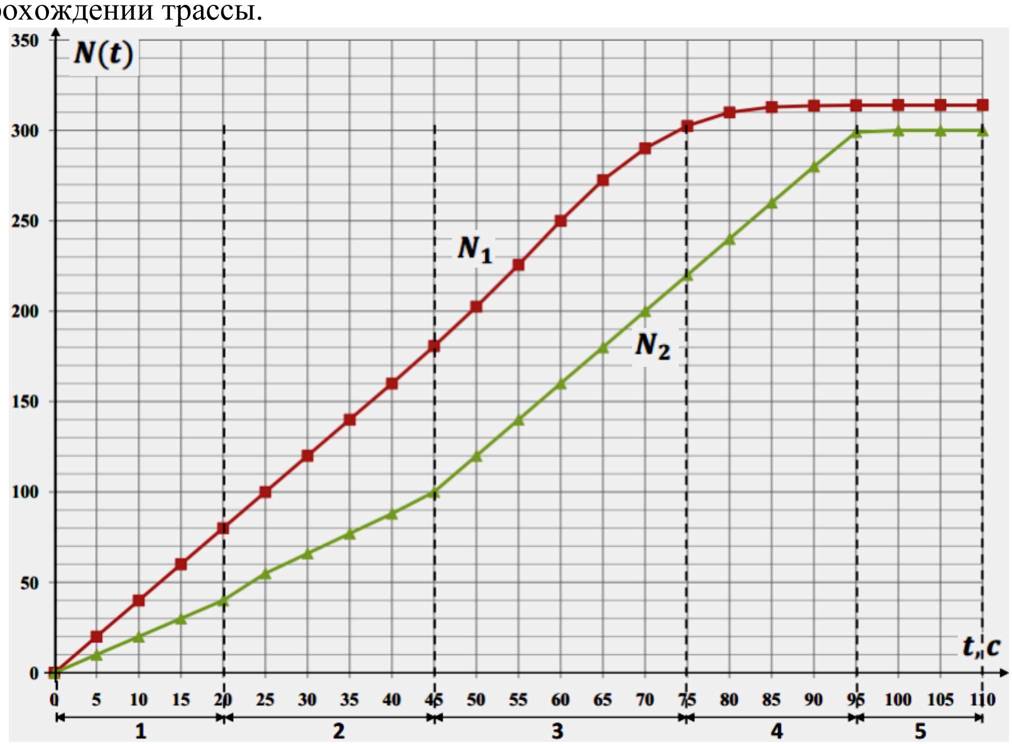
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2023-2024 года, вопросы по физике.
9 класс: возможные решения и критерии.

Вариант 2 (9 классы)

1. У модели гоночного автомобиля две пары колес: задние (ведущие) – радиусом 6 см, и передние (опорные) – радиусом 3 см. Ось каждой колесной пары снабжена ***энкодером*** - датчиком, измеряющим количество полных оборотов колес от момента включения датчика. Модель «с разгона» проехала трассу с разними покрытиями на разных участках, изменяя режим работы двигателя. Оба датчика включились одновременно при выезде на трассу. На рисунке показаны графики зависимости от времени t показателей энкодеров на осях передних ($N_1(t)$) и задних ($N_2(t)$) колес при прохождении трассы.



Известно, что передние колеса никогда не проскальзывали, и величина силы трения для них всегда была пренебрежимо мала по сравнению с величиной силы трения задних колес. Пользуясь графиком, ответьте на следующие вопросы:

1.1. На каких участках (номера участков указаны под осью t) задние колеса модели проскальзывали? В ответе укажите номера этих участков по порядку, не разделяя пробелами или знаками препинания (например: 124).

1.2. Найдите среднюю скорость движения модели за 100 с движения по трассе. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.

1.3. Оцените максимальную величину скорости движения модели на трассе. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.

1.4. Найдите количество теплоты, которое выделилось за счет трения между ведущими колесами модели и покрытием трассы, если массу модели m = 2,5 кг можно считать неизменной, коэффициенты трения между ведущими колесами на участках трассы равны μ_1 = 0,5, $\mu_2 = \mu_3$ = 0,8 и $\mu_4 = \mu_5$ = 0,1, а ускорение свободного падения можно считать примерно равным 10 м/с^2. Ответ запишите в джоулях, с точностью до целого значения.

Возможное решение: При движении без проскальзывания какого-либо из колес один оборот этого колеса соответствует прохождению моделью автомобиля пути, равного периметру колеса, то есть $s_1 = 2\pi r$. Следовательно, мгновенная скорость модели v и изменение числа оборотов колеса за время Δt связаны соотношением $v = 2\pi r\frac{\Delta N}{\Delta t}$. Если обе пары колес не проскальзывают, то, как видно из этого соотношения $r_1\Delta N_1 = r_2\Delta N_2$, то есть $\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = 2$. (показания энкодера на оси опорных колес растут в два раза быстрее, чем показания энкодера на оси ведущих колес). Как видно из графика, это соотношение выполняется только на участке 1 – на всех остальных $\Delta N_2 > \frac{1}{2}\Delta N_1$.

Таким образом, на участке 1 обе пары колес не проскальзывали, а на всех остальных участках (2,3,4 и 5) задние колеса проскальзывали.
Путь модели за 100 с движения по трассе можно найти по числу оборотов опорных колес (определяется по графику) $N_1 \approx 314 \pm 1$:

$$s = 2\pi r_1 N_1 \Rightarrow v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r_1 N_1}{t} \approx 0{,}592 \text{ м/с}.$$

После округления до десятых приходим к ответу $v_{cp} \approx 0{,}6$ м/с.
Чтобы оценить максимальную величину скорости модели, нужно найти интервал времени с максимальной скоростью роста показаний энкодера на оси опорных колес. Разделим все время движения на интервалы по $\Delta t = 5$ с, и тогда нетрудно обнаружить, что самый большой прирост произошел в интервале от 55 с до 60 с, где $\Delta N_1 \approx 24 \pm 1$. Тогда $v_m = 2\pi r_1 \frac{\Delta N_1}{\Delta t} \approx 0{,}9$ м/с.
Количество теплоты, выделившееся за счет трения ведущих колес о поверхность трассы, равно работе силы трения скольжения, а она равна произведению величины этой силы $F_{mp} = \mu m g$ на величину «проскальзывания» колес по покрытию трассы. Величину проскальзывания на каждом участке можно найти как разность пути оси ведущих колес при том же числе оборотов, но без проскальзывания, и реального пути, равного пути оси опорных колес:

$$Q = 2\pi[\mu_1\left(r_2\Delta N_2^{(1)} - r_1\Delta N_1^{(1)}\right) + \mu_2\left(r_2\Delta N_2^{(23)} - r_1\Delta N_1^{(23)}\right) + \mu_4\left(r_2\Delta N_2^{(4)} - r_1\Delta N_1^{(4)}\right)]$$

(на пятом участке показания энкодеров не изменяются, то есть колеса автомобиля не крутятся). Вычисляя численное значение с нужной точностью, получаем $Q \approx 590$ Дж.

2. В калориметре находилось $M_0 = 350$ г воды. В него насыпали $m = 50$ г мокрого снега, состоящего на 70% (по массе) из кристалликов льда и на 30% – из жидкой воды, находящихся в равновесии.

2.1. Чему равнялась температура мокрого снега? Ответ запишите в °С.

После установления равновесия температура содержимого калориметра оказалась равна $t_1 = 35{,}0°C$.

2.2. Какова была начальная температура воды в калориметре? Теплоемкостью калориметра пренебречь. Считайте, что удельная теплота плавления льда в добавляемой порции λ = 336 кДж/кг, удельная теплоемкость воды c = 4,2 кДж/(кг·°С).Ответ запишите в °С с точностью до десятых.

2.3. Сколько еще таких же порций нужно добавить, чтобы последняя добавленная порция растаяла не полностью?

Возможное решение: По определению шкалы температур Цельсия, температура, при которой находятся в равновесии жидкая вода и лед при нормальном атмосферном давлении, равна 0°С.
Обозначим начальную температуру воды в калориметре t_0 и запишем уравнение теплового баланса для установления равновесия после засыпания в калориметр одной порции снега (поскольку конечная температура выше 0°С, то весь лед полностью растаял):

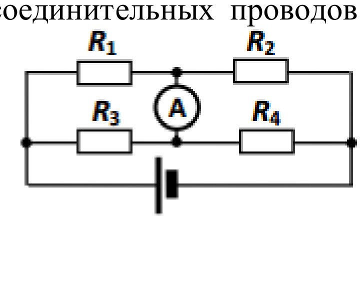
$$\lambda \cdot 0{,}7m + cm(t_1 - 0) = cM_0(t_0 - t_1) \Rightarrow t_0 = \left(1 + \frac{m}{M_0}\right)t_1 + \frac{7m}{10M_0}\frac{\lambda}{c} = 48{,}0°\text{C}.$$

Следующие n порций мокрого снега мы добавляем к M_1 = 400 г воды с температурой $t_1 = 35{,}0°C$.
Уравнение теплового баланса для установления равновесия в этом случае

$$\lambda \cdot 0{,}7nm + cnm(t_n - 0) = cM_1(t_1 - t_n) \Rightarrow t_n\left(1 + n\frac{m}{M_1}\right) = t_1 - n\frac{7m}{10M_1}\frac{\lambda}{c}.$$

Если n-я порция растаяла полностью, то эта формула дает допустимое значение конечной температуры жидкой воды, то есть $t_n \geq 0$. Это условие приводит к ограничению $n \leq \frac{10cM_1t_1}{7\lambda m} = 5$. Как видно, первое значение n, при котором это условие нарушается (то есть лед тает не полностью) – это $n = 6$.

3. В схеме, показанной на рисунке, сопротивление всех соединительных проводов пренебрежимо мало. При разомкнутой цепи напряжение на клеммах источника равно 12 В. Сопротивления резисторов равны $R_1 = 2$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_2 = R_4 = 5$ Ом, внутреннее сопротивление источника $r = 1$ Ом. Амперметр можно считать идеальным.



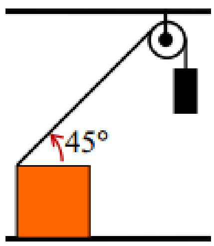
3.1. Найдите полное сопротивление пары параллельно соединенных резисторов R_1 и R_3. Ответ запишите в Ом с точностью до десятых.
3.2. Чему равна сила тока в ветви с источником? Ответ запишите в в А с точностью до десятых.
3.3. Какую величину силы тока показывает амперметр? Ответ запишите в А с точностью до десятых.

Возможное решение: В соответствии с законами параллельного соединения, $R_{13} = \dfrac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 1{,}5$ Ом.

Аналогично сопротивление второй пары параллельно соединенных резисторов R_2 и R_4 равно 2,5 Ома, и полное сопротивление цепи источника R = 5 Ом. Поэтому сила тока ветви с источником $I = \dfrac{U_0}{R} = 2{,}4$ А.

Этот ток делится между резисторами R_2 и R_4 с равными сопротивлениями поровну – по 1,2 А, а между R_1 и R_3 в соотношении 3:1, то есть $I_1 = 1{,}8$ А. Таким образом, сила тока через амперметр $I_A = I_1 - I_2 = 0{,}6$ А.

4. Однородный кубик с массой M = 2828 г покоится на горизонтальной поверхности. К середине одного из его верхних ребер прикреплена невесомая нерастяжимая нить, перекинутая через идеальный блок, на другом конце которой подвешен груз массой m (см. рисунок). Наклонный участок нити составляет угол 45° с горизонтом. Коэффициент трения кубика о поверхность μ = 1, ускорение свободного падения можно считать равным 10 м/с^2. Кубик удерживают на месте, затем аккуратно отпускают.



4.1. Найдите силу натяжения нити в этой системе при массе груза m = 707 г. Ответ запишите в Н, с точностью до целого значения.
4.2. При какой минимальной величине массы груза кубик после отпускания может начать скользить по поверхности? Ответ запишите в г с точностью до целого значения.
4.3. При какой минимальной величине массы груза кубик после отпускания может начать вращаться вокруг одного из нижних ребер? Ответ запишите в г с точностью до целого значения.

Возможное решение: Сила натяжения нити не изменяется вдоль невесомой нити и при прохождении по «идеальному» блоку. Поэтому ее можно определить из условия равновесия груза: именно она уравновешивает действующую на груз силу тяжести: $T = mg \approx 7$ Н.

Кубик может начать скользить, когда сдвигающая его сила (горизонтальная компонента силы натяжения нити, равная $mg \cdot \cos(\alpha)$, сравняется с максимальной величиной силы трения покоя, то есть при $mg \cdot \cos(\alpha) = \mu[Mg - mg \cdot \sin(\alpha)] \Rightarrow m = \dfrac{\mu M}{\cos(\alpha) + \mu \cdot \sin(\alpha)} = \dfrac{M}{\sqrt{2}} \approx 2000$ г.

Кубик может начать вращаться вокруг правого (по рисунку) нижнего ребра, когда момент силы натяжения нити (плечо которой относительно указанного ребра равно $a\sqrt{2}$, где a – длина ребра кубика) сравняется с суммарным моментом силы тяжести и силы реакции опоры. Непосредственно перед началом поворота кубик опирается именно на это ребро, так что плечо силы реакции опоры равно нулю, а плечо силы тяжести кубика равно a/2. Значит, минимальная масса груза для начала поворота определяется из уравнения

$$mg \cdot a\sqrt{2} = Mg\frac{a}{2} \Rightarrow m = \frac{M}{2\sqrt{2}} \approx 1000 \text{ г.}$$

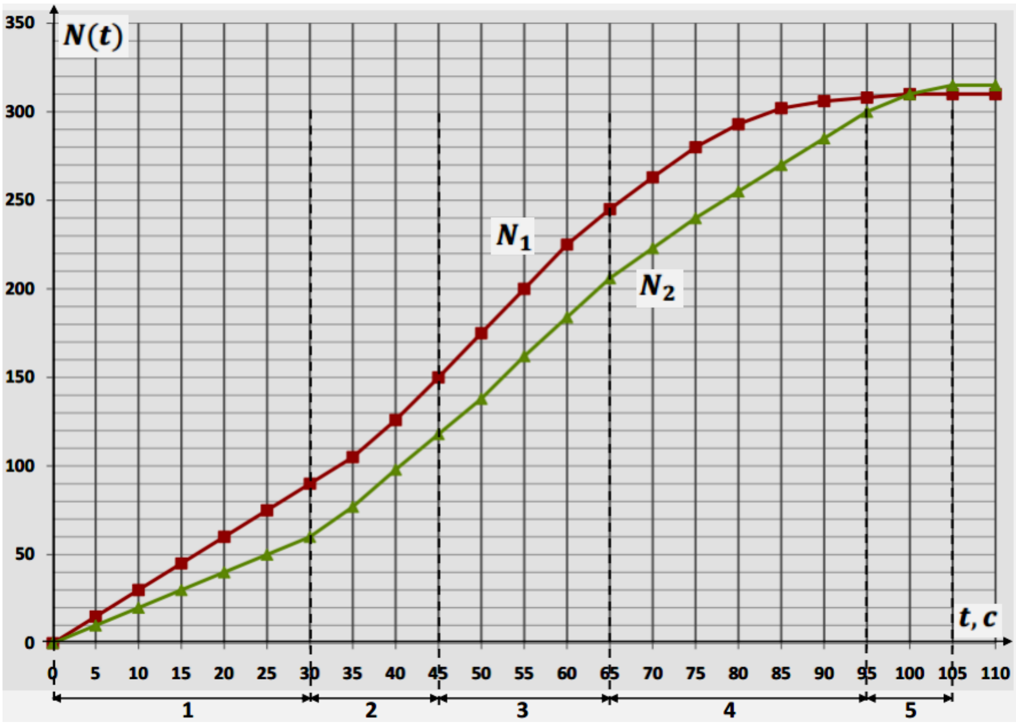
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	**2345**	**3**
	345	**2**
	45 или 35 или 34	**1**

1.2	**0,6**	**3**
	0,5 или 0,7	**1**
1.3	**0,9**	**4**
	0,8 или 1,0	**2**
	0,7 или 1,1	**1**
1.4	**590**	**5**
2.1	**0**	**2**
2.2	**48**	**4**
	47 или 49	**1**
2.3	**6**	**4**
	5 или 7	**2**
3.1	**1,5**	**4**
	1,4 или 1,6	**1**
3.2	**2,4**	**5**
	2,2 или 2,3 или 2,5 или 2,6	**3**
3.3	**0,6**	**6**
	0,5 или 0,7	**3**
	0,4 или 0,8	**1**
4.1	**7**	**2**
	6 или 8	**1**
4.2	**2000**	**4**
	1999	**2**
	1414 или 2828	**1**
4.3	**1000**	**4**
	999	**2**
	1414 или 2000	**1**
Максимальная оценка		**50**

Вариант 6 (9 классы)

1. У модели гоночного автомобиля две пары колес: задние (ведущие) – радиусом 3 см, и передние (опорные) – радиусом 2 см. Ось каждой колесной пары снабжена ***энкодером*** - датчиком, измеряющим количество полных оборотов колес от момента включения датчика. Модель «с разгона» проехала трассу с разними покрытиями на разных участках, изменяя режим работы двигателя. Оба датчика включились одновременно при выезде на трассу. На рисунке показаны графики зависимости от времени t показателей энкодеров на осях передних ($N_1(t)$) и задних ($N_2(t)$) колес при прохождении трассы.



Известно, что передние колеса никогда не проскальзывали, и величина силы трения для них всегда была пренебрежимо мала по сравнению с величиной силы трения задних колес. Пользуясь графиком, ответьте на следующие вопросы:

1.1. На каких участках (номера участков указаны под осью t) задние колеса модели проскальзывали? В ответе укажите номера этих участков по порядку, не разделяя пробелами или знаками препинания (например: 124).

1.2. Найдите среднюю скорость движения модели за 100 с движения по трассе. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.

1.3. Оцените максимальную величину скорости движения модели на трассе. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.

1.4. Найдите количество теплоты, которое выделилось за счет трения между ведущими колесами модели и покрытием трассы, если массу модели m = 2 кг можно считать неизменной, коэффициенты трения между ведущими колесами и покрытием на разных участках трассы равны $\mu_1 = \mu_2 = 0{,}6$, $\mu_3 = \mu_4 = 0{,}9$ и $\mu_5 = 0{,}1$, а ускорение свободного падения можно считать примерно равным 10 м/с^2. Ответ запишите в джоулях, с точностью до целого значения.

Возможное решение: При движении без проскальзывания какого-либо из колес один оборот этого колеса соответствует прохождению моделью автомобиля пути, равного периметру колеса, то есть $s_1 = 2\pi r$. Следовательно, мгновенная скорость модели v и изменение числа оборотов колеса за время Δt связаны соотношением $v = 2\pi r \frac{\Delta N}{\Delta t}$. Если обе пары колес не проскальзывают, то, как видно из этого соотношения $r_1 \Delta N_1 = r_2 \Delta N_2$, то есть $\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{3}{2}$. (показания энкодера на оси опорных колес растут в полтора раза быстрее, чем показания энкодера на оси ведущих колес). Как видно из графика, это соотношение выполняется только на участке 1 – на всех остальных $\Delta N_2 > \frac{2}{3}\Delta N_1$. Таким образом, на участке 1 обе пары колес не проскальзывали, а на всех остальных участках (2,3,4 и 5) задние колеса проскальзывали.

Путь модели за 100 с движения по трассе можно найти по числу оборотов опорных колес (определяется по графику) $N_1 \approx 310 \pm 0{,}5$:

$$s = 2\pi r_1 N_1 \Rightarrow v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r_1 N_1}{t} \approx 0{,}390 \text{ м/с}.$$

После округления до десятых приходим к ответу $v_{cp} \approx 0{,}4$ м/с.

Чтобы оценить максимальную величину скорости модели, нужно найти интервал времени с максимальной скоростью роста показаний энкодера на оси опорных колес. Разделим все время движения на интервалы по $\Delta t = 5$ с, и тогда нетрудно обнаружить, что самый большой прирост произошел в интервалах от 45 с до 50 с и от 50 с до 55 с, где $\Delta N_1 \approx 25 \pm 1$. Тогда после требуемого округления $v_m = 2\pi r_1 \frac{\Delta N_1}{\Delta t} \approx 0{,}6$ м/с.

Количество теплоты, выделившееся за счет трения ведущих колес о поверхность трассы, равно работе силы трения скольжения, а она равна произведению величины этой силы $F_{mp} = \mu m g$ на величину «проскальзывания» колес по покрытию трассы. Величину проскальзывания на каждом участке можно найти как разность пути оси ведущих колес при том же числе оборотов, но без проскальзывания, и реального пути, равного пути оси опорных колес:

$$Q = 2\pi\left[\mu_1\left(r_2\Delta N_2^{(12)} - r_1\Delta N_1^{(12)}\right) + \mu_3\left(r_2\Delta N_2^{(34)} - r_1\Delta N_1^{(34)}\right) + \mu_5\left(r_2\Delta N_2^{(5)} - r_1\Delta N_1^{(5)}\right)\right].$$

Вычисляя численное значение с нужной точностью, получаем $Q \approx 306$ Дж.

2. В калориметре находилось $M_0 = 450$ г воды с температурой $t_0 = 62{,}0°C$. В него насыпали порцию мокрого снега, состоящего на 50% (по массе) из кристалликов льда и на 50% – из жидкой воды, находящихся в равновесии.

2.1. Чему равнялась температура мокрого снега? Ответ запишите в °C.

После установления равновесия температура содержимого калориметра оказалась равна $t_1 = 45{,}0°C$.

2.2. Определите массу мокрого снега в этой порции. Теплоемкостью калориметра пренебречь. Считайте, что удельная теплота плавления льда в добавляемой порции λ = 336 кДж/кг, удельная теплоемкость воды c = 4,2 кДж/(кг·°C).Ответ запишите в г с точностью до целого значения.

2.3. Сколько еще таких же порций нужно добавить, чтобы последняя добавленная порция растаяла не полностью?

Возможное решение: По определению шкалы температур Цельсия, температура, при которой находятся в равновесии жидкая вода и лед при нормальном атмосферном давлении, равна 0°C.

Обозначим искомую массу мокрого снега в порции m и запишем уравнение теплового баланса для установления равновесия после засыпания в калориметр одной порции снега (поскольку конечная температура выше 0°C, то весь лед полностью растаял):

$$\lambda \cdot 0{,}5m + cm(t_1 - 0) = cM_0(t_0 - t_1) \Rightarrow m = \frac{t_0 - t_1}{t_1 + \lambda/2c}M_0 = 90 \text{ г.}$$

Следующие n порций мокрого снега мы добавляем к M_1 = 540 г воды с температурой $t_1 = 45{,}0°C$.

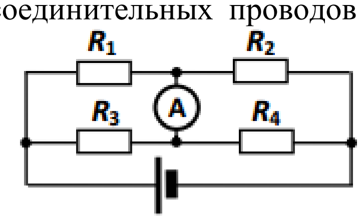
Уравнение теплового баланса для установления равновесия в этом случае

$$\lambda \cdot 0{,}5nm + cnm(t_n - 0) = cM_1(t_1 - t_n) \Rightarrow t_n\left(1 + n\frac{m}{M_1}\right) = t_1 - n\frac{m}{2M_1}\frac{\lambda}{c}.$$

Если n-я порция растаяла полностью, то эта формула дает допустимое значение конечной температуры жидкой воды, то есть $t_n \geq 0$. Это условие приводит к ограничению $n \leq \frac{2cM_1t_1}{\lambda m} = \frac{27}{4}$.

Как видно, первое значение n, при котором это условие нарушается (то есть лед тает не полностью) – это n = 7.

3. В схеме, показанной на рисунке, сопротивление всех соединительных проводов пренебрежимо мало. При разомкнутой цепи напряжение на клеммах источника равно 15 В. Сопротивления резисторов равны $R_1 = 6$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_4 = 6$ Ом внутреннее сопротивление источника $r = 0{,}6$ Ом. Амперметр можно считать идеальным.



3.1. Найдите полное сопротивление пары параллельно соединенных резисторов R_2 и R_4. Ответ запишите в Ом с точностью до десятых.

3.2. Чему равна сила тока в ветви с источником? Ответ запишите в в А с точностью до десятых.

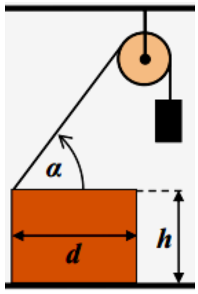
3.3. Какую величину силы тока показывает амперметр? Ответ запишите в А с точностью до десятых.

Возможное решение: В соответствии с законами параллельного соединения, $R_{34} = \dfrac{R_2R_4}{R_2+R_4} = 2{,}4$ Ом.

Аналогично сопротивление второй пары параллельно соединенных резисторов R_1 и R_3 равно 2 Ома, и полное сопротивление цепи источника R = 5 Ом. Поэтому сила тока ветви с источником $I = \frac{U_0}{R} = 3{,}0$ А.

Этот ток делится между резисторами R_2 и R_4 в отношении 3:2, и I_2 = 1,8 А, а между R_1 и R_3 в соотношении 1:2, то есть $I_1 = 1{,}0$ А. Таким образом, сила тока через амперметр $I_A = I_2 - I_1 = 0{,}8$ А.

4. Однородный брусок с массой M = 1600 г, ширина которого равна d = 20 см, а высота h = 15 см, покоится на горизонтальной поверхности. К середине одного из его верхних ребер прикреплена невесомая нерастяжимая нить, перекинутая через идеальный блок, на другом конце которой подвешен груз массой m (см. рисунок). Наклонный участок нити составляет угол, в точности равный α = arcsin(0,8)≈53° с горизонтом. Коэффициент трения бруска о поверхность μ = 0,5, ускорение свободного падения можно считать равным 10 м/с^2. Кубик удерживают на месте, затем аккуратно отпускают.



4.1. Найдите силу натяжения нити в этой системе при массе груза m = 500 г. Ответ запишите в Н, с точностью до целого значения.

4.2. При какой минимальной величине массы груза брусок после отпускания может начать скользить по поверхности? Ответ запишите в г с точностью до целого значения.

4.3. При какой минимальной величине массы груза брусок после отпускания может начать вращаться вокруг одного из нижних ребер? Ответ запишите в г с точностью до целого значения.

Возможное решение: Сила натяжения нити не изменяется вдоль невесомой нити и при прохождении по «идеальному» блоку. Поэтому ее можно определить из условия равновесия груза: именно она уравновешивает действующую на груз силу тяжести: $T = mg \approx 5$ Н.

Кубик может начать скользить, когда сдвигающая его сила (горизонтальная компонента силы натяжения нити, равная $mg \cdot \cos(\alpha) = 0{,}6mg$, сравняется с максимальной величиной силы трения покоя, то есть при $mg \cdot \cos(\alpha) = \mu[Mg - mg \cdot \sin(\alpha)] \Rightarrow m = \frac{\mu M}{\cos(\alpha) + \mu \cdot \sin(\alpha)} = \frac{M}{2} = 800$ г.

Кубик может начать вращаться вокруг правого (по рисунку) нижнего ребра, когда момент силы натяжения нити (плечо которой относительно указанного ребра равно $\sqrt{h^2 + d^2} = 25$ см сравняется с суммарным моментом силы тяжести и силы реакции опоры. Непосредственно перед началом поворота кубик опирается именно на это ребро, так что плечо силы реакции опоры равно нулю, а плечо силы тяжести кубика равно d/2. Значит, минимальная масса груза для начала поворота определяется из уравнения

$$mg \cdot \sqrt{h^2 + d^2} = Mg\frac{d}{2} \Rightarrow m = \frac{dM}{2\sqrt{h^2 + d^2}} = \frac{2}{5}M = 640 \text{ г.}$$

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	**2345**	**3**
	345	**2**
	45 или 35 или 34	**1**
1.2	**0,4**	**3**
	0,3 или 0,5	**1**
1.3	**0,6**	**4**
	0,5 или 0,7	**2**
	0,4 или 0,8	**1**

1.4	**306**	**5**
2.1	**0**	**2**
2.2	**90**	**4**
	88 или 89 или 91 или 92	**1**
2.3	**7**	**4**
	6 или 8	**2**
3.1	**2,4**	**4**
	2,3 или 2,5	**1**
3.2	**3,0 или 3**	**5**
	2,8 или 2,9 или 3,1 или 3,2	**3**
3.3	**0,8**	**6**
	0,2	**3**
	0,7 или 0,9	**1**
4.1	**5**	**2**
	4 или 6	**1**
4.2	**800**	**4**
	801	**2**
	400 или 1600	**1**
4.3	**640**	**4**
	641	**2**
	320 или 1280	**1**
Максимальная оценка		**50**