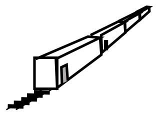
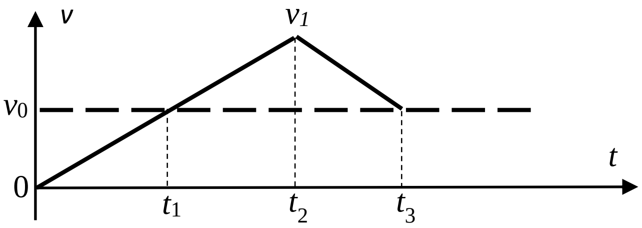
Первый этап Всесибирской Открытой Олимпиады Школьников по физике 12 ноября 2023 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



1. Опоздавший пассажир бросился догонять поезд на моно-колесе в момент, когда мимо него пронеслись двери последнего вагона. Двигаясь с постоянным ускорением a_1, он достиг этих дверей, но в момент, когда поравнялся с ними, ехал слишком быстро, чтобы безопасно запрыгнуть в поезд. С этого момента он начал тормозить с постоянным ускорением a_2 и в момент, когда его скорость сравнялась со скоростью поезда, заскочил в двери второго от конца вагона. На какую максимальную дистанцию пассажир отставал от поезда, если длина вагона L? Скорость поезда не менялась. Доступна последняя дверь каждого вагона. За конец поезда принимать последнюю дверь.

Возможное решение



Предположим, что скорость поезда v_0, и в момент времени t_2 пассажир его догнал, достигнув к этому моменту скорости v_1: $v_0 t_2 = a_1 t_2^2 / 2 = v_1 t_2 / 2$, откуда $v_1 = 2v_0$ <2 балла>.

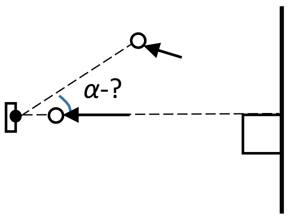
Поезд максимально удалится от пассажира в момент времени t_1, когда скорость пассажира сравняется со скоростью поезда: $t_1 = \dfrac{v_0}{a_1}$ <2 балла>. Максимальное удаление поезда $S = \dfrac{a_1 t_1^2}{2} = \dfrac{v_0^2}{2a_1}$ <2 балла>.

Время торможения пассажира $t_3 - t_2 = (v_1 - v_0)/a_2 = v_0 / a_2$, за это время поезд прошел путь $S_1 = v_0(t_3 - t_2)$, пассажир - $S_2 = \dfrac{(v_1 + v_0)(t_3 - t_2)}{2} = \dfrac{3v_0(t_3 - t_2)}{2}$, относительное перемещение пассажира и поезда $L = S_2 - S_1 = \dfrac{v_0(t_3 - t_2)}{2} = \dfrac{v_0^2}{2a_2}$ <2 балла>. Находим v_0^2, подставляем в формулу для S и получаем ответ.

Ответ: $S = L\dfrac{a_2}{a_1}$ <2 балла>.

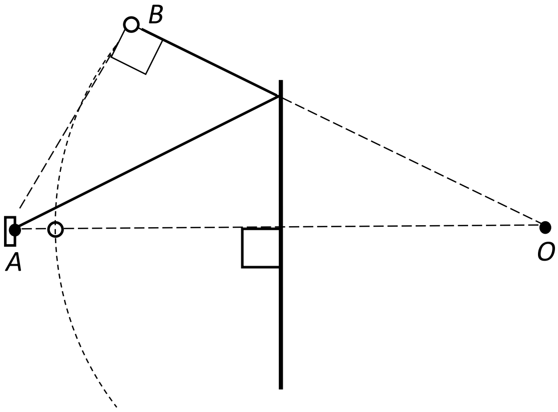
Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Определение скорости пассажира когда он догнал поезд	$v_1 = 2v_0$	2
2	Определение момента времени максимального удаления поезда	$t_1 = \dfrac{v_0}{a_1}$	2
3	Определение величины максимального удаления поезда	$S = \dfrac{a_1 t_1^2}{2} = \dfrac{v_0^2}{2a_1}$	2
4	Определение относительного перемещения пассажира и поезда при торможении пассажира	$L = S_2 - S_1 = \dfrac{v_0(t_3 - t_2)}{2} = \dfrac{v_0^2}{2a_2}$	2
5	Получение ответа	$S = L\dfrac{a_2}{a_1}$	2



2. Хоккеист из точки на расстоянии 10 м от бортика хоккейной коробки производит шайбой удар-броски в сторону бортика с одинаковой начальной скоростью. При этом шайба скользит по льду, упруго отскакивает от бортика, скользит и останавливается. Когда шайба пущена перпендикулярно бортику, то она останавливается в одном метре от точки броска. Под каким наибольшим углом к перпендикуляру может остановиться шайба?

Возможное решение



Во всех случаях шайба проделывает до остановки одинаковый путь, что следует из закона сохранения энергии. Этот путь равен $R = 19$ м <3 балла>.

Поскольку угол отражения шайбы от бортика равен углу ее падения, при зеркальном отражении от плоскости бортика траектории движения шайбы до ее удара о бортик, эта траектория составит прямую линию вместе с ее траекторией после удара. Геометрическим местом точек возможной остановки шайбы является дуга окружности радиусом *R* с центром в точке *O* (см. рисунок) за бортиком на расстоянии 10 м от него <3 балла>

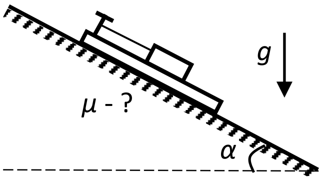
Искомый угол отвечает точке *B* остановки шайбы, такой, что линия *AB* касается окружности и угол *ABO* прямой. <2 балла>

Поскольку AO=20 м, а BO=19 м, искомый угол $\alpha = arc\sin\left(\frac{BO}{AO}\right) = arc\sin(0,95) \approx 72^\circ$

Ответ: $\alpha = \arcsin(0,95) \approx 72^\circ$ <2 балла>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Обоснованное утверждение: путь до остановки во всех случаях одинаков	$R = 19$ м	3
2	Геометрическое место точек остановки шайбы – дуга окружности с центром за бортиком в 10 метрах от него		3
3	Направление на шайбу под наибольшим углом – касательная к этой окружности		2
4	Получение ответа	$\alpha = \arcsin(0,95) \approx 72^\circ$	2



3. На наклонной плоскости, образующей угол $\boldsymbol{\alpha}$ с горизонтом, находится доска. В доску вбит гвоздь. К гвоздю привязана невесомая и нерастяжимая нить, второй конец которой прикреплён к бруску, лежащему на доске. Нить натянута и параллельна плоскости доски. Между бруском и доской трения нет. Вначале доску удерживали, а затем её аккуратно отпустили. Доска начала скользить по плоскости, при этом сила натяжения нити уменьшилась в $\boldsymbol{n}$ раз. Найдите коэффициент трения скольжения между доской и наклонной плоскостью. Ускорение свободного падения $\boldsymbol{g}$.

Возможное решение

Введём обозначения: M – масса доски; m – масса бруска; T – сила натяжения нити, когда доску удерживали. Вначале брусок покоился, поэтому из второго закона Ньютона для бруска следует равенство <1 балл>: $T = mg\sin\alpha$.

Когда доску отпустили, брусок и доска стали двигаться с одинаковым ускорением a. Используя условие задачи, запишем второй закон Ньютона для бруска, когда брусок двигался <2 балла>: $mg\sin\alpha - \frac{T}{n} = ma$.

Из последних двух равенств следует первое выражение для ускорения <1 балл>:

$$a = g\sin\alpha\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Для системы «брусок + доска» запишем второй закон Ньютона, когда система двигалась <2 балла>: $(M+m)g\sin\alpha - \mu N = (M+m)a$.

Сила реакции опоры N равна <1 балл>: $N = (M+m)g\cos\alpha$

Из последних двух равенств следует второе выражение для ускорения <1 балл>:

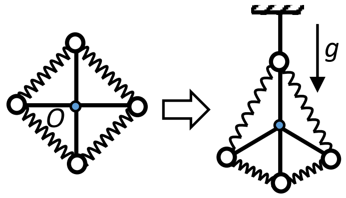
$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$$

Приравнивая два полученных выражения для ускорения, находим ответ

Ответ: $\mu = \mathrm{tg}(\alpha)/n$. <2 балла>

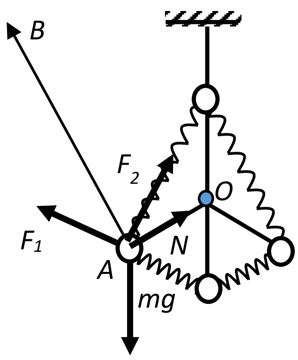
Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Условие равновесия бруска	$T = mg\sin\alpha$	1
2	II закон Ньютона для отпущенного бруска	$mg\sin\alpha - \frac{T}{n} = ma$	2
3	Определение ускорения отпущенного бруска	$a = g\sin\alpha\left(1 - \frac{1}{n}\right)$	1
4	II закон Ньютона для системы брусок + доска	$(M+m)g\sin\alpha - \mu N = (M+m)a$	2
5	Определение силы реакции опоры	$N = (M+m)g\cos\alpha$	1
6	Определение ускорения системы брусок + доска	$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$	1
7	Получение ответа	$\mu = \mathrm{tg}(\alpha)/n$	2



4. На горизонтальной поверхности четыре одинаковых шарика при помощи одинаковых легких стержней длины l каждый прикрепили к легкому шарниру O и соединили одинаковыми легкими пружинами жесткостью k каждая. Конструкция приняла форму квадрата, при этом пружины не были деформированы. После того, как конструкцию подвесили за один из грузов, и она пришла в равновесие, между стержнями установились углы 120º, 60º, 60º и 120º. Определите массу шарика. Все шарики находятся в одной плоскости, их размеры пренебрежимо малы. Ускорение свободного падения g.

Возможное решение



Исследуем равновесие шарика в точке А. На него действуют сила тяжести mg, сила упругости нижней пружины F_1, верхней - F_2 и сила N реакции опоры со стороны стержня. <2 балла>

Длина недеформированной пружины $l_0 = l\sqrt{2}$, длина нижней пружины l, верхней - $l\sqrt{3}$, откуда силы $F_1 = kl(\sqrt{2}-1)$ и $F_2 = kl(\sqrt{3}-\sqrt{2})$. <3 балла>

Условие равновесия в направлении AB, перпендикулярном стержню OA: $F_1\cos(30^\circ) + F_2\cos(60^\circ) - mg\cos(30^\circ) = 0$. <3 балла>

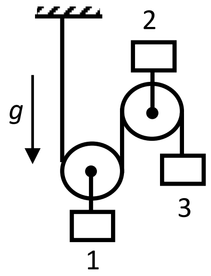
Поставляем значения сил и находим ответ.

Ответ: $m = \dfrac{\sqrt{2}\left(\sqrt{3}-1\right)kl}{\sqrt{3}g}$ <2 балла>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Определение сил, действующих на шарик A	mg, F_1, F_2, N	2
2	Определение начальной и конечной длины пружин и сил упругости	$l_0 = l\sqrt{2}$, l, $l\sqrt{3}$, $F_1 = kl(\sqrt{2}-1)$, $F_2 = kl(\sqrt{3}-\sqrt{2})$	3
3	Условие равновесия шарика A в направлении, перпендикулярном OA	$F_1\cos(30^\circ) + F_2\cos(60^\circ) - mg\cos(30^\circ) = 0$	3
4	Получение ответа	$m = \dfrac{\sqrt{2}\left(\sqrt{3}-1\right)kl}{\sqrt{3}g}$	2

5. На рисунке изображена механическая конструкция из подвижных блоков и грузов с одинаковой массой. Грузы и блоки сначала удерживали так, чтобы нити не провисали, а затем отпустили. Определите ускорения грузов. Блоки и нити невесомые, нити нерастяжимые. Ускорение свободного падения g.



Возможное решение

Примем, что сила натяжения переброшенной через блоки нити T. Будем считать положительным направление вниз. II закон Ньютона для первого груза $ma_1 = mg - 2T$, <2 балла>

для второго - $ma_2 = mg + 2T$, <2 балла>

для третьего - $ma_3 = mg - T$. <1 балл>

Условие нерастяжимости нити $2a_1 - 2a_2 + a_3 = 0$. <3 балла>

Подставив значения ускорений из первых трех уравнений в четвертое, находим $T = \frac{mg}{9}$, а, подставив полученную величину в эти три уравнения, получим ответ.

Ответ: $7g/9$, $11g/9$, $8g/9$ <2 балла>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Запись II закона Ньютона для груза 1	$ma_1 = mg - 2T$	2
2	Запись II закона Ньютона для груза 2	$ma_2 = mg + 2T$	2
3	Запись II закона Ньютона для груза 3	$ma_3 = mg - T$	1
4	Формулировка условия нерастяжимости нити	$2a_1 - 2a_2 + a_3 = 0$	3
5	Получение ответа	$7g/9$, $11g/9$, $8g/9$	2