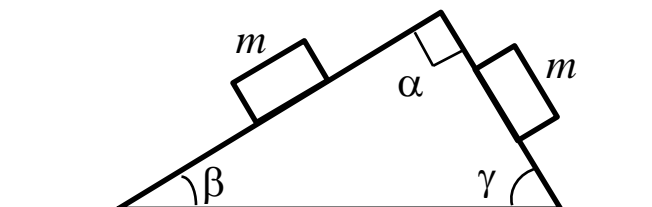


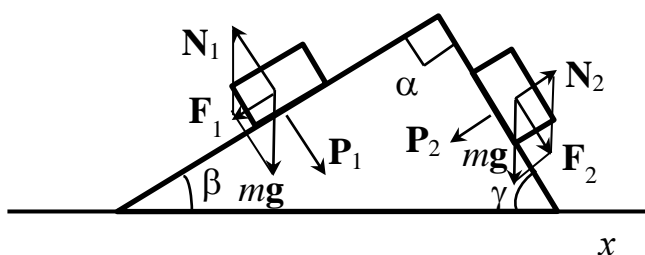
Решения задач 10 класс.

1. На горизонтальной поверхности лежит массивный клин с углами при вершинах $\alpha = 90^\circ$, $\beta < \gamma$. На боковые грани клина ставят тела одинаковой массы m . В какую сторону начнет двигаться клин? Трение между клином и горизонтальной поверхностью, а также между телами и клином отсутствует.



Решение:

Расставим силы, действующие на массы и на клин со стороны масс.



N_1 и N_2 - силы реакции опоры, mg - сила тяжести, P_1 и P_2 - силы нормального давления

Если проекции сил нормального давления на ось x $|P_{1x}| = |P_{2x}|$, то клин будет неподвижен, если $|P_{1x}| > |P_{2x}|$, клин будет двигаться влево, $|P_{1x}| < |P_{2x}|$, клин будет двигаться вправо.

По III закону Ньютона $P_1 = -N_1$ и $P_2 = -N_2$. Силы реакции опоры принимают такие значения, чтобы равнодействующие $F_1 = mg + N_1$ и $F_2 = mg + N_2$ были направлены вниз параллельно соответствующим граням клина.

Из прямоугольных треугольников, сторонами которых являются векторы F_1, mg, N_1 и F_2, mg, N_2 можно определить длины катетов N_1 и N_2 :

$$N_1 = mg \cos \beta,$$

$$N_2 = mg \cos \gamma = mg \cos(\pi/2 - \beta) = mg \sin \beta.$$

Величины проекций сил реакции опоры на ось x равны величинам проекций соответствующих сил нормального давления и определяются формулами

$$|P_{1x}| = |N_{1x}| = mg \cos \beta \sin \beta,$$

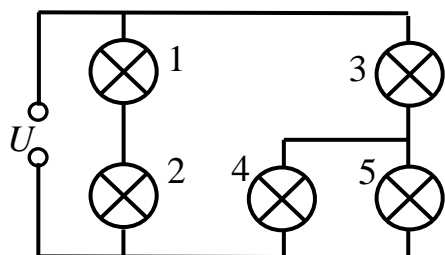
$$|P_{2x}| = |N_{2x}| = mg \sin \beta \cos \beta.$$

Таким образом, $|P_{1x}| = |P_{2x}|$, и клин останется в покое.

Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 1. Правильно построен рисунок с указанием всех сил | 2 балла |
| 2. Записан третий закон Ньютона для масс и сил реакции | 2 балла |
| 3. Написаны уравнения для сил реакции опоры | 2 балла |
| 4. Найдены проекции сил реакции опоры на ось OX | 2 балла |
| 5. Сделан вывод о движении клина | 2 балла |

2. Пять одинаковых лампочек включают в цепь по схеме, изображенной на рисунке. Какая из лампочек горит ярче всех, а какая слабее всех? Почему?



Решение:

Сопротивление участка с лампочками 1 и 2 равно $r_{12} = 2r$, r - сопротивление одной лампочки. Сопротивление участка с лампочками 3, 4, 5 равно

$r_{345} = r + \frac{r \cdot r}{r + r} = 1.5r$. Через лампочки 1 и 2 течет ток $I_{12} = \frac{U}{2r}$. Через лампочку

3 течет ток $I_3 = \frac{U}{1.5r}$, через лампочки 4 и 5 течет ток $I_{4(5)} = \frac{1}{2} I_3 = \frac{U}{3r}$.

Количество теплоты, выделяемое лампочкой за время t равно $Q = I^2 r t$.

Поэтому ярче всех горит лампочка 3, т. к. через нее течет самый большой ток, слабее всех - лампочки 4 и 5.

Критерии оценивания:

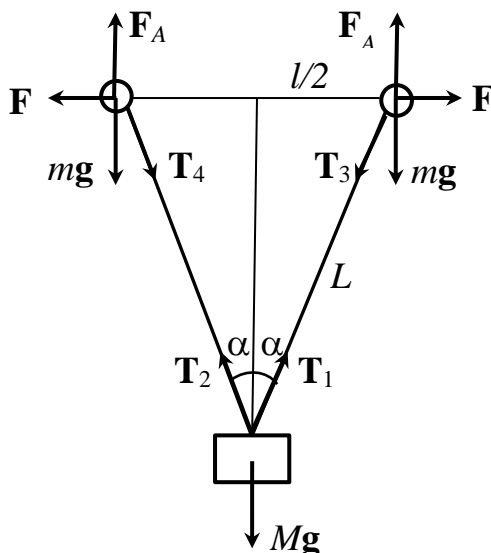
- | | |
|---|--------|
| 1. Записано сопротивление участка с лампочками 1 и 2: | 1 балл |
| 2. Записано сопротивление участка с лампочками 3, 4, 5: | 1 балл |
| 3. Записаны значения тока через лампочки 1 и 2: | 1 балл |
| 4. Записано значение тока через лампочку 3: | 1 балл |

- | | |
|--|---------|
| 5. Записаны значения тока через лампочки 4 и 5: | 1 балл |
| 6. Записан закон о количестве тепла за единицу времени | 2 балла |
| 7. Найдены лампочки, которая горит ярче всех и слабее всех | 3 балла |

3. Тело массой $M = 5$ г подвешено с помощью тонких невесомых нитей длиной $L = 1$ м каждая к двум, наполненным гелием шарикам, которые несут на себе одинаковые электрические заряды. Система, зависнув в воздухе, находится в положении равновесия. Расстояние между центрами шариков много больше их радиусов и составляет $l = 40$ см. Найти заряды на шариках.

Решение:

Расставим силы, действующие в системе.



Т. к. тело находится в равновесии, то $Mg + \mathbf{T}_1 + \mathbf{T}_2 = 0$. (1)

Для правого шарика условие равновесия имеет вид: $mg + \mathbf{T}_3 + \mathbf{F} + \mathbf{F}_A = 0$. (2)

В силу симметрии системы $|\mathbf{T}_1| = |\mathbf{T}_2| = |\mathbf{T}_3| = |\mathbf{T}_4| = T$.

Проецируем (1) на вертикальное направление $Mg - 2T \cos \alpha = 0$. (3)

Проецируем (2) на горизонтальное направление: $F - T \sin \alpha = 0$. (4)

Из прямоугольного треугольника с гипотенузой L и катетом $l/2$ определим

$$\sin \alpha = \frac{l}{2L}. \quad (5)$$

Из системы уравнений (3) - (5) определим силу Кулона F

$$F = \frac{Mgl}{2\sqrt{4L^2 - l^2}}.$$

По закону Кулона $F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l^2}$, тогда

$$q = l \sqrt{\frac{2\pi\epsilon_0 Mgl}{\sqrt{4L^2 - l^2}}} = 0.3 \text{ мкКл.}$$

Критерии оценивания:

1. Показан рисунок с расстановкой всех сил 2 балла
2. Записано условие равновесия для тела: 1 балл
3. Записано условие равновесия для шара: 1 балл
4. Записаны уравнения для проекции сил: 2 балла
5. Найдена сила Кулона 2 балла
6. Найден заряд на шариках 2 балла

4. В теплоизолированном сосуде находится 1 кг расплавленного свинца при температуре плавления ($T_1 = 600$ К). В сосуд бросают кусочек льда массой 100 г при температуре $T_2 = 0^\circ\text{C}$. Найти температуру в сосуде после установления теплового равновесия. В каком агрегатном состоянии будут свинец и вода? Теплоемкостью стенок сосуда пренебречь.

Удельная теплота плавления свинца $r_c = 2.4 \cdot 10^4$ Дж/кг, удельная теплоемкость свинца $C_c = 130$ Дж/(кг град), удельная теплоемкость воды $C_v = 4200$ Дж/(кг град), удельная теплота плавления льда $r_l = 3.4 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплота парообразования воды $L_v = 2.3 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Решение:

В процессе отвердевания свинца при температуре плавления выделяется количество теплоты

$$Q_1 = m_c r_c = 2.4 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

При остывании отвердевшего свинца от 600 К до 100°C его температура уменьшается на $\Delta T_1 = 600 - (100 + 273) = 227$ град. В этом процессе выделяется количество теплоты

$$Q_2 = m_c C_c \Delta T_1 = 3.0 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

При плавлении льда поглощается количество теплоты

$$Q_3 = m_l r_l = 3.4 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

При нагревании 100 г воды от 0 до 100°C ($\Delta T_2 = 100$ град) поглощается количество теплоты

$$Q_4 = m_l C_v \Delta T_2 = 4.2 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

Видно, что $Q_1 + Q_2 < Q_3 + Q_4$, т. е. количества теплоты, выделившегося при отвердевании свинца и остывании его до 100°C , достаточно, чтобы расплавить лед, но недостаточно, чтобы нагреть образовавшуюся воду до 100°C .

Из уравнения теплового баланса определим температуру системы

$$m_c r_c + m_c C_c (T_1 - T) = m_l r_l + m_l C_v (T - T_2),$$

откуда

$$T = \frac{m_c(r_c + C_c T_1) - m_l(r_l - C_g T_2)}{m_c C_c + m_g C_g} = 332 \text{ K} = 59^\circ \text{C}.$$

Свинец будет в твердом состоянии, вода - в жидком.

Критерии оценивания:

1. Расчет количества выделившейся теплоты при отвердевании свинца и остывании до 100°C : 2 балла.
2. Расчет количества поглощенной теплоты при плавлении льда: 2 балла.
3. Расчет количества поглощенной теплоты при нагревании воды: 2 балла.
4. Уравнение теплового баланса записано правильно и определена температура системы: 2 балла.
5. Определение агрегатного состояния свинца и воды выполнено правильно: 2 балла.

5. Псевдоэксперимент

В баллистической лаборатории исследовались зависимости значений скоростей v шариков, выпущенных вверх из небольшой катапульты, стоящей на столе, от высоты h их подъема над уровнем стола. К сожалению, в спешке в таблицу с результатами измерений попали данные для двух разных шариков.

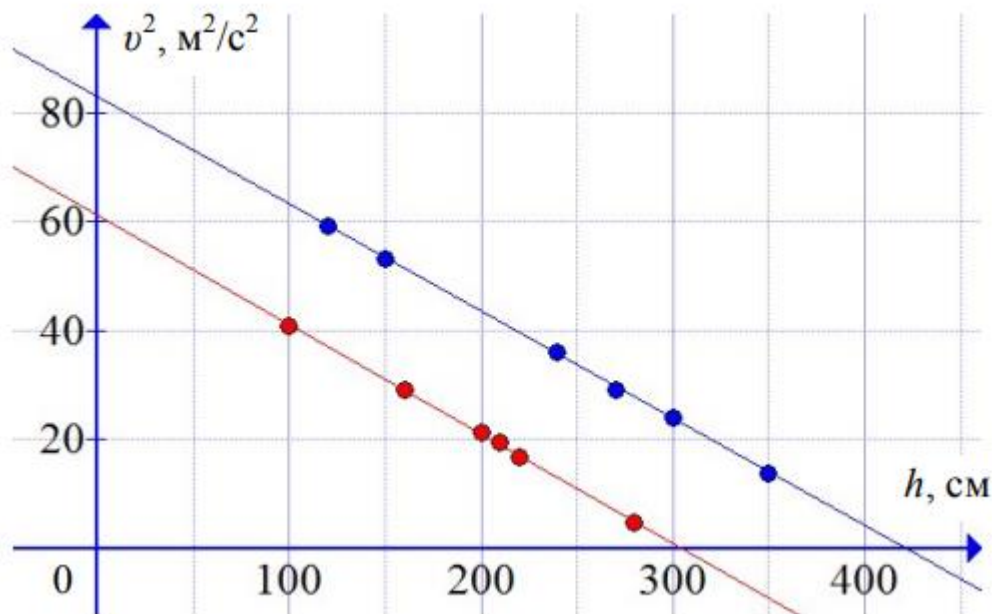
- Определите, какие данные относятся к одному, а какие к другому шарик. Для этого постройте график с результатами измерений в таких координатах, в которых он должен быть линейным.
- Рассчитайте, во сколько раз отличаются максимальные высоты подъема шариков над столом.
- Определите времена полета шариков? Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
h, см	220	240	350	150	280	160	270	120	300	210	100	200
v, м/с	4,1	6,0	3,7	7,3	2,2	5,4	5,5	7,7	4,9	4,4	6,4	4,6

Возможное решение

Из закона сохранения энергии $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh$ получаем $v^2 = v_0^2 - 2gh$, где v_0 - скорость на уровне стола. Следовательно, зависимость скорости от высоты будет линейной, например, в осях $v^2(h)$.

Нанесем экспериментальные точки на поле графика с осями v^2 и h .



Все точки хорошо разделяются, ложась на две прямые. Таким образом, одному шарикю принадлежат точки:

№	1	2	3	4	5	6
h, см	120	150	240	270	300	350
v, м/с	7,7	7,3	6,0	5,5	4,9	3,7

а другому:

№	1	2	3	4	5	6
h, см	100	160	200	210	220	280
v, м/с	6,4	5,4	4,6	4,4	4,1	2,2

Прямые пересекают ось h в точках 310 см и 425 см. Это максимальные высоты подъема шариков. Времена полета шариков могут быть найдены, как удвоенные времена падения без начальной скорости с максимальной высоты $t = 2\sqrt{2h/g}$, и для одного шарика $t_1 = 1,6$ с, а для другого $t_2 = 1,9$ с.

Критерии оценивания

1. Теоретическое обоснование линейности зависимости v^2 от h 2 балла
2. График 3 балла
 - подписаны величины и единицы измерения на осях 1 балл
 - оцифрованы деления через равные интервалы 1 балл
 - верно нанесенные точки, соединенные гладкими линиями 1 балл
3. Определены максимальные высоты подъема ($\pm 5\%$) 2 балла
4. Выражение для определения времени падения 1 балл
5. Найдены времена полета ($\pm 5\%$) 2 балла