



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Физика»

Класс участия: 9

Вариант задания: 1

Задача 1.

Самолет-разведчик в безветренную погоду облетает периметр квадрата $ABCD$ за 4 часа. Сколько будет длиться облет этого же периметра, при наличии ветра, дующего вдоль стороны AB со скоростью 25 км/ч. Скорость самолета относительно воздуха 200 км/ч.

$$\text{Ответ: } \frac{t_0}{2} \left(\frac{1}{1-\frac{u^2}{v^2}} + \frac{1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}} \right) \cong 4,05 \text{ ч.}$$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Баллы
1	Получено выражение для времени полета в безветренную погоду	2
2	Получено выражение для времени полета вдоль сторон AB и CD	2
3	Получено выражение для времени полета вдоль BC и DA	2
4	Получен верный ответ в общем виде (или промежуточные результаты, если вычисление велось по частям)	2
5	Получен верный численный ответ	2
ИТОГО		10

Задача 2.

К шероховатому однородному бруску массой $m = 5$ кг, неподвижно лежащему на горизонтальной поверхности, прикладывают силу, направленную под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту и зависящую от времени по закону $F = kt$, где $k = 0,5$ Н/с. Через какое время после начала действия силы брусок сдвинется с места? Коэффициент трения бруска о поверхность $\mu = 0,6$.



Ответ: $t_{12} = \frac{\mu mg}{k(\cos \alpha \pm \mu \sin \alpha)} \cong 51 \text{ с}, 106 \text{ с}.$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 2		
№	Элемент решения	Баллы
1	Обосновано почему ускорение бруска можно принять равным нулю.	2
2	Обосновано почему $F_{\text{тр}} = \mu N$	2
3	Записана система динамических уравнений (второй закон Ньютона) в проекциях на выбранные оси	2
4	Найдено второе решение	2
5	Получен верный ответ	2
ИТОГО		10

Задача 3.

Удельное сопротивление меди ρ зависит от ее температуры t по линейному закону: $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$, где ρ_0 — удельное сопротивление меди при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$, $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ — температурный коэффициент сопротивления меди. Прямой медный провод заключен в тонкий стеклянный баллон с разреженным газом. При 0°C провод имеет сопротивление $R_0 = 1 \text{ кОм}$. Баллон погрузили в воду, температура которой поддерживается постоянной и равной t_0 . Концы провода подсоединили к источнику постоянного напряжения. По истечении длительного времени в проводе установилась температура $t = 250^\circ\text{C}$. Определить напряжение источника. Мощность теплоотдачи провода воде P_Q пропорциональна разности температур тел Δt , коэффициент теплоотдачи $\beta = P_Q / \Delta t = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/К}$. Тепловым расширением пренебречь.



Ответ: $\sqrt{R_0 \beta t(1 + \alpha t)} \cong 14 \text{ В.}$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 3		
№	Элемент решения	Баллы
1	Обосновано почему сопротивление провода зависит от температуры так же, как его удельное сопротивление	3
2	Записано соотношение для тепловой мощности тока	3
3	Записано соотношение для мощности теплоотдачи	3
4	Применен закон сохранения энергии	3
5	Получен верный ответ	3
ИТОГО		15

Задача 4.

Реактивный самолет, разгоняясь равноускорено, отрывается от земли, пройдя путь $s = 1 \text{ км}$ и достигнув скорости $v = 220 \text{ км/ч}$. Стартовая масса борта (вместе с топливом, пассажирами и багажом) $m = 35 \text{ т}$. Коэффициент сопротивления качению колес шасси по взлетной полосе (отношение силы трения качения к силе нормальной реакции полосы) $\mu = 0,03$. Считая силу реактивной тяги в процессе всего разгона постоянной, определите мощность этой силы в момент отрыва самолета от земли.

Ответ: $mv \left(\frac{v^2}{2s} + \mu g \right) \cong 4,6 \text{ МВт.}$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 4		
№	Элемент решения	Баллы
1	Найдено ускорение самолета	4
2	Показано, что сила сопротивления воздуха в момент отрыва равна силе трения качения в момент начала разгона	4
3	Применен второй закон Ньютона для момента отрыва	4
4	Применено определение мгновенной мощности для момента отрыва	4
5	Получен верный ответ	4
ИТОГО		20



Задача 5.

В обозримом будущем, когда будут созданы мощные ионные двигатели с ядерной силовой установкой, человечество сможет начать полноценное освоение Солнечной системы и даже добраться до ее периферии. Оснащенный таким двигателем корабль в 2125 году обнаружил где-то за пределами пояса Койпера очень странный объект, представляющий собой однородный шар диаметром 100 км. Шар совершает оборот вокруг своей оси за 20 земных часов, поэтому на нем можно выделить полюса, экватор и построить сетку географических координат, подобную земной. Высадившись на поверхность небесного тела в районе 45° северной широты, космонавт установил высокий (около 5 м) прочный жесткий шест строго перпендикулярно поверхности небесного тела. К верхнему концу шеста прикреплена легкая прочная нить, на другом конце которой закреплен маленький, но очень плотный грузик. Космонавт обнаружил, что в положении равновесия нить с грузиком отклоняется от шеста на угол $0,1^\circ$ (грузик при этом шеста не касается). Чему равно ускорение свободного падения у поверхности небесного тела?

Ответ: $\frac{\pi^2 d}{\tau^2 \sin \delta} \cong 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 5		
№	Элемент решения	Баллы
1	Построен параллелограмм сил. Объяснено отклонение нити от вертикали	5
2	Получено основное динамическое уравнение (тем или иным способом)	5
3	Найдено центростремительное ускорение шарика (через период вращения и радиус параллели)	5
4	Найден радиус параллели	5
5	Получен верный ответ	5
ИТОГО		25



Задача 6.

Электросамокат массой 20 кг (в том числе масса аккумуляторов составляет 10 кг) имеет два колеса диаметром 150 мм, одно из которых ведущее. Масса человека, управляющего самокатом, составляет 80 кг, считать, что нагрузка между колесами распределяется равномерно. Энергоемкость батарей равна 100 Вт·ч/кг (количество энергии, приходящееся на единицу массы аккумулятора).

Определите дальность хода при равномерном движении с максимальной скоростью передвижения по асфальту (коэффициент трения качения 0,01 м), если мощность на ведущем колесе равна 700 Вт. КПД системы аккумулятор-двигатель-колесо составляет 60%. Считать, что сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости движения, а коэффициент пропорциональности равен 0,4 кг/с.

Дополнительная информация

Сила трения качения определяется как $F_{\text{тр кач}} = \frac{fN}{R}$, где f – коэффициент трения качения, N – вес, приходящийся на колесо, R – радиус колеса.

Ответ: $L = \frac{v\eta et}{P} = 23140 \text{ м.}$

Критерии:

Критерии оценивания задания 6		
№	Элемент решения	Баллы
1	Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	0-5
2	Составлена система уравнений и математическая модель	0-5
3	Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	0-5
4	Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	0-5
ИТОГО		max 20



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Физика»

Класс участия: 9

Вариант задания: 2

Задача 1.

Самолет-разведчик в безветренную погоду облетает периметр квадрата $ABCD$ за 3 часа. Сколько будет длиться облет этого же периметра, при наличии ветра, дующего вдоль стороны BC со скоростью 30 км/ч. Скорость самолета относительно воздуха 300 км/ч.

$$\text{Ответ: } \frac{t_0}{2} \left(\frac{1}{1-\frac{u^2}{v^2}} + \frac{1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}} \right) \cong 3,02 \text{ ч.}$$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Баллы
1	Получено выражение для времени полета в безветренную погоду	2
2	Получено выражение для времени полета вдоль сторон BC и DA	2
3	Получено выражение для времени полета вдоль AB и CD	2
4	Получен верный ответ в общем виде (или промежуточные результаты, если вычисление велось по частям)	2
5	Получен верный численный ответ	2
ИТОГО		10

Задача 2.

К шероховатому однородному бруску массой $m = 5$ кг, неподвижно лежащему на горизонтальной поверхности, прикладывают силу, направленную под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту и зависящую от времени по закону $F = kt$, где $k = 0,5$ Н/с. Брусек сдвинулся с места через $t = 45$ с после начала действия силы. Определить коэффициент трения бруска о поверхность.



Ответ: $\mu_{12} = \frac{kt \cos \alpha}{mg \mp kt \sin \alpha}$. $\mu_1 \cong 0,5, \mu_2 = 0,3$.

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 2		
№	Элемент решения	Баллы
1	Обосновано почему ускорение бруска можно принять равным нулю.	2
2	Обосновано почему $F_{\text{тр}} = \mu N$	2
3	Записана система динамических уравнений (второй закон Ньютона) в проекциях на выбранные оси	2
4	Найдено второе решение	2
5	Получен верный ответ	2
ИТОГО		10

Задача 3.

Удельное сопротивление меди ρ зависит от ее температуры t по линейному закону: $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$, где ρ_0 — удельное сопротивление меди при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$, $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ — температурный коэффициент сопротивления меди. Прямой медный провод заключен в тонкий стеклянный баллон с разреженным газом. Баллон погрузили в воду, температура которой поддерживается постоянной и равной t_0 . Концы провода подсоединили к источнику постоянного напряжения $U = 10 \text{ В}$. По истечении длительного времени в проводе установилась температура $t = 250^\circ\text{C}$. Определить сопротивление провода при температуре t_0 . Мощность теплоотдачи провода воде P_Q пропорциональна разности температур тел Δt , коэффициент теплоотдачи $\beta = P_Q/\Delta t = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/К}$. Тепловым расширением пренебречь.



Ответ: $R_0 = \frac{U^2}{\beta t(1+at)} = 500 \text{ Ом.}$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 3		
№	Элемент решения	Баллы
1	Обосновано почему сопротивление провода зависит от температуры так же, как его удельное сопротивление	3
2	Записано соотношение для тепловой мощности тока	3
3	Записано соотношение для мощности теплоотдачи	3
4	Применен закон сохранения энергии	3
5	Получен верный ответ	3
ИТОГО		15

Задача 4.

Реактивный самолет, разгоняясь равноускорено, отрывается от земли, пройдя путь $s = 1 \text{ км}$ и достигнув скорости $v = 220 \text{ км/ч}$. Коэффициент сопротивления качению колес шасси по взлетной полосе (отношение силы трения качения к силе нормальной реакции полосы) $\mu = 0,03$. Мощность силы реактивной тяги в момент отрыва самолета от земли составляет $P = 5 \text{ МВт}$. Считая силу реактивной тяги в процессе всего разгона постоянной, определите стартовую массу борта (вместе с топливом, пассажирами и багажом).

Ответ: $m = \frac{P}{v\left(\frac{v^2}{2s} + \mu g\right)} \cong 37,8 \text{ т.}$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 4		
№	Элемент решения	Баллы
1	Найдено ускорение самолета	4
2	Показано, что сила сопротивления воздуха в момент отрыва равна силе трения качения в момент начала разгона	4
3	Применен второй закон Ньютона для момента отрыва	4
4	Применено определение мгновенной мощности для момента отрыва	4
5	Получен верный ответ	4
ИТОГО		20



Задача 5.

В обозримом будущем, когда будут созданы мощные ионные двигатели с ядерной силовой установкой, человечество сможет начать полноценное освоение Солнечной системы и даже добраться до ее периферии. Оснащенный таким двигателем корабль в 2125 году обнаружил где-то за пределами пояса Койпера очень странный объект, представляющий собой однородный шар диаметром 100 км. Шар вращается вокруг своей оси, поэтому на нем можно выделить полюса, экватор и построить сетку географических координат, подобную земной. Ускорение свободного падения у поверхности небесного тела составляет $0,18 \text{ м/с}^2$. Высадившись на поверхность в районе 45° северной широты, космонавт установил высокий (5–6 м) прочный жесткий шест строго перпендикулярно поверхности. К верхнему концу шеста прикреплена легкая прочная нить, на другом конце которой закреплен маленький, но очень плотный грузик. Космонавт обнаружил, что в положении равновесия нить с грузиком отклоняется от шеста на угол $0,1^\circ$ (грузик при этом шеста не касается). Определить период вращения небесного тела вокруг своей оси.

Ответ: $\pi \sqrt{\frac{2R}{g \sin \delta}} \cong 15,6 \text{ ч.}$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 5		
№	Элемент решения	Баллы
1	Построен параллелограмм сил. Объяснено отклонение нити от вертикали	5
2	Получено основное динамическое уравнение (тем или иным способом)	5
3	Найдено центростремительное ускорение шарика (через период вращения и радиус параллели)	5
4	Найден радиус параллели	5
5	Получен верный ответ	5
ИТОГО		25



Задача 6.

Электросамокат массой 20 кг (в том числе масса аккумуляторов составляет 10 кг) имеет два колеса диаметром 150 мм, одно из которых ведущее. Масса человека, управляющего самокатом, составляет 60 кг, а масса его попутчика равна 30 кг. Принять, что вес управляющего приходится на заднее колесо, а вес попутчика – на переднее. При этом вес электросамоката между колесами распределяется равномерно. Энергоемкость батарей равна 100 Вт·ч/кг (количество энергии, приходящееся на единицу массы аккумулятора).

Найдите КПД системы аккумулятор-двигатель-колесо, если самокат проезжает 25 км на одном полном заряде аккумуляторов при равномерном движении с максимальной скоростью передвижения по асфальту (коэффициент трения качения 0,01 м), если мощность на ведущем колесе равна 750 Вт.

Считать, что сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости движения, а коэффициент пропорциональности равен 0,4 кг/с.

Дополнительная информация

Сила трения качения определяется как $F_{\text{тр кач}} = \frac{fN}{R}$, где f – коэффициент трения качения, N – вес приходящийся на колесо, R – радиус колеса.

Ответ: $\eta = \frac{LP}{\text{вет}} = 54\%$.

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Баллы
1	Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	0-5
2	Составлена система уравнений и математическая модель	0-5
3	Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	0-5
4	Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	0-5
ИТОГО		max 20