Открытая межвузовская олимпиада школьников СФО «Будущее Сибири»
II(заключительный) этап, 2023–2024 учебный год
Физика 11 класс
Каждая правильно решенная задача оценивается в 10 баллов.

1.Велосипедист, двигаясь вдоль проспекта, заметил, что трамваи, движущиеся ему навстречу, встречаются вдвое чаще, чем обгоняющие его попутные трамваи. Автомобилист, двигаясь по тому же проспекту, также заметил, что встречные трамваи он видит вдвое чаще попутных, которые он периодически обгоняет. Считая скорости велосипеда, автомобиля и трамваев постоянными, а интервалы движения трамваев в обе стороны одинаковыми, определите, во сколько раз автомобиль двигается быстрее велосипеда.

Решение

Пусть $\upsilon_в, \upsilon_т, \upsilon_а$ – скорости велосипедиста, трамвая и автомобилиста, соответственно. Из условия очевидно, что $\upsilon_в < \upsilon_т, < \upsilon_а$. Относительная скорость сближения велосипедиста и автомобилиста со встречными трамваями равна сумме соответствующих скоростей, а с попутными – разности. Условие того, что при одинаковых интервалах движения встречные трамваи встречаются велосипедисту и автомобилисту вдвое чаще попутных, означает, что соответствующие относительные скорости отличаются в 2 раза:

$$\frac{\upsilon_т + \upsilon_в}{\upsilon_т - \upsilon_в} = 2, \qquad (1)$$ **4 б.**

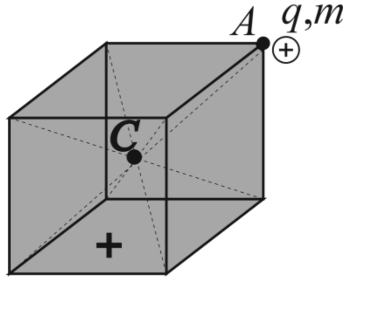
$$\frac{\upsilon_а + \upsilon_т}{\upsilon_а - \upsilon_т} = 2. \qquad (2)$$ **4 б.**

Из (1) и (2) найдём уравнения: $\upsilon_т / \upsilon_в = 3$, $\upsilon_а / \upsilon_т = 3$. Перемножив эти уравнения, получим:

$$\upsilon_а / \upsilon_в = 9.$$ **2 б.**

Ответ: $\upsilon_а / \upsilon_в = 9$.

2.Тело в форме кубика, закреплённое в вакууме, равномерно заряжено по объёму так, что потенциал электростатического поля в центре кубика C равен $\varphi_C = 10\,\text{В}$. Заряд тела положительный. Какую скорость приобретет пылинка, отпущенная без толчка вблизи одной из вершин кубика, например, A, на бесконечном расстоянии от этой вершины? Заряд и масса пылинки равны $q = +1{,}0\,\text{мКл}$, $m = 1{,}0\,\text{мг}$.



Решение

Выясним, как связан потенциал поля в центре кубика φ_C с потенциалом в его вершинах.

В точке C соединяются вершины восьми кубиков, линейные размеры которых вдвое меньше исходного. Обозначим исходный и малый кубик соответственно Z и z. **4 б.**

Мысленно разобьём кубики Z иz на одинаковое количество маленьких кусочков, каждый из которых будем рассматривать как точечный заряд. Потенциалы электростатического поля, созданного соответствующими кусочками в вершинах будут связаны соотношением

$$d\varphi_z = \frac{k \cdot \frac{1}{8} dq_Z}{\frac{1}{2} r_Z} = \frac{1}{4} d\varphi_Z. \qquad \textbf{2 б.}$$

Следовательно,

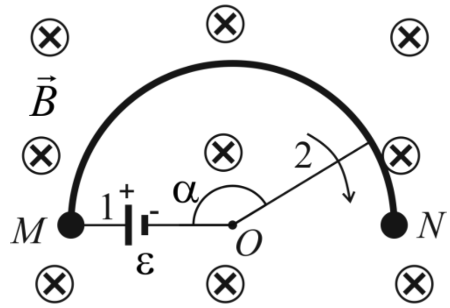
$$\varphi_C = 8\varphi_z = 2\varphi_Z \Rightarrow \varphi_Z = 5{,}0\text{В}. \qquad \textbf{2 б.}$$

Здесь φ_Z – потенциал поля в вершине исходного кубика.

Скорость пылинки найдем из соотношения

$$\frac{m \cdot \upsilon_\infty^2}{2} = q\varphi_Z \Rightarrow \upsilon_\infty = \sqrt{\frac{2\varphi_Z q}{m}} = \sqrt{10} \approx 3{,}2\,\text{м/с} \qquad \textbf{2 б.}$$

Ответ: $\upsilon_\infty = \sqrt{10} \approx 3{,}2\,\text{м/с}$



3. Проводник с поперечным сечением $S = 1{,}0\ \text{мм}^2$ и удельным сопротивлением $\rho = 0{,}017\ \text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ в форме полуокружности радиусом $r = 0{,}20$ м помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ Тл. Вектор $\vec{B}$ направлен перпендикулярно плоскости полуокружности «от нас». Центр кривизны полуокружности O соединён с проводником двумя перемычками 1 и 2 с пренебрежимо малыми сопротивлениями. Перемычка 1 неподвижна и соединена с крайней левой точкой M полуокружности. В разрыв этой перемычки включен источник ЭДС с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением (см. рисунок). Величина ЭДС $\varepsilon = 1{,}0 \cdot 10^{-4}$ В. Перемычка 2 вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 10$ рад/с вокруг оси, проходящей через точку O. Найдите силу тока в цепи в момент, когда перемычка 2 подойдёт к крайней правой точке N полуокружности.

Решение

Закон Фарадея $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{BdS_c}{dt}$. **2 б.**

Площадь сектора круга $S_c = \frac{\pi r^2}{2\pi}\alpha = \frac{r^2}{2}\alpha$ **2 б.**

Тогда ЭДС индукции $\varepsilon_i = -\frac{BdS_c}{dt} = -\frac{Br^2\omega}{2}$. **2 б.**

Сопротивление проводника $R = \rho\frac{l_\alpha}{S} = \rho\frac{r \cdot \alpha}{S}$ **2 б.**

Сила тока при $\alpha = \pi$ рад:

$$I = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon}{R} = \frac{\frac{Br^2\omega}{2} - \varepsilon}{\rho \frac{r \cdot \alpha}{S}} = \frac{\frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 0.2^2 \cdot 10}{2} - 1 \cdot 10^{-4}}{0{,}017 \cdot 10^{-6} \frac{0.2 \cdot \pi}{1 \cdot 10^{-6}}} \approx 9{,}4 \cdot 10^{-3} \text{A}$$ **2 б.**

Ответ: $I \approx 9{,}4 \cdot 10^{-3}$ А

4. Однородный стержень постоянной толщины длиной $l = 0{,}50$ м скользит по гладкой горизонтальной поверхности вдоль своей длины со скоростью $\upsilon_0 = 1{,}0$ м/с и наезжает на участок с шероховатой поверхностью, где коэффициент трения равен $\mu = 0{,}25$. Какая доля стержня *D* останется на гладкой поверхности после его остановки? (Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2).

Решение

Пусть стержень движется вправо вдоль оси *x*, начало которой поместим на границе гладкой и шероховатой поверхностей и направим вдоль направления движения стержня. За начальный примем момент времени, когда передний конец стержня коснется точки *x*=0. Пусть координата правого конца стержня, частично заехавшего на шероховатую поверхность, равна *x*. Тогда сила трения скольжения, действующая на стержень в этот момент,

$$F = \mu m \frac{x}{l} g. \qquad \text{для } (x \le l)$$ **3 б.**

Из теоремы о кинетической энергии следует, что приращение кинетической энергии стержня равно работе результирующей силы, которая в данном случае равна работе силы трения.

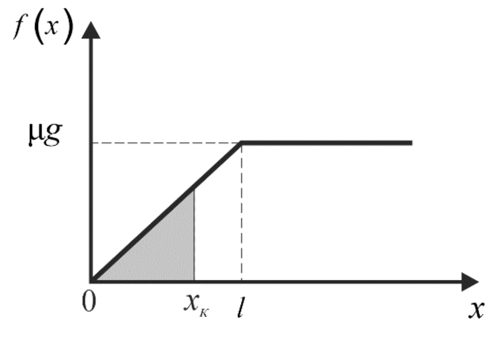
$$0 - \frac{m\upsilon_0^2}{2} = -\int_0^{x_к} \mu m g \frac{x}{l} dx.$$ **3 б.**

Здесь $x_к$ – конечное значение координаты *x* в момент остановки стержня.

После сокращения массы получаем:

$$\frac{\upsilon_0^2}{2} = \int_0^{x_к} \mu g \frac{x}{l} dx.$$ **1 б.**

Функция $f(x) = \frac{\mu g}{l} x$ – линейная. Изобразим её график.



Площадь под графиком (треугольник) численно равна значению интеграла.

Подберём такое значение $x_к$, при котором эта площадь будет равна $\upsilon_0^2/2$.

$$\frac{\upsilon_0^2}{2} = \frac{\mu g x_к x_к}{2l} \Rightarrow x_к = \upsilon_0 \sqrt{\frac{l}{\mu g}} = 1\sqrt{\frac{0,5}{0,25 \cdot 9,8}} = 0,45. \qquad \textbf{2 б.}$$

Тогда

$$D = \frac{l - x_к}{l} = 1 - \frac{0,45}{0,5} = 0,096. \qquad \textbf{1 б}$$

Заметим, что при меньшем значении коэффициента трения μ стержень мог бы полностью заехать на шероховатую поверхность. Тогда сила трения скольжения становится максимальной

$$F_{\max} = \mu mg$$

и не меняется до момента остановки.

Ответ: $D = 0,096$

5. Оцените количество электроэнергии в киловатт-часах, которую должен использовать подъемный кран, чтобы построить кирпичный девятиэтажный дом. *Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие в условии задачи величины, выбрать их численные значения и получить численный результат.*

Решение

Будем считать, что высота одного этажа 3 м. Тогда стандартный объём девятиэтажного дома:

$$V = 100\text{м} \cdot 10\text{м} \cdot 27\text{м} = 2,7 \cdot 10^4 \text{м}^3. \qquad \textbf{1 б.}$$

Объём стен в стандартной комнате 5×3 м^2:

$$V_{\text{стен}} = 3\text{м} \cdot (3\text{м} \cdot 0,4\text{м} + 13\text{м} \cdot 0,1\text{м} \cdot \frac{1}{2}) \approx 6\text{м}^3,$$

тогда отношение объёма стен к объёму всего дома:

$$\frac{6\text{м}^3}{3 \cdot 3 \cdot 5\text{м}^3} = \frac{2}{15}. \qquad \textbf{2 б.}$$

Плотность кирпича примерно равна 3000кг/м^3 **1 б.**

Тогда масса всех стен дома равна:

$$M_{\text{стен}} = 3000 \cdot 2,7 \cdot 10^4 \cdot \frac{2}{15} = 10,8 \times 10^6 \left(\text{кг}\right).$$

Высота центра масс дома 13,5 м. **1 б.**

Тогда потенциальная энергия подъёма его массы на эту высоту:

$$U = 10,8 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 13,5 = 14,58 \times 10^8 \left(\text{Дж}\right). \qquad \textbf{3 б.}$$

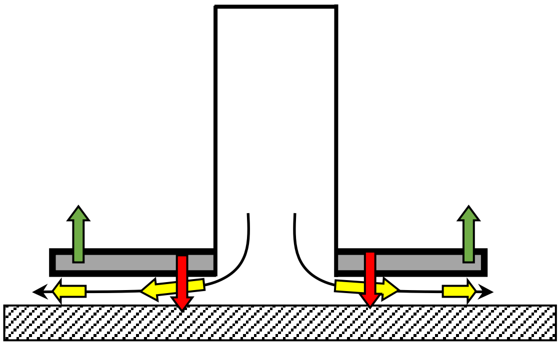
Учитывая, что 1 кВт-час = $3600 \cdot 1000$ Дж, получим:

$$U \approx 400\text{кВт-час}. \qquad \textbf{2 б.}$$

Ответ: $U \approx 400$кВт-час.

6. *Задача-демонстрация (демонстрируется видеоролик).* К небольшому плоскому диску с отверстием по центру присоединен шланг, так, что выходное отверстие шланга совпадает с отверстием диска. Если прижать диск к гладкой вертикальной поверхности и отпустить, то он упадет. Если же по шлангу подать достаточно сильный поток воды и поднести диск к поверхности на достаточно малое расстояние, то он практически прилипает к поверхности. При этом его сложно будет оторвать от поверхности, но он легко перемещается вдоль нее. Диск может удержаться, даже если поверхность расположить горизонтально, а диск прислонить снизу. Объясните наблюдаемое явление.

Решение



Между диском и поверхностью находится тонкий слой протекающей жидкости. Благодаря этому слою диск легко скользит по гладкой поверхности. Если попытаться прижать диск сильнее к поверхности, то можно почувствовать возрастающее сопротивление. При попытке оторвать диск от поверхности, также возникают силы, препятствующие этому. Если зазор между диском и отверстием мал, то силы вязкого трения увеличиваются, поток тормозится, давление жидкости на диск растет, и он отталкивается от поверхности. **4 б.**

Когда зазор увеличивается и силы вязкого трения существенно уменьшаются, то скорость потока возрастет, и согласно уравнению Бернулли, и давление на диск со стороны жидкости уменьшается. Атмосферное давление оказывается больше чем давление жидкости и диск прижимается к поверхности, а поверхность к диску. **4 б.**

За счёт того, что диаметр отверстия меньше диаметра диска и жидкость растекается по диску во все стороны, скорость потока уменьшается (на рис. желтые стрелки) по мере удаления от центра диска к краям. Поэтому, на действуют одновременно две силы: у основания, где скорость выше силы притяжения (на рис. красные стрелки), а у краев, где силы вязкого трения за счет более низкой скорости превалируют, действуют силы отталкивания (на рис. зеленые стрелки).

Между этими силами возникает баланс, если зазор растет, то превалируют силы притяжения, если зазор уменьшается – силы отталкивания. **2 б.**