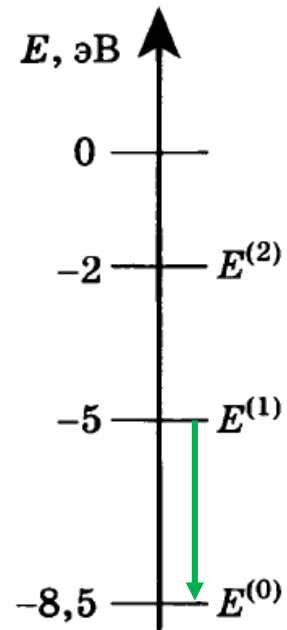
29.6

Предположим, что схема нижних энергетических уровней атомов некоего элемента имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией $E^{(1)}$. Электрон, столкнувшись с одним из таких покоящихся атомов, в результате столкновения получил некоторую дополнительную энергию. Импульс электрона после столкновения с атомом оказался равным $1,2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с. Определите кинетическую энергию электрона до столкновения. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



29.8

Предположим, что схема нижних энергетических уровней атомов некоего элемента имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией $E^{(1)}$. Электрон, столкнувшись с одним из таких покоящихся атомов, в результате столкновения получил некоторую дополнительную энергию. Импульс электрона после столкновения с атомом оказался равным $1,2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с. Определите кинетическую энергию электрона до столкновения. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



Дано:

$$p = 1,2 \cdot 10^{-24} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$E_{k0} - ?$$

Решение: $E_{k0} = E_k - E$ (1)

E – энергия, которую теряет атом, переходя с уровня $n = 1$ на уровень $n = 0$.

II постулат Бора:

$$E = E^{(1)} - E^{(0)}$$

$$E = -5 \text{ эВ} - (-8,5 \text{ эВ}) = 3,5 \text{ эВ}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} \quad (2)$$

$$(2) \rightarrow (1): E_{k0} = \frac{p^2}{2m} - E$$

$$E_{k0} = \frac{(1,2 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с})^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}} - 3,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $E_{k0} = 2,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 1,4 \text{ эВ}$

29.9

Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп натрия-24. Период полураспада изотопа натрия-24 равен 15,3 ч. В начальный момент времени активность 1 мл этого раствора составляла $A_{01} = 2000$ распадов в секунду. Через 3 ч 50 мин активность 1 мл крови пациента стала равна $A_1 = 0,28$ распадов в секунду. Определите объем введенного раствора, если общий объем крови пациента равен 6 л. Переходом ядер изотопа натрия-24 из крови в другие ткани пренебречь.

29.9

Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп натрия-24. Период полураспада изотопа натрия-24 равен 15,3 ч. В начальный момент времени активность 1 мл этого раствора составляла $A_{01} = 2000$ распадов в секунду. Через 3 ч 50 мин активность 1 мл крови пациента стала равна $A_1 = 0,28$ распадов в секунду. Определите объем введенного раствора, если общий объем крови пациента равен 6 л. Переходом ядер изотопа натрия-24 из крови в другие ткани пренебречь.

Дано:

$$T = 918 \text{ мин}$$

$$t = 230 \text{ мин}$$

$$A_{01} = 2000 \text{ расп/с}$$

$$A_1 = 0,28 \text{ расп/с}$$

$$V_1 = 10^{-3} \text{ л}$$

$$V = 6 \text{ л}$$

$$V_0 = ?$$

Решение:

Активность всего объёма крови пациента равна активности введенного раствора:

$$A = A_0 \cdot 2^{-t/T} \text{ (согласно закону радиоактивного распада)}$$

Активность 1мл крови через время t:

$$A_1 = \frac{V_1}{V} A_0 \cdot 2^{-t/T} \Rightarrow A_0 = \frac{A_1 V}{V_1} \cdot 2^{t/T}$$

$$A_0 = \frac{0,28 \text{ расп/с} \cdot 6 \text{ л}}{10^{-3} \text{ л}} \cdot 2^{230/918} = 1998,6 \text{ расп/с}$$

Если $A_0 \approx A_{01}$, то объем введенного раствора $V_0 \approx 1 \text{ мл}$.

$$\text{Ответ: } V_0 = 1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$$

Активность радиоактивного вещества – число распадов радиоактивных ядер за 1 с

30.1

Шарик закреплён на конце стержня. Другой конец стержня неподвижно прикреплён к горизонтальной оси, которая равномерно вращается с периодом вращения $\tau = 0,2$ с. В результате шарик движется в вертикальной плоскости по окружности радиусом $l = 20$ см. Разность модулей сил, с которыми стержень действует на шарик в нижней и в верхней точках траектории, $\Delta T = 0,4$ Н. Определите силу T_2 , с которой стержень действует на шарик в верхней точке траектории. Сделайте рисунки с указанием сил, действующих на шарик в верхней и нижней точках траектории.

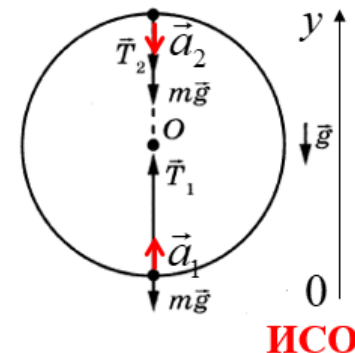
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Критерий 1	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, выбор модели, условия применения II закона Ньютона, рисунок с указанием сил</i>	1
В обосновании возможности использования законов (закономерностей) допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
Критерий 2	
<i>как задания 27-29</i>	3

30.1

Шарик закреплён на конце стержня. Другой конец стержня неподвижно прикреплён к горизонтальной оси, которая равномерно вращается с периодом вращения $\tau = 0,2$ с. В результате шарик движется в вертикальной плоскости по окружности радиусом $l = 20$ см. Разность модулей сил, с которыми стержень действует на шарик в нижней и в верхней точках траектории, $\Delta T = 0,4$ Н. Определите силу T_2 , с которой стержень действует на шарик в верхней точке траектории. Сделайте рисунки с указанием сил, действующих на шарик в верхней и нижней точках траектории.

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанную с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Шарик будем считать материальной точкой, т.к. его размерами можно пренебречь по сравнению с радиусом окружности $R = l$.
3. Рассмотрим два случая согласно условию задачи: на тело в обоих случаях действуют две силы: потенциальная сила mg и непотенциальная сила T , с которой стержень действует на шарик (сила реакции опоры).



Случай 1. Шарик находится в нижней точке траектории – его центростремительное ускорение направлено вверх к центру окружности, следовательно, вектор T_1 тоже направлен вверх и его модуль больше mg .

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \left(\frac{2\pi}{\tau} \right)^2 l = const, \quad a_{ц} = \left(\frac{6,28}{0,2с} \right)^2 0,2м \approx 197 м/с^2 \gg g.$$

Случай 2. Шарик находится в верхней точке траектории – его центростремительное ускорение направлено вниз к центру окружности. Ускорение намного больше g , следовательно, вектор T_2 направлен вниз, как и сила тяжести.

Для каждого случая применим II второй закон Ньютона с учётом п.1-2.

30.1

Шарик закреплён на конце стержня. Другой конец стержня неподвижно прикреплён к горизонтальной оси, которая равномерно вращается с периодом вращения $\tau = 0,2$ с. В результате шарик движется в вертикальной плоскости по окружности радиусом $l = 20$ см. Разность модулей сил, с которыми стержень действует на шарик в нижней и в верхней точках траектории, $\Delta T = 0,4$ Н. Определите силу T_2 , с которой стержень действует на шарик в верхней точке траектории. Сделайте рисунки с указанием сил, действующих на шарик в верхней и нижней точках траектории.

Дано:

$$\tau = 0,2 \text{ с}$$

$$l = 0,2 \text{ м}$$

$$\Delta T = 0,4 \text{ Н}$$

$$\omega = \text{const}$$

$$T_2 = ?$$

Решение:

Чтобы определить направление вектора T_2 , найдем ускорение тела, которое будет постоянным:

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \left(\frac{2\pi}{\tau} \right)^2 l \quad a_{ц} = \left(\frac{6,28}{0,2 \text{ с}} \right)^2 0,2 \text{ м} \approx 197 \text{ м/с}^2 \gg g$$

Следовательно, сила T_2 будет направлена вниз.

$$m\vec{g} + \vec{T}_1 = m\vec{a}_1 \quad T_1 - mg = ma \quad (1)$$

$$m\vec{g} + \vec{T}_2 = m\vec{a}_2 \quad T_2 + mg = ma \quad (2)$$

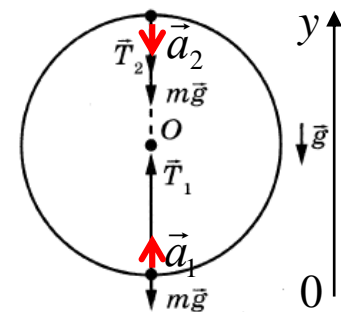
$$T_2 = m(a - g) \Rightarrow T_2 = \frac{\Delta T}{2g} (a - g)$$

$$(1) - (2):$$

$$T_1 - T_2 = 2ma = \Delta T$$

$$\Rightarrow m = \frac{\Delta T}{2g}$$

$$T_2 = \frac{0,4 \text{ Н}}{20} (197 - 10) \approx 3,74 \text{ Н.}$$



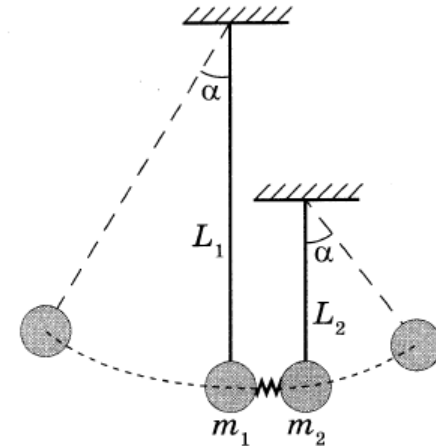
Масса шарика:

ИСО

Ответ: $T_2 = 3,74 \text{ Н}$

30.2

Два шарика подвешены на вертикальных тонких нитях так, что они находятся на одной высоте. Между шариками находится сжатая и связанная нитью лёгкая пружина. При пережигании связывающей нити пружина распрямляется, расталкивает шарики и падает вниз. В результате нити отклоняются в разные стороны на одинаковые углы. Определите отношение масс шариков $\frac{m_2}{m_1}$, если левая нить в 2 раза длиннее правой. Считать величину сжатия пружины во много раз меньше длин нитей.



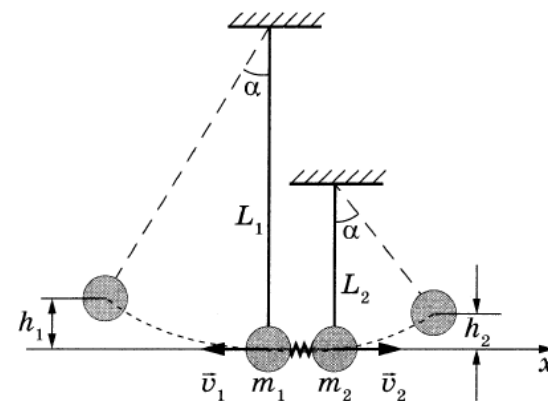
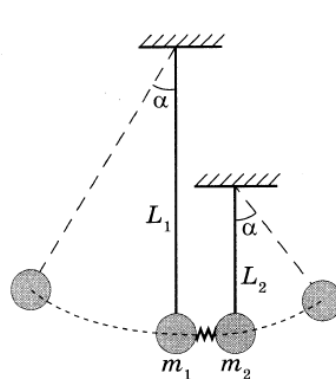
Какие законы Вы использовали для описания взаимодействия тел? Обоснуйте их применимость к данному случаю.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Критерий 1	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, выбор модели, условия применения законов сохранения импульса и мех. энергии</i>	1
В обосновании возможности использования законов (закономерностей) допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
Критерий 2	
<i>как задания 27-29</i>	3

30.2

Два шарика подвешены на вертикальных тонких нитях так, что они находятся на одной высоте. Между шариками находится сжатая и связанная нитью лёгкая пружина. При пережигании связывающей нити пружина распрямляется, расталкивает шарики и падает вниз. В результате нити отклоняются в разные стороны на одинаковые углы. Определите отношение масс шариков $\frac{m_2}{m_1}$, если левая нить в 2 раза длиннее правой. Считать величину сжатия пружины во много раз меньше длин нитей.

Какие законы Вы использовали для описания взаимодействия тел? Обоснуйте их применимость к данному случаю.



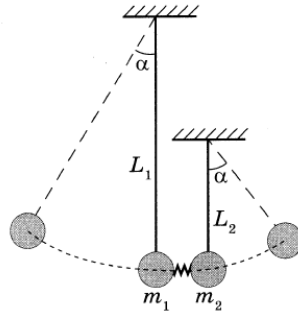
ИСО

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанную с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Шарики будем считать материальными точками, т.к. их размерами можно пренебречь по сравнению с длиной нитей.
3. При пережигании нити пружина толкает оба шарика, действуя на них силой упругости. Сила тяжести mg и сила натяжения T (внешние силы, действующие на систему двух шариков), направлены вертикально \Rightarrow их проекция на ось Ox равна нулю \Rightarrow сохраняется горизонтальная проекция импульса системы шариков, так как импульс легкой пружины пренебрежимо мал (масса мала): $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$, $F_x = 0 \Rightarrow p_x = const.$
4. Изменение механической энергии тела в ИСО равно работе всех непотенциальных сил, приложенных к нему. В процессе движения шариков до высоты h_1 и h_2 на каждый из них действуют потенциальная сила тяжести mg и сила натяжения нити T . Работа непотенциальной силы T при этом перемещении равна нулю, так как вектор силы натяжения перпендикулярен скорости шарика в любой точки траектории. Следовательно, при этом сохраняется закон сохранения механической энергии:

$$\Delta E = A_{непот} = 0 \Rightarrow E = E_k + E_p = const.$$

Два шарика подвешены на вертикальных тонких нитях так, что они находятся на одной высоте. Между шариками находится сжатая и связанная нитью лёгкая пружина. При пережигании связывающей нити пружина распрямляется, расталкивает шарики и падает вниз. В результате нити отклоняются в разные стороны на одинаковые углы. Определите отношение масс шариков $\frac{m_2}{m_1}$, если левая нить в 2 раза длиннее правой. Считать величину сжатия пружины во много раз меньше длин нитей.



Какие законы Вы использовали для описания взаимодействия тел? Обоснуйте их применимость к данному случаю.

Дано:

$$L_1 = 2L_2$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

$$\frac{m_2}{m_1} = ?$$

Решение: После пережигания нити:

$$p_x = \text{const}$$

$$0 = m_2 v_2 - m_1 v_1 \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

В процессе движения каждого шарика к верхней точке траектории:

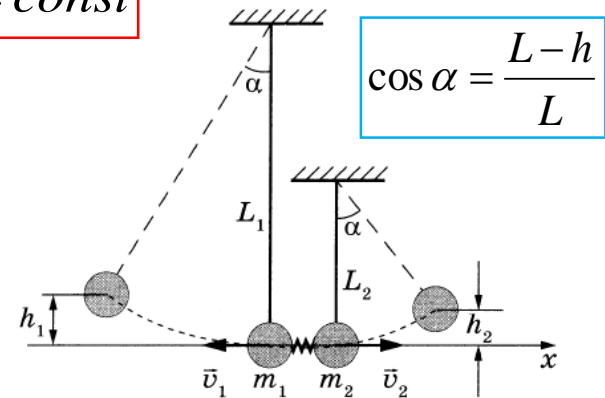
$$E = E_k + E_p = \text{const}$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = m_1 g h_1 = m_1 g L_1 (1 - \cos \alpha) \quad (1)$$

$$\frac{m_2 v_2^2}{2} = m_2 g h_2 = m_2 g L_2 (1 - \cos \alpha) \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} : \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 = \frac{L_1}{L_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{2L_2}{L_2}} = \sqrt{2} \approx 1,4.$$

Ответ: $\frac{m_2}{m_1} = 1,4$

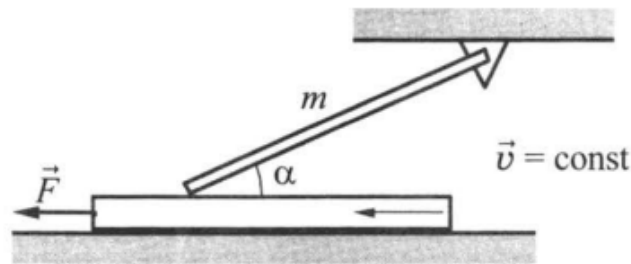


$$\cos \alpha = \frac{L-h}{L}$$

ИСО

30.3

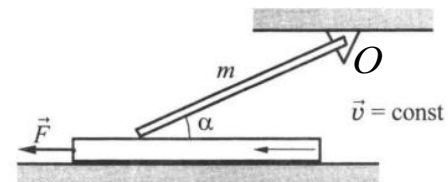
Однородный тонкий стержень массой $m = 1$ кг одним концом шарнирно прикреплен к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол $\alpha = 30^\circ$. Под действием горизонтальной силы \vec{F} доска движется поступательно влево с постоянной скоростью (см. рисунок). Стержень при этом неподвижен. Найдите F , если коэффициент трения стержня по доске $\mu = 0,2$. Трением доски по опоре и трением в шарнире пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на доску и стержень. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Критерий 1	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, выбор модели, условия применения правила моментов и законов Ньютона, рисунок с указанием сил</i>	1
В обосновании возможности использования законов (закономерностей) допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
Критерий 2	
<i>как задания 27-29</i>	3

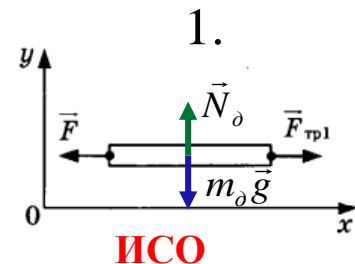
30.3

Однородный тонкий стержень массой $m = 1$ кг одним концом шарнирно прикреплен к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол $\alpha = 30^\circ$. Под действием горизонтальной силы \vec{F} доска движется поступательно влево с постоянной скоростью (см. рисунок). Стержень при этом неподвижен. Найдите F , если коэффициент трения стержня по доске $\mu = 0,2$. Трением доски по опоре и трением в шарнире пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на доску и стержень. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.

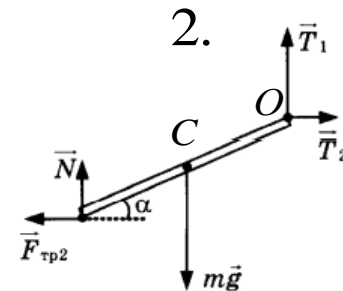


Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанную с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Стержень и доску будем абсолютно твёрдыми телами, то есть их размеры и форма остаются постоянными при любой нагрузке.
3. Любое движение твёрдого тела является суперпозицией поступательного и вращательного движений. По этой причине рассматривают два условия равновесия тела – одно для поступательного движения (II закон Ньютона), другое для вращательного движения (правило моментов).
4. На доску (рис. 1) действуют сила тяжести mg и сила реакции опоры N_d , которые компенсируют друг друга, т.к. опора горизонтальная, а также внешняя сила F и сила трения со стороны стержня F_1 .



Учитывая п.1 и п. 2 для доски выполняется II закон Ньютона. Сила трения между опорой и доской отсутствует. Для доски и стержня выполняется III закон Ньютона (для $F_{тр}$).

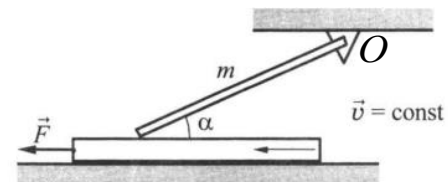


$$\vec{T} = \vec{T}_1 + \vec{T}_2$$

Поскольку стержень покоится (рис. 2), то векторная сумма внешних сил, приложенная к нему, равна 0 (сила тяжести mg , сила реакции опоры N , сила трения со стороны доски F_2 и сила реакции шарнира T). Следовательно, и алгебраическая сумма моментов этих сил будет равна нулю относительно оси вращения, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку O (шарнир).

30.3

Однородный тонкий стержень массой $m = 1$ кг одним концом шарнирно прикреплен к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол $\alpha = 30^\circ$. Под действием горизонтальной силы \vec{F} доска движется поступательно влево с постоянной скоростью (см. рисунок). Стержень при этом неподвижен. Найдите F , если коэффициент трения стержня по доске $\mu = 0,2$. Трением доски по опоре и трением в шарнире пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на доску и стержень. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



Дано: Решение: $\vec{v} = const$: $\vec{F} + m_d \vec{g} + \vec{F}_{тр1} + \vec{N}_d = 0$ для доски

$m = 1 \text{ кг}$

$\alpha = 30^\circ$

$\mu = 0,2$

$F - ?$

$F = F_{тр1}$

т.о: $M_1 + M_2 + M_3 = 0$ для стержня длиной L $M = Fl$

$mg \frac{L}{2} \cos \alpha - F_{тр2} L \sin \alpha - NL \cos \alpha = 0$

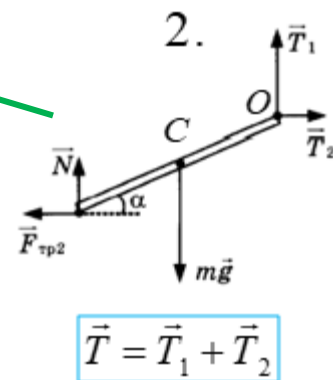
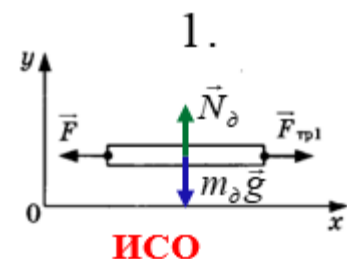
$F_{тр1} = F_{тр2}$ по III закону Ньютона

$F_{тр2} = \mu N$

$mg \frac{L}{2} \cos \alpha - \mu TL \sin \alpha - NL \cos \alpha = 0 \Rightarrow N = \frac{mg}{2(1 + \mu tg \alpha)}$

$F = F_{тр2} = \mu N \Rightarrow F = \frac{\mu mg}{2(1 + \mu tg \alpha)}$

$F = \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 10}{2(1 + 0,2 \cdot tg 30^\circ)} \approx 0,9 \text{ Н.}$

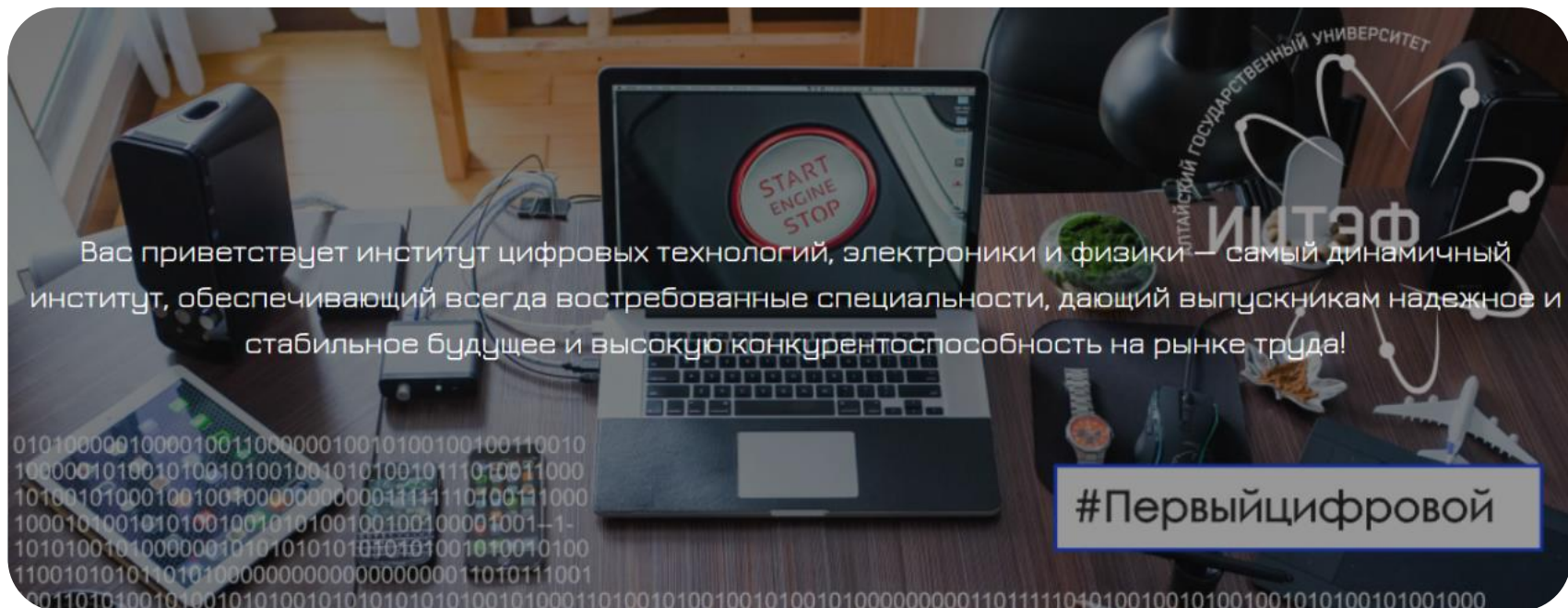


Ответ: $F = 0,9 \text{ Н}$

Плечо силы l – кратчайшее расстояние между т.О и линией действия силы!

Видеозаписи вебинаров и презентации на сайте ИЦТЭФ:

<https://phys.asu.ru/>



Следующий вебинар:

Вариант 1 КИМ ЕГЭ 2023

17.05.2023 в 15.00

Вход по ссылке: <https://events.webinar.ru/5496977/387955546>