

Решения заданий теоретического тура районной олимпиады по физике.

2 день.

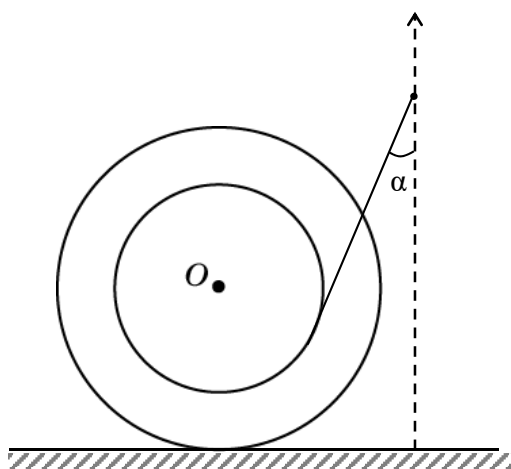
Задание I

Воздушный змей – летательный аппарат, удерживаемый с Земли при помощи леера и поднимаемый за счёт силы ветра.

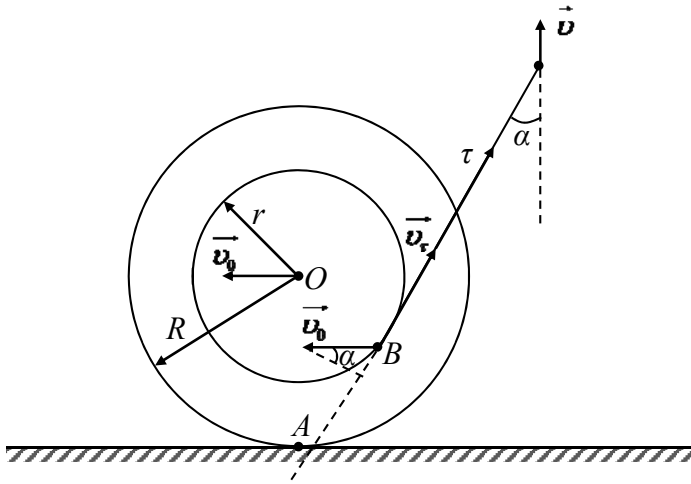
В 1896г в Америке впервые опробовали воздушного змея для обеспечения телефонной связи там, где не проложен телефонный кабель. Тонкий электрический провод, привязанный к змею, поднимавшемуся на высоту нескольких десятков метров, разматывается с катушки радиуса $R = 3\text{ м}$, которая катится по горизонтальной поверхности земли при скорости центра $v_0 = 2\text{ м/с}$.

В некоторый момент провод, протянутый под сучком дерева, составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с вертикалью. При этом радиус намотки провода равен $r = 2,7\text{ м}$.

Какова в этот момент скорость подъёма змея?



Решение задания I



Если подвижную систему отсчёта связать с центром катушки, то для некоторой точки \$B\$ провода закон сложения скоростей $\vec{u}_B = \vec{u}_B' + \vec{v}_0$, где \vec{u}_B – скорость т. \$B\$ относительно Земли, \vec{u}_B' – скорость т. \$B\$ относительно центра катушки, \vec{v}_0 – скорость центра катушки относительно Земли.

В проекции на ось τ : $v_\tau - v_0 \sin \alpha = v$ – скорость подъёма воздушного змея.

Т.е. величина скорости змея – это проекция скорости т. \$B\$ относительно Земли на ось τ .

v_τ – линейная скорость точки \$B\$ – точки касания провода и внутреннего цилиндра – скорость т. \$B\$ в подвижной системе отсчёта (ПСО), т.е. относительно центра \$O\$.

$v_\tau = \omega r$, где ω – угловая скорость всей катушки. Она одинакова у всех точек катушки (и у т. \$B\$, и у т. \$A\$).

Так как катушка, не скользит по поверхности земли, то её т. \$A\$ в момент соприкосновения с землёй не имеет скорости относительно Земли: $\vec{u}_A = 0$.

По закону сложения скоростей для т. \$A\$: $\vec{u}_A = \vec{u}_A' + \vec{v}_0$, где $\vec{u}_A = 0$.

$$0 = \vec{u}_A' + \vec{v}_0 \Rightarrow |\vec{u}_A'| = |\vec{v}_0| = \omega R \Rightarrow \omega = \frac{v_0}{R}$$

$$\text{Тогда } \omega r - v_0 \sin \alpha = v \Leftrightarrow \frac{v_0}{R} \cdot r - v_0 \sin \alpha = v$$

$$v = v_0 \left(\frac{r}{R} - \sin \alpha \right); v = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Критерии оценки задания I (8 баллов)

(1 б) – Установлено сложное движение точек провода: они участвуют в поступательном и вращательном движениях.

(1 б) – Правильным является введение двух систем отсчёта: НСО, связанной с Землёй и ПСО, связанной с центром катушки, движущейся равномерно и прямолинейно.

(3 б) – Верно записан закон сложения скоростей для выбранной точки шнура – точки \$B\$: в векторной форме и в проекциях на ось τ .

(1 б) – Обосновано равенство угловых скоростей точек катушки, удаленных от центра на разные расстояния, т.е. т. \$A\$ и т. \$B\$.

(2 б) – Получена расчётная формула, и найдена искомая величина.

Задание II

Назовём его multitask, т.е. многозадачным.

Оно связано с беспилотным летательным аппаратом.

У многих физиков при виде 100-долларовой купюры возникают странные ассоциации: «гром и молния». Все очень просто. На 100 долларах изображен портрет Бенджамина Франклина, который не только создал Американскую Конституцию, но и изобрел громоотвод.

1. Какая ошибка допущена в последнем абзаце?

Для исследования электрических свойств туч Бенджамин Франклин самостоятельно соорудил воздушного змея, натянув на крестовину из двух кедровых палок легкий шелковый платок. К крестовине змея он прикрепил небольшую 30-сантиметровую проволоку, конец которой направил вверх. К нижнему концу собранного воздушного змея ученый привязал шелковую ленту, а в месте контакта ленты с дополнительным поводком – ключ.



Когда дождь полностью смочил змея, сделал его способным свободно проводить электричество, экспериментатор мог увидеть, как электрический огонь легко стекает с ключа при малейшем приближении пальца.

Задумка была проста: если молния представляет собой электричество, то после ее удара заряд пропутешествует по мокрому тросу, и на ключе можно будет увидеть разряд.

2. А в случае падения ключа на землю, что сделали бы Вы?

3. На гравюре наблюдатели явно мокнут под дождём (косые штрихи). Не лучше ли им спрятаться под деревом?

4. Чему равна плотность вещества ШМ?

Георг Рихман — российский физик немецкого происхождения. Вместе с Михаилом Ломоносовым он занимался изучением электричества, в частности атмосферного.

В августе 1753 года во время заседания Петербургской Академии наук разразилась сильнейшая гроза. Рихман бросился домой. Придя домой, Г.Рихман, как был в **парадном кафтане**, тоже бросился к своему устройству. Молния ударила в железный прут, укрепленный на крыше рихманского дома, прошла по проводам к специальному прибору («электрическому указателю»), сооруженному Рихманом, после чего от прибора отделился тусклый огненный шар и ударил ученого в лоб. Ведь перед Рихманом стояла задача «поймать» молнию, а не упустить ее. Все заняло доли секунды.

Шаровая молния (ШМ) плавала в помещении.



Смерть академика Рихмана при опыте уловления молнии.

5. Какую роль сыграл мундир Рихмана в трагическом эксперименте?



6. На поверхности Земли находится отрицательный заряд, каким будет заряд ШМ?

7. Как можно узнать: насколько далеко находится эпицентр грозы от наблюдателя.

Решение задания II

1. Речь идёт и молниеотводе – устройстве, устанавливаемом на зданиях и сооружениях для защиты от удара молнии. Существует в быту некорректное название громоотвод, что, с точки зрения физики, неправильно.
2. На поверхности грунта образуется электрическое поле в виде круга с определённым радиусом, точки которого обладают разной величиной потенциала. Чем больше длина между точками зоны поражения, тем больше разность потенциалов, значит, больше шаговое напряжение (ШН).

Когда человека застало неожиданное возникновение ШН, ему нужно покинуть опасную территорию, передвигаясь мелкими шаркающими шагами.

3. Не следует прятаться от дождя под деревом, пусть даже это единственная защита от ливня во время грозы. Народная мудрость гласит: “Лучше быть мокрым, но живым, чем сухим и мёртвым.” Разряд статического электричества обычно проходит по пути наименьшего электрического сопротивления. Очевидно, от верхушки дерева до кучевого облака расстояние меньше, чем от земли до этого облака, поэтому молния поразит в первую очередь высокий предмет.

4. Шаровая молния плавает в помещении, следовательно плотность её вещества равна

$$\text{плотности воздуха } \rho_{\text{шм}} = \rho_{\text{воз}} = \frac{P \cdot \mu}{RT} \cdot \rho = \frac{10^5 \cdot 29}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 300} \approx 1,2 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

$$[\rho] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{град}} \cdot \text{град}} = \frac{\cancel{\text{Н}} \cdot \text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \cancel{\text{Н}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

5. На парадном мундире были пуговицы из металла и скорее всего, посеребренные. ШМ в результате электростатической индукции, приблизившись, “навела” заряд противоположного знака. А это и обусловило резкое притяжение и удар.
6. Ионосфера – область ионизированной атмосферы – имеет положительный заряд. В то время, как на поверхности Земли находится отрицательный заряд. Именно ионосфера обуславливает положительный заряд ШМ.
7. Известно, для преодоления звуком расстояния в 1 км требуется 3 сек. Надо лишь подсчитать, сколько секунд прошло между вспышкой молнии и раскатом грома, а затем полученное число разделить на 3. Полученная цифра и есть расстояние в км до эпицентра грозы.

Если запаздывание звука растёт, то грозовой фронт удаляется. А если запаздывание звука сокращается, то грозовой фронт приближается.

Если же вспышка молнии и громовой раскат слились воедино, то это означает, что Вы находитесь в эпицентре грозы, и это очень опасно.

Критерии оценки задания II (14 баллов)

- 1) **(1 б)** – Указано принципиальное физическое различие явлений грома и молнии.
- 2) **(2 б)** – Верно отмечено поражающее действие тока, сила которого прямопропорциональна разности потенциалов точек поля. Шаговая разность потенциалов – шаговое напряжение оценено правильно: чем больше шаг, тем больше напряжение между ступнями ног.
- 3) **(1 б)** – Указаны наилучшие условия для для электрического разряда: уменьшение электрического сопротивления при сокращении пути, по которому идёт этот разряд, осуществляется благодаря высоте дерева.
- 4) Максимально 5 баллов
 - (2 б)** – а) произведена сравнительная характеристика плотности ШМ и плотности воздуха на качественном уровне;
 - (3 б)** б) произведена количественная оценка этих величин с помощью уравнения Менделеева-Клапейрода для воздуха при нормальных условиях.
- 5) **(2 б)** – Верно установлена причина притяжения ШМ и проводника – наведение электростатического заряда противоположного знака на поверхности металлических (посеребрённых) пуговиц мундира. При этом должно быть чётко указано явление электростатической индукции.
- 6) **(2 б)** – Общеизвестно, что поверхность Земли имеет отрицательный заряд. Значит ионосфера имеет положительный заряд. Эти рассуждения вполне обосновывают положительный знак заряда ШМ. Достаточно обоснованным следует считать ссыла на отсутствие отталкивания ШМ от отрицательно заряженной поверхности Земли.
- 7) Максимально 1 балл
 - (1б)** – Правильной должна быть признана количественная оценка расстояния до эпицентра грозы
или
 - (0,5б)** – Приемлемым можно считать указание опасности совпадения моментов грома и вспышки молнии, а также качественная оценка изменения расстояния до эпицентра.

Задание III

Дрон – это летающий робот. В староанглийском языке слово «drone» обозначало пчелиного самца – трутня.

Итак, уже в шестнадцатом веке термин «drone» стал употребляться в качестве определения для всякого рода бездельников и лентяев.

Ваше дальнейшее исследование будет связано с современным дроном – квадрокоптером Phantom 4.



Появление подъёмной силы у квадрокоптера Вы исследовали в первый день олимпиады в задаче с Карлсоном. А в данном задании требуется оценить разность давлений воздуха, создаваемую одним из винтов при зависании, когда тяга четырех винтов толкает дрон вверх.

Сделайте это для квадрокоптера Phantom 4, который прославился тем, что 26 января 2015 г упал на территорию Белого дома США, из-за чего Секретной службе пришлось временно заблокировать здание.

Масса квадрокоптера Phantom 4 равна $M = 1,4$ кг

Длина лопасти винта равна $D = 33$ см – это диаметр окружности, описываемой лопастями винта.

Решение задания III

Движение коптера происходит на большой высоте (по сравнению с диаметром лопастей). Т.к. рассматривается режим «зависания», то

$F_{\text{под}} = Mg$ для всего квадрокоптера, где $\overline{F_{\text{под}}}$ – подъёмная сила.

Чтобы воздух, подсасываемый со всех направлений (исключая направление вниз), разогнался до скорости v , давление над коптером должно быть меньше атмосферного на величину $\frac{\rho v^2}{2}$, где ρ – плотность воздуха. При этом воздух, приближаясь со всех сторон к области над винтами, приобретает кинетическую энергию за счёт аккумулятора.

По II закону Ньютона $\frac{\Delta m \cdot v}{\Delta t} = F_{\text{под}} = Mg$

Для одного винта: $\frac{\Delta m \cdot v}{\Delta t} = \frac{Mg}{4}$, где Mg – вес коптера.

$$\Delta m = \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot v \cdot \Delta t$$

$$\Delta m \cdot v = \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot v^2 \cdot \Delta t; \quad \frac{\Delta m v}{\Delta t} = \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot v^2 = \frac{Mg}{4}. \quad \text{Т.к. } P + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}, \text{ то}$$

$$\text{разность давлений составит } \Delta P = \frac{\rho v^2}{2} = \frac{Mg}{2\pi D^2}$$

$$\Delta P = \frac{14}{2 \cdot 3,14 \cdot (0,33)^2} \approx 20,5 (\text{Па})$$

$$[\Delta P] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}$$

Критерии оценки задания III (10 баллов)

(0,5 б) – Верно установлено направление воздушной тяги в области над винтами.

(2 б) – Указано появление динамического давления воздуха в этой области, как следствие роста кинетической энергии этого воздуха за счёт работы аккумулятора.

(3,5 б) – Использован закон Бернулли для объяснения уменьшения статического давления.

(1 б) – Оценка импульса отбрасываемого воздуха произведена с использованием универсальной

формулировки II закона Ньютона: $\frac{\Delta \vec{K}}{\Delta t} = \vec{F}$.

(2б) – Приветствуется решение задачи “в общем виде”, т.к. это позволит исключить величину плотности воздуха. Если же на промежуточном этапе решения необходимость использовать эту величину всё же появилась, то похвально будет определить её из уравнения Менделеева-Клапейрона для нормальных условий.

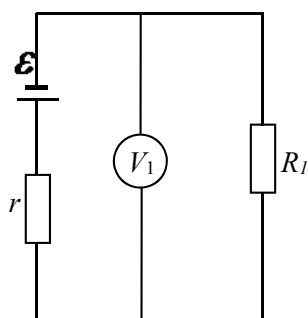
(1 б) – Получена верная расчётная формула. Получен достоверный результат.

Задание IV

Одной из важнейших деталей дрона является его аккумулятор. Это сердце аппарата. Вы несёте ответственность за то, чтобы его батарея никогда не была полностью разряжена. Поэтому было бы разумно выполнять проверку устройства непосредственно перед полетом.

В наличии у нас имеются два вполне исправных вольтметра, но они не идеальны, то есть их собственные сопротивления имеют конечную величину. Показание одного из вольтметров, при подключении к аккумулятору, равно 14В. Подключив к аккумулятору вместо первого второй, мы получили значение 12В. Уныло поразмыслив, мы подключили к аккумулятору оба вольтметра параллельно друг другу. Они показали одно и то же напряжение 11В. Объясните, как мы определили ЭДС батарейки \mathcal{E} .

Решение задания IV

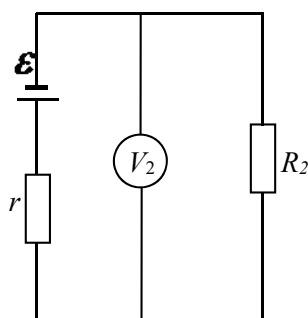


$$\mathcal{E} = i \cdot (R_1 + r)$$

$$U_1 = i \cdot R_1 - \text{показание вольтметра}$$

$$i = \frac{U_1}{R_1}; \mathcal{E} = \frac{U_1}{R_1} (R_1 + r); \mathcal{E} = U_1 \cdot \left(1 + \frac{r}{R_1} \right)$$

$$U_1 = \frac{\mathcal{E}}{1 + \frac{r}{R_1}} (*)$$

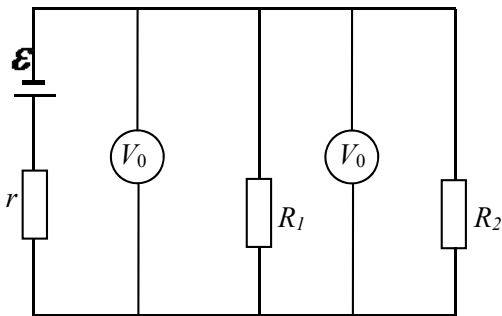


$$\text{Аналогично, } U_2 = \frac{\mathcal{E}}{1 + \frac{r}{R_2}} (**)$$

В этом случае при параллельном соединении вольтметров их общее сопротивление будет:

$$R_{1,2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}};$$

$$\text{Тогда } U_0 = \frac{\mathcal{E}}{1 + \frac{r}{R_{1,2}}} = \frac{\mathcal{E}}{1 + r \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}$$



Складываем выражения из (*) и из (**):

$$1 + \frac{r}{R_1} = \frac{\mathcal{E}}{U_1}$$

$$+$$

$$1 + \frac{r}{R_2} = \frac{\mathcal{E}}{U_2}$$

$$\hline 1 + \frac{r}{R_1} + \frac{r}{R_2} = \frac{\mathcal{E}}{U_1} + \frac{\mathcal{E}}{U_2} - 1$$

А так как $1 + \frac{r}{R_1} + \frac{r}{R_2} = \frac{\mathcal{E}}{U_0}$, то $\frac{\mathcal{E}}{U_0} = \frac{\mathcal{E}}{U_1} + \frac{\mathcal{E}}{U_2} - 1$

$$\mathcal{E} = \frac{1}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} - \frac{1}{U_0}}; \quad \mathcal{E} = \frac{1}{\frac{1}{14} + \frac{1}{12} - \frac{1}{11}} \approx 15,7(\text{В})$$

Критерии оценки задания IV (8 баллов)

(1 б) – Верно схематично представлен первый опыт использования указанных приборов с их особенностями.

(1 б) – Правильно изображена схема второго опыта.

(2 б) – Обоснованно включены в схему для третьего опыта указанные приборы и их элементы.

(2 б) – Верно произведён расчёт электрических цепей во всех трёх случаях.

(2 б) – Получена расчётная формула и найдено правильное числовое значение искомой величины.