ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)

возрастная группа (**11** класс)

**ЗАДАНИЕ 1.**

В учебнике физики написано, что период колебаний маятника можно рассчитать по формуле $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Ученик решил экспериментально проверить, действительно ли период колебаний маятника не зависит от амплитуды колебаний? Он сделал маятник из маленького стального шарика, который на длинной нити прикрепил к штативу. Для измерения времени он использовал механический секундомер, абсолютная погрешность которого равна 0,2 с.

В первую очередь ученик оценил время собственной реакции. Для этого он несколько раз измерил время 5-ти полных колебаний сделанного им маятника и выяснил, что время его собственной реакции равно 0,2 с.

Для измерения периода колебаний ученик решил измерить сначала время 10-полных колебаний маятника при разных амплитудах (прямое измерение времени), и только потом выполнить косвенное измерение периода.

1. Оценить абсолютную погрешность измерения времени как сумму времени собственной реакции и абсолютной погрешности секундомера.
2. Оценить относительную погрешность времени 10-ти колебаний, если при амплитуде колебаний менее $5^{\circ}$ оно оказалось равно 20,0 с, а при амплитуде колебаний более $70^{\circ}$ оно равно 21,0 с.
3. Найти относительную погрешность измерения периода колебаний.
4. Вычислить периоды колебаний и рассчитать их абсолютную погрешность.
5. Поместить экспериментальные значения периодов колебаний на числовой оси и сделать вывод по результатам эксперимента.

**Решение.**

1) Абсолютная погрешность измерения времени десяти полных колебаний 0,2с+0,2с=0,4с.

2) Относительная погрешность измерения времени десяти полных колебаний

$$\frac{\Delta t}{t} \approx \frac{0{,}4}{20} = 0{,}02 = 2\%.$$

3) Относительная погрешность измерения периода колебаний

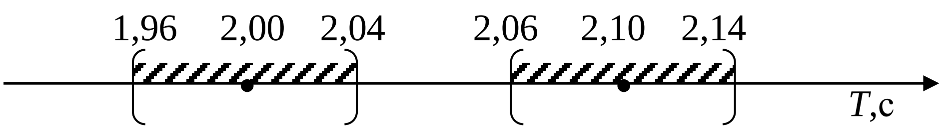
$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta t}{t} \approx \frac{0{,}4}{20} = 0{,}02 = 2\%.$$

4) Периоды колебаний и их абсолютная погрешность

$$T_1 = \frac{20}{10} = 2{,}00\text{с}, \Delta T_1 = T_1 \varepsilon = 2\text{с} \cdot 0{,}02 = 0{,}04\text{с}, T_1 = (2{,}00 \pm 0{,}04)\text{с};$$

$$T_2 = \frac{21{,}0}{10} = 2{,}10\text{ с};\ \ \Delta T_2 = \Delta T_1 = 0{,}04\text{с};\ \ T_2 = (2{,}10 \pm 0{,}04)\text{с}.$$

5)




Интервалы двух периодов колебаний не пересекаются, следовательно, эти периоды действительно отличаются друг от друга ($T_2 > T_1$).

***Критерии оценивания***

| | |
|---|---|
| Выполнен пункт 1 | 2 балла |
| Выполнен пункт 2 | 2 балла |
| Выполнен пункт 3 | 2 балла |
| Выполнен пункт 4 | 2 балла |
| Выполнен пункт 5 | 2 балла |
| Всего | 10 баллов |

**ЗАДАНИЕ 2.**

Два маленьких металлических шарика бросили одновременно под углом к горизонту с начальной скоростью $10\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Первый шарик под углом $60°$, а второй – под углом $30°$. С помощью математического эксперимента выяснить, в какой момент времени расстояние между шариками было максимально и каким было это максимальное расстояние.

***Замечание.*** При необходимости воспользуйтесь миллиметровой бумагой (*Приложение 1*). ***Приложение 1 сдается вместе с решением.***

**Решение.**

Этапы математического эксперимента.

1. Выбирают физические модели, с помощью которых можно было бы описать (исследовать) предложенные реальные физические процессы. В данном случае два маленьких металлических шарика можно рассматривать как две материальные точки, которые движутся с постоянным ускорением ($g = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$).
2. Выбирают параметры, которые надо будет регистрировать во время эксперимента. В данном случае координаты $x$ и $y$ двух материальных точек в конкретные моменты времени.
3. Регистрируют результаты эксперимента (результаты расчетов) в виде таблицы.
4. Обработка результатов (построение графиков).
5. Анализ результатов (анализ графиков) и выводы.

Решение.

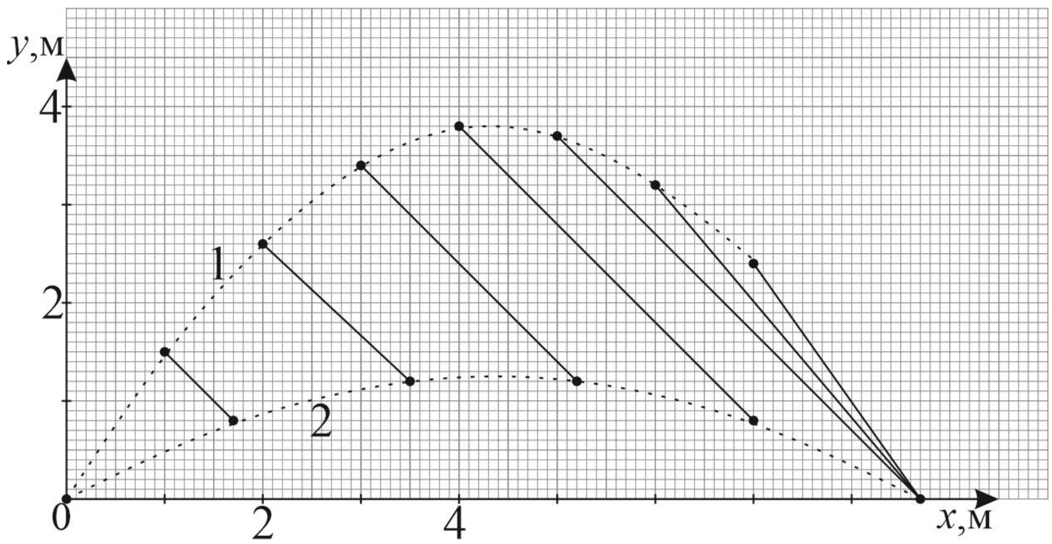
Начало отсчета координат $(x, y)$ – место старта. Начало отсчета времени $t$ – момент старта. Тогда

$$\begin{cases} x = v_{0\text{г}}t, \\ y = v_{0\text{в}}t - \dfrac{gt^2}{2}. \end{cases}$$

| $t$, с | $x_1$, м | $y_1$, м | $x_2$, м | $y_2$, м |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.2 | 1.0 | 1.5 | 1.7 | 0.8 |
| 0.4 | 2.0 | 2.6 | 3.4 | 1.2 |
| 0.6 | 3.0 | 3.4 | 5.2 | 1.2 |
| 0.8 | 4.0 | 3.8 | 7.0 | 0.8 |
| 1.0 | 5.0 | 3.7 | 8.7 | 0 |
| 1.2 | 6.0 | 3.2 | 8.7 | 0 |
| 1.4 | 7.0 | 2.4 | 8.7 | 0 |

По результатам таблицы построить графики движения в общей системе координат. Расстояния между шариками можно измерить на графике с помощью масштабной линейки.

Из графика следует, что расстояние между шариками увеличивалось до момента падения второго шарика на землю, после оно стало уменьшаться. Следовательно максимальное расстояние между шариками было в момент падения второго шарика ($y_2 = 0, t = 0{,}1$ с).




Можно определить его по графику или рассчитать по формуле

$$s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

Ответ. Максимальное расстояние 5,2 м достигается в момент времени $t = 1{,}0$с.

***Критерии оценивания***

| | |
|---|---|
| Записаны уравнения движения для тела, брошенного под углом к горизонту | 2 балла |
| Рассчитаны координаты шариков для разных моментов времени | 2 балла |
| Построен график. По графику определено, как изменялось расстояние между шариками | 4 балла |
| Определен момент времени, в который расстояние между шариками было максимально | 1 балл |
| Определено максимальное расстояние между шариками | 1 балл |
| Всего | 10 баллов |

**ЗАДАНИЕ 3.**

Солнечным летним днем ученик переплывал на маленьком плоту с одного берега на другой. Он лежал на плоту и смотрел вниз на воду, пытаясь рассмотреть дно озера. Вода в озере была прозрачная, и он отчетливо видел даже маленькие камушки на дне. Увидев камень, на который он мог бы встать хотя бы одной ногой, он «на глазок» оценил расстояние до него. Получилось не более полутора метров. Сравнив это расстояние со своим ростом, ученик пришел к выводу, что ему будет «по шейку», и решил проверить свой глазомер, встав на этот камень. Приняв показатель преломления воды за 4/3, рассчитать глубину озера в этом месте.

**Решение.**

Выберем на камне две крайние точки (A и B), чтобы зафиксировать горизонтальный размер камня. Из этих точек вертикально вверх направим лучи 1 и 2. Эти лучи не будут преломляться на границе разделе двух прозрачных сред «вода – воздух».

Луч 3 выберем так, чтобы он проходил через точку A и точку пересечения луча 2 с поверхностью воды. Угол между лучом 3 и вертикалью обозначим $\beta$. Пересекая границу раздела «вода – воздух», этот луч преломится, и угол между ним и вертикалью станет $\alpha$. Угол $\alpha$ больше угла $\beta$. Отношение синусов этих углов равно показателю преломления воды (4/3). Для малых углов (менее 10 градусов) значения синусов можно заменять значениями самих углов, выраженных в радианах. Тогда $n = \alpha/\beta$. Лучи 1 и 3 расходящиеся, следовательно, действительного изображения точки А не существует. Построим обратные продолжения луча 1 и преломленного луча 3. Их обратные продолжения пересекутся. Точка пересечения соответствует мнимому изображению точки А.

Луч 4 выберем так, чтобы он проходил через точку В и точку пересечения луча 1 с поверхностью воды. Построим мнимое изображение точки В.

В результате получим, что размер изображения камня совпадает с размером самого камня, но мнимое изображение камня (именно его увидел ученик) НЕ СОВПАДАЕТ с самим камнем.

Обозначим глубину озера (расстояние от камня до поверхности воды) Н, а расстояние от камня до его мнимого изображения – h. Тогда расстояние от изображения камня до поверхности воды будет Н-h (равно 1,5 м).

Угол α опирается на отрезок A'B'. Угол β опирается на отрезок AB. Для малых углов отрезки прямых линий можно заменять дугами окружностей. Тогда отрезок A'B' можно заменить дугой A'B' окружности радиуса Н-h, а отрезок АВ – дугой окружности радиуса Н.

В результате, $\alpha/\beta = H/(H\text{-}h)$. Следовательно, $n = H/(H\text{-}h)$. $H = 2$ м.

Глубина озера в этом месте равна 2 м, а это уже не «по шейку». Можно и утонуть.

***Критерии оценивания***

| | |
|---|---|
| Изображен ход лучей от камня, построено его изображение | 5 баллов |
| Определена глубина озера | 5 баллов |
| Всего | 10 баллов |

**ЗАДАНИЕ 4.**

Изучая тепловое действие тока, Эмилий Христианович Ленц провел множество экспериментов. В качестве источника постоянного тока он использовал батареи из последовательно соединенных элементов тока. Изменение количества элементов в батарее позволяло ему регулировать силу тока, который протекая по проволоке, нагревал ее. Э.Х. Ленц обнаружил, что для того, чтобы количество тепла, которое выделяется в единице длины проволоки, не зависело от длины проволоки, необходимо изменять количество элементов тока в батарее. Во сколько раз необходимо было увеличивать количество элементов тока в батарее, чтобы при увеличении длины проволоки в $p$ раз, количество теплоты, которое выделяется в единице длины проволоки, осталось прежним.

**Решение.**

Допустим, что первая батарея состояла из n элементов, внутреннее сопротивление одного элемента равно $r$, его электродвижущая сила $\mathcal{E}_0$, сопротивление единицы длинны проволоки $R_1$. Тогда при включении проволоки длинной $l$ в цепи будет проходить ток силы

$$I_1 = \frac{n\mathcal{E}_0}{nr + lR_1}.$$

В проволоке ежесекундно будет выделяться количество тепла

$$Q_1 = I_1^2 lR_1 = \frac{n^2\mathcal{E}_0^2}{(nr + lR_1)^2} \cdot lR_1,$$

а на каждой единице длинны проволоки будет выделяться количество тепла

$$q_1 = \frac{Q_1}{l} = \frac{n^2\mathcal{E}_0^2}{(nr + lR_1)^2} \cdot R_1.$$

При включении проволоки длинной $pl$ и $x$ элементов количество тепла, выделяющегося на каждой единице длинны проволоки будет

$$q_2 = \frac{x^2\mathcal{E}_0^2}{(xr + plR_1)^2} \cdot R_1.$$

Если в единице длины каждой из проволок будет выделяться одинаковое количество тепла, то они будут накаливаться одинаково.

$$\frac{n^2\mathcal{E}_0^2}{(nr + lR_1)^2} = \frac{x^2\mathcal{E}_0^2}{(xr + plR_1)^2},$$

отсюда $x = pn.$

***Критерии оценивания***

| | |
|---|---|
| Определено $I_1$ | 2 балла |
| Определено $Q_1$ | 2 балла |

| | |
|---|---|
| Определено $q_1$ | 2 балла |
| Определено $q_2$ | 2 балла |
| Приведено равенство $q_1 = q_2$, откуда получено $x$ | 2 балл |
| Всего | 10 баллов |

**ЗАДАНИЕ 5.**

Теннисный шарик падает с высоты 1,0 м и после удара о неподвижную горизонтальную ракетку подпрыгивает на высоту 0,8 м. С какой скоростью необходимо двигать ракетку навстречу шарику в момент удара, чтобы, он подпрыгнул на высоту 1,0 м? Сопротивлением воздуха можно пренебречь, считая, что потери механической энергии происходят только при соударении шарика с ракеткой. Доля теряемой энергии не зависит от скорости шарика относительно неподвижной ракетки. Масса ракетки значительно больше массы шарика.

**Решение.**

Обозначим скорость шарика перед ударом о неподвижную ракетку $v$, а после удара – $v'$. Тогда отношение скоростей $\frac{v\prime}{v}$ будет равно квадратному корню из отношения высот (0,89). Из условия задачи следует, что коэффициент потери скорости будет постоянным при любых скоростях шарика, но только относительно неподвижной ракетки. Поэтому, для дальнейшего решения задачи, необходимо перейти в систему отсчета, связанную с движущейся ракеткой. Пусть скорость ракетки в неподвижной системе отсчета равна $u$.

В системе отсчета, связанной с движущейся ракеткой, сама ракетка становится неподвижной. Следовательно, можно использовать коэффициент потери скорости (0,89). Скорость шарика до удара о ракетку равна $v + u$, а после отскока от ракетки будет равна $0{,}89(v + u)$. Теперь необходимо вернуться в неподвижную систему отсчета, для того, чтобы записать равенство:

$$u + 0{,}89(v + u) = v.$$

При выполнении этого условия, шарик подпрыгнет на ту же высоту, с которой падал.

Решая это уравнение относительно $u$, получим $u = 0{,}26$ м/с.

***Критерии оценивания***

| | |
|---|---|
| Обоснован переход в систему отсчета связанную с движущейся ракеткой | 2 балла |
| Определены скорости в движущейся системе отсчета | 3 балла |
| Осуществлен переход в неподвижную систему отсчета | 3 балла |
| Определена искомая скорость | 2 балла |
| Всего | 10 баллов |

*Приложение 1(бумага для решения задачи 3)*