ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ!»
ПО ФИЗИКЕ.
2020/21 учебный год, ЗАДАНИЯ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ЭТАПА.

7-9 классы

Заключительный этап олимпиады проводился с использованием дистанционных технологий, позволяющих проводить идентификацию личности участника и контролировать соблюдение им регламента и правил проведения олимпиады (прокторинг). Испытание заключительного этапа проводилось одновременно для всех участников.

Критерии оценивания:

Для вопросов:

Есть отдельные правильные соображения – **1 балл.**

Ответ в целом правилен, но содержит существенные неточности, или существенно неполон, или отсутствует обоснование (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **2 балла.**

Ответ правилен, но присутствуют мелкие неточности, или ответ недостаточно полон, или отсутствует достаточное обоснование (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **3 балла.**

Ответ полностью правильный, но недостаточно обоснованный (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **4 балла.**

Правильный, полный и обоснованный ответ – **5 баллов (максимальная оценка).**

Для задач:

Есть отдельные правильные соображения – **1-2 балла.**

Есть часть необходимых для решения соображений, решение не закончено или содержит серьезные ошибки – **3-4 балла.**

Присутствует большая часть необходимых для решения соображений, правильно записана часть необходимых соотношений, решение не закончено или содержит ошибки – **5-7 баллов.**

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны почти все необходимые для решения исходные уравнения, но решение не закончено или содержит ошибки – **8-10 баллов.**

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны все необходимые для решения исходные уравнения, решение выстроено правильно с физической и логической точки зрения, но содержит ошибки – **11-14 баллов.**

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны все необходимые для решения исходные уравнения, решение выстроено правильно с физической и логической точки зрения, но содержит одну-две мелкие неточности, не позволившие получить правильный ответ, или правильное решение с недостаточным обоснованием существенных использованных результатов – **15-17 баллов.**

Правильное обоснованное решение с верным аналитическим ответом, но мелкой неточностью при получении численного ответа, либо правильное решение с правильными ответами с недостаточным обоснованием одного из использованных результатов (из числа не ключевых для решения, но необходимых) – **18-19 баллов.**

Полное, правильное, обоснованное решение с правильными ответами – **20 баллов (максимальная оценка).**

МАКСИМАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗА РАБОТУ: 100 БАЛЛОВ

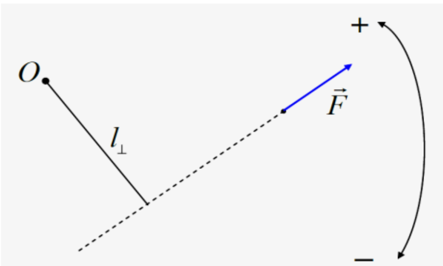
БИЛЕТ № 15: ЗАДАНИЯ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

Задание 1.

Вопрос: Дайте определение момента силы.

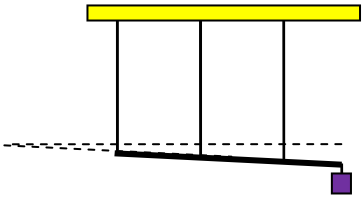
Задача: Однородный стержень длиной $L = 80$ см с массой $M = 900$ г подвешен к горизонтальному потолку на трех одинаковых длинных нитях. Нити можно считать нерастяжимыми и невесомыми, а точки прикрепления их к потолку выбраны так, что все три нити практически вертикальны. При этом одна из нитей (далее – «первая») прикреплена к «левому» концу стержня, вторая – к точке на расстоянии $l = \frac{3}{8}L$ от первой нити, третья – на таком же расстоянии от второй. К «правому» концу стержня прикрепляют маленький по размерам груз. При какой массе этого груза первая нить провиснет?

Ответ на вопрос: Плечом силы относительно оси называют расстояние от оси до линии



действия силы (в школьной программе рассматриваются только случаи, когда ось перпендикулярна плоскости возможного вращения тела). **Момент силы** – произведение величины силы на ее плечо, взятое со знаком + (-), если сила вращает тело вокруг оси в положительном (отрицательном) направлении: $M = \pm|\vec{F}|\cdot l_\perp$.

Решение задачи: На стержень действуют силы натяжения нитей $T_{1,2,3}$, сила тяжести (приложенная к его середине, так как стержень однородный) и вес груза массой m. Условия равновесия стержня – это условие равенства нулю суммы действующих на него сил, то есть $T_1 + T_2 + T_3 = (M + m)g$, и условие равенства нулю суммы моментов этих сил (например, относительно точки прикрепления третьей нити): $T_1\frac{3L}{4} + T_2\frac{3L}{8} + mg\frac{L}{4} = Mg\frac{L}{4}$, то есть $6T_1 + 3T_2 = 2(M - m)g$. Этих уравнений не хватает для однозначного определения сил натяжения нитей. Если дополнительно *предположить*, что все три нити натянуты, то можно получить еще одно уравнение. Силы упругости нитей пропорциональны их деформациям, которые малы, но все же отличны от нуля. Естественно считать, что деформации стержня и потолка еще во много раз меньше, и поэтому деформации нитей – это отрезки трех параллельных прямых между сторонами одного угла. Так как вторая нить находится точно



посередине между первой и третьей, то ее деформация есть точно полусумма деформаций этих нитей, или $2x_2 = x_1 + x_3$ (см. рисунок, на котором для наглядности деформации показаны увеличенными). Нити по условию одинаковы, поэтому коэффициенты жесткости у них также одинаковы, и поэтому $2T_2 = T_1 + T_3$. Из этого уравнения и условия равновесия сил сразу получается, что $3T_2 = (M+m)g$. Используя уравнение моментов, находим $T_1 = \frac{1}{6}(M-3m)g$. Предположение о натянутости первой нити выполняется, если $T_1 > 0$. Следовательно, первая нить провиснет, если $m \geq \frac{M}{3} = 300$ г. Нетрудно проверить, что две другие нити при $m = 300$ г еще натянуты: так как третья нить прикреплена точно между грузом и центром масс стержня, то следующей провиснет вторая нить, если масса груза достигнет массы стержня.

ОТВЕТ: первая нить провиснет при $m \geq \frac{M}{3} = 300$ г.

Задание 2.

Вопрос: В сосуде с водой плавает плот, на котором лежит деревянный брусок. Что произойдет с уровнем воды в сосуде, если брусок переместить в воду? Ответ обосновать. Плотность дерева меньше плотности воды.

Задача: В большом калориметре находится вода с температурой $t_0 = 0°C$. Алюминиевый цилиндр повесили на тонкой легкой прочной нити, прикрепленной другим концом к крючку динамометра. В воздухе динамометр показал, что сила натяжения нити при покоящемся цилиндре равна $T_0 = 6$ Н. Цилиндр на некоторое время опустили в сосуд Дьюара с жидким азотом (температура которого $t_1 = -196°C$). Затем его опустили в калориметр с водой. Какой стала сила натяжения нити – сразу после опускания цилиндра в воду (цилиндр не касался дна и стенок калориметра), и после установления равновесия? Плотность льда равна 900 кг/м^3, плотность воды – 1000 кг/м^3, алюминия – 2700 кг/м^3. Удельная теплота плавления льда 336 кДж/кг, удельная теплоемкость алюминия 0,9 кДж/(кг·°C). Считать, что у стенок и дна калориметра всегда остается жидкая вода.

Ответ на вопрос: Когда брусок лежал на плоту, то, согласно закону Архимеда, вытесненный им из-под «ватерлинии» плота (то есть из-под поверхности окружающей воды) объем воды был равен отношению массы бруска к плотности воды. Упав в воду, брусок, плавающий на ее поверхности, вытесняет из-под поверхности окружающей воды объем, равный отношению своей массы к плотности воды, то есть точно такой же. Значит, уровень воды в тазике останется неизменным.

Решение задачи: Когда цилиндр находится в воздухе, сила натяжения нити уравновешивает силу тяжести груза, то есть $T_0 = mg$. Сразу после опускания цилиндр в воду, пока льда на нем еще нет, на цилиндр со стороны воды действует сила Архимеда, равная $F_A = \rho_B V_Ц g = \frac{\rho_B}{\rho_A} mg$.

Эта сила разгружает нить, то есть сила натяжения нити $T = mg - F_A = T_0\left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_A}\right) \approx 3{,}78$ Н.

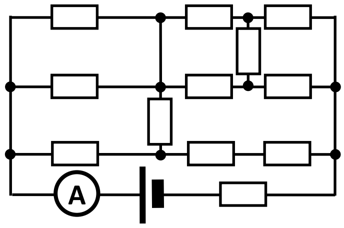
Далее на цилиндр намораживается лед. За счет теплоты кристаллизации цилиндр прогревается до равновесной температуры $t_0 = 0°C$, поэтому масса образовавшегося льда находится из уравнения теплового баланса: $mc_A(t_0 - t_1) = \lambda m_Л \Rightarrow \frac{m_Л}{m} = \frac{c_A(t_0 - t_1)}{\lambda}$. Образование льда увеличивает силу, разгружающую нить: она равна разности силы Архимеда, действующей на лед и веса этого льда (плотность льда меньше плотности воды), то есть $\rho_B V_Л g - \rho_Л V_Л g = \left(\frac{\rho_B}{\rho_Л} - 1\right) m_Л g$. Поэтому после установления теплового равновесия сила натяжения нити $T' = T - T_0 \frac{m_Л}{m}\left(\frac{\rho_B}{\rho_Л} - 1\right) = T_0\left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_A} - \frac{c_A(t_0 - t_1)}{\lambda}\frac{\rho_B - \rho_Л}{\rho_Л}\right) \approx 3{,}43\text{Н}$.

ОТВЕТ: $T = mg - F_A = T_0\left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_A}\right) \approx 3{,}78\text{Н}$, $T' = T_0\left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_A} - \frac{c_A(t_0 - t_1)}{\lambda}\frac{\rho_B - \rho_Л}{\rho_Л}\right) \approx 3{,}43\text{Н}$.

Задание 3.

Вопрос: Дайте определение ЭДС источника постоянного тока. Какими физическими причинами обусловлено ее существование?

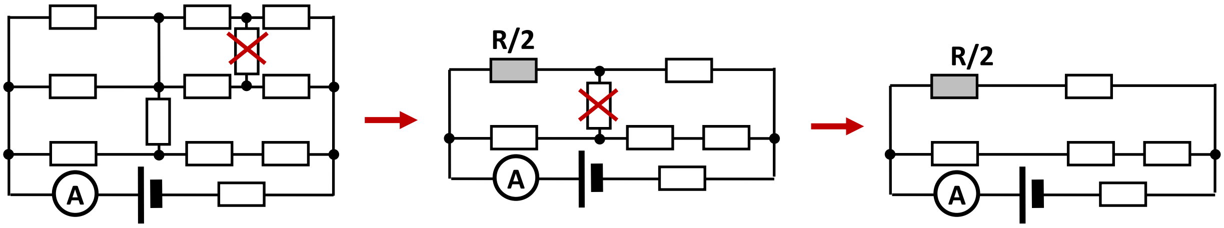
Задача: Ученик 9 класса собрал цепь, схема которой показана на рисунке, из аккумулятора, 12 одинаковых резисторов с сопротивлением $R = 19\,\text{Ом}$ и амперметра. Амперметр, который можно считать идеальным, показывает силу тока $I = 0{,}4\,\text{А}$. Если подключить к аккумулятору только этот амперметр, то он будет



показывать силу тока $I_0 = 8{,}0\,\text{А}$. Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора.

Ответ на вопрос: Для поддержания тока в электрической цепи источник должен производить разделение и перемещение зарядов, «поставляя» заряды на свой положительный полюс. При этом электростатические силы препятствуют этому, так как одноименные заряды отталкиваются. Поэтому работу по разделению и перемещению зарядов должны производит силы иного (не электростатического) происхождения. Их называют *сторонними* силами источника. Одна из основных характеристик источника – его электродвижущая сила (ЭДС), равная отношению работы сторонних сил по перемещению заряда через источник к величине этого заряда: $\mathcal{E} \equiv \frac{A_{стор}}{q}$. Природа сторонних сил может быть различна. Например, разделение зарядов возможно за счет механической работы (электрофорная машина), тепловой энергии (термогенерторы, элементы Пельтье), излучения (фотоэлементы, солнечные батареи), химических реакций (гальванические элементы, химические источники тока). В технике наиболее широко используются индукционные генераторы, работающие за счет явления электромагнитной индукции.

Решение задачи: Преобразуем схему, упростив ее. Сначала заметим, что верхний из



«поперечных» резисторов включен между точками с одинаковым потенциалом («правый верхний» угол схемы – сбалансированный мост). Поэтому его можно убрать из схемы без изменения токов в остальных ее элементах. После этого в верхней части образуются две пары параллельно соединенных участков, которые можно заменить на резисторы с сопротивлениями $\frac{R}{2}$ и R. Тогда в схеме образуется еще один сбалансированный мост, и второй «поперечный» резистор тоже можно убрать. Таким образом, нагрузка источника – это еще одно сопротивление R и два параллельно подключенных участка с сопротивлением $R' = \frac{(3R/2)3R}{9R/2} = R$. Итак, ток, измеряемый амперметром, удовлетворят соотношению $I(2R + r) = \mathcal{E}$. С другой стороны, для тока короткого замыкания источника $I_0 r = \mathcal{E}$. Разделив эти соотношения друг на друга, находим, что внутреннее сопротивление источника $r = \frac{2I}{I_0 - I}R = 2$ Ом. Следовательно, его ЭДС $\mathcal{E} = \frac{2I_0 I}{I_0 - I}R = 16$ В.

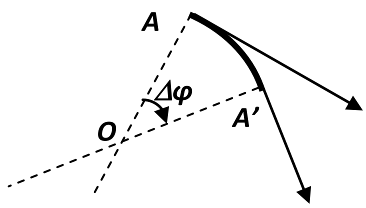
ОТВЕТ: $r = \frac{2I}{I_0 - I}R = 2$ Ом, $\mathcal{E} = \frac{2I_0 I}{I_0 - I}R = 16$ В.

Задание 4.

Вопрос: Что такое радиус кривизны криволинейной траектории?

Задача: Электронная мышка (ЭМ) всегда бежит в направлении, перпендикулярном линии, соединяющей ее с электронной кошкой (ЭК) с постоянной по величине скоростью $u = 2$ м/с. ЭК всегда бежит по направлению к ЭМ с постоянной по величине скоростью $V = 1$м/с. В интересующем нас случае погоня началась, когда расстояние между ЭК и ЭМ $l_0 = 5$м. Сколько времени будет длиться погоня? Во сколько раз могут отличаться ускорения ЭК и ЭМ в ходе погони?

Ответ на вопрос: При описании криволинейного движения материальной точки используется,



что бесконечно малый участок траектории всегда можно представить как дугу окружности, на которой вектор скорости поворачивается на тот же угол. Действительно, если на малом участке траектории длиной Δl вектор скорости (вместе с направлением касательной к траектории) поворачивается на угол $\Delta\varphi$, то мгновенный центр вращения лежит на пересечении перпендикуляров к векторам скорости в начале и конце участка. В пределе $\Delta l \to 0$ $|OA| = |OA'| \equiv R$. Величину R называют *радиусом кривизны траектории в точке A*. Как видно из определения, эту величину можно находить из геометрических соображений: $\Delta l = R\Delta\varphi \Rightarrow \quad R = \left(\frac{\Delta l}{\Delta\varphi}\right)_{\Delta\varphi\to 0}$, или из кинематических: $v = R\omega \Rightarrow \quad R = \frac{v}{\omega}$ (ясно, что с учетом определения линейной $v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$ и угловой $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ скоростей эти способы полностью эквивалентны). В действительности связь между Δl и $\Delta\varphi$ - чисто геометрическое соотношение, поэтому R есть геометрическая характеристика данного участка траектории. Ясно, что R <u>не зависит</u> от линейной и угловой скоростей: для двух тел, движущихся по одной и той же траектории с разными скоростями, радиус кривизны в любой из точек траектории одинаков. Эта величина входит в выражение для центростремительной (направленной к мгновенному центру вращения) компоненты ускорения точки: $a_n = \dfrac{v^2}{R}$.

Решение задачи: Рассмотрим движение ЭК и ЭМ в окрестности некоторого момента времени. Ясно, что за любой малый интервал времени Δt расстояние между ними сократится благодаря движению ЭК на $V\Delta t$, и поэтому длительность погони $\tau = \dfrac{l_0}{V} = 5$ с.

Так как модули скоростей ЭМ и ЭК не изменяются, то их ускорения определяются радиусами кривизны их траекторий. А радиусы кривизны определяются поворотом векторов их скорости на малом участке траекторий. Угол между скоростями ЭМ и ЭК постоянный (он равен 90°), так что они поворачиваются на один и тот же угол. А отношение длин малых участков пройденных ими малых участков траекторий равно отношению модулей скоростей, поэтому и радиусы кривизны траекторий ЭК и ЭМ равны тому же отношению модулей скоростей: $\dfrac{R_{ЭК}}{R_{ЭМ}} = \dfrac{V}{u}$.

Следовательно, $\dfrac{a_{ЭМ}}{a_{ЭК}} = \dfrac{u^2}{R_{ЭМ}} \dfrac{R_{ЭК}}{V^2} = \dfrac{u}{V} = 2$. На самом деле можно (хоть это и не обязательно для ответа на вопрос задачи) явно вычислить радиусы кривизны и ускорения:

$$\left.\begin{array}{c} \Delta\alpha_{ЭМ} = \Delta\alpha_{ЭК} = \dfrac{u\,\Delta t}{l} \\ \Delta s_{ЭМ} = u\,\Delta t \\ \Delta s_{ЭК} = V\Delta t \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} R_{ЭМ} = \dfrac{\Delta s_{ЭМ}}{\Delta\alpha_{ЭМ}} = l \Rightarrow a_{ЭМ} = \dfrac{u^2}{l} \\ R_{ЭК} = \dfrac{\Delta s_{ЭК}}{\Delta\alpha_{ЭК}} = \dfrac{V}{u} l \Rightarrow a_{ЭК} = \dfrac{Vu}{l} \end{array}\right.$$

Таким образом, на протяжении всей погони отношение ускорений неизменно: $\dfrac{a_{ЭМ}}{a_{ЭК}} \equiv \dfrac{u}{V} = 2$.

ОТВЕТ: $\tau = \dfrac{l_0}{V} = 5$ с, отношение ускорений постоянно и равно $\dfrac{a_{ЭМ}}{a_{ЭК}} \equiv \dfrac{u}{V} = 2$.