



# Республиканская физическая олимпиада 2022 года (Заключительный этап)

## Экспериментальный тур

# Решения задач 9 класс (для жюри)

Уважаемые члены жюри!

Задачи, предложенные школьникам для решения на олимпиаде, не стандартные и достаточно сложные. Предложенные здесь варианты путей решений не являются единственно возможными. Участники олимпиады могут предложить свои способы решения. Если эти способы приводят к правильным ответам и физически обоснованы, то задача (или ее отдельные пункты) должны оцениваться максимальными баллами.

Не забывайте, что Вы должны оценивать не только конечные ответы, но и отдельные правильные шаги в ходе решения!



***Не жалейте баллов (если, конечно, есть за что!) для наших замечательных школьников!***

### Задание 9-1. Ускоренное движение.

1. Измерения координат датчиков проводятся с помощью линейки. Для разных установок положения датчиков могут отличаться в пределах  $\pm 2$  см.

2. Датчики позволяют снимать времена прохождения шарика сквозь них. Причем счет времени запускается при прохождении первого датчика.

Таким образом, в результате одного эксперимента имеет три пары чисел – результатов измерений: координаты и времена прохождения:  $(x_1, t_1), (x_2, t_2), (x_3, t_3)$ . Оптимальным способом доказательства, того что движение является равноускоренным является построение линеаризованной зависимости  $\frac{x}{t}(t)$ . Эксперимент однозначно подтверждает, что эта зависимость линейная, следовательно, движение шарика – равноускоренное.

3. При выводе расчетной формулы следует учесть, что при прохождении первого датчика шарик уже имеет некоторую начальную скорость  $v_0$ . Поэтому координаты датчиков и времена их прохождения связаны соотношениями:

$$\begin{aligned}x_1 &= v_0 t_1 + \frac{a t_1^2}{2} \\x_2 &= v_0 t_2 + \frac{a t_2^2}{2} . \\x_3 &= v_0 t_3 + \frac{a t_3^2}{2}\end{aligned}\tag{1}$$

Это система трех уравнений с двумя неизвестными (ускорение и начальная скорость), для ее решения можно выбрать любые два уравнения. Для повышения точности следует взять второе и третье уравнения, из которых следует, что ускорение можно рассчитать по формуле:

$$a = 2 \frac{\frac{x_3 - x_2}{t_3 - t_2}}{t_3^2 - t_2^2} .\tag{2}$$

4. Угол наклона трубки можно изменять с помощью лапки штатива. В качестве меры угла можно измерить (с помощью линейки) синус этого угла:

$$\sin \alpha = \frac{h}{l} .\tag{3}$$

Где  $l$  - длина трубки.  $h$  - высота приподнятого конца трубки. Для построения исследуемой зависимости следует измерить ускорения не менее, чем при 5 значениях углов наклона.

При каждом угле наклона следует проводить несколько измерений, а потом усреднить их результаты. Для того, чтобы получить линейную зависимость, следует построить график зависимости ускорения от синуса угла наклона  $a = f(\sin \alpha)$ .

Эксперимент дает результаты очень близкие к теоретической зависимости

$$a = \frac{7}{5} g \sin \alpha .\tag{4}$$

5. Для второго шарика результаты получаются практически такими же.

6. Из эксперимента однозначно следует, что шарика разных диаметров скатываются одинаково.

7. Измерения со скользящим цилиндром проводятся аналогично. Имеются два существенных отличия от скатывания шарика: первое, времена соскальзывания существенно больше; второе, имеет некоторый минимальный угол наклона (примерно  $20^\circ$ ), при котором начинается соскальзывание.

8. Теоретическая зависимость ускорения от угла наклона изучается в курсе физики и имеет вид:

$$a = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha . \quad (5)$$

Для того, чтобы использовать все экспериментальные данные, необходимо линеаризовать зависимость (5), что можно сделать различными способами. Наиболее предпочтительным

является построение линейной зависимости величины  $Y = \frac{a}{\sin \alpha}$  от величины  $X = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$ :

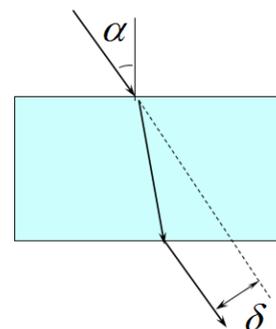
$$Y = g - \mu g X . \quad (6)$$

По коэффициентам этой зависимости легко рассчитываются требуемые величины: ускорение свободного падения и коэффициент трения.

## Задание 9-2. Закон преломления света.

### Часть 1. Прохождение луча света через две параллельные границы.

1.1 После прохождения луча света через плоскопараллельную пластинку, направление распространения луча не изменяется, происходит его сдвиг. Для доказательства этого утверждения необходимо рассмотреть преломление на двух поверхностях: так как уравнение закона преломления не зависит от направления распространения света, то после второго преломления угол между выходящим лучом и нормалью восстановит свое прежнее значение  $\alpha$ , то есть пойдет параллельно падающему лучу.



1.2 Согласно закону преломления света и на основании простых геометрических построений следует, что величина сдвига луча определяется формулой

$$\delta = h \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} . \quad (1)$$

Где  $\beta$  - угол преломления,  $h$  - толщина пластины. В приближении малых углов (когда  $\alpha = n\beta$ ) эта формула упрощается:

$$\delta \approx h \frac{(\alpha - \beta)}{1} = \frac{n-1}{n} \alpha . \quad (2)$$

И приводит к линейной зависимости сдвига луча от угла падения.

1.3 Схема оптических измерений в данном случае очевидна: луч лазера падает на призму, расположенную на транспортире, после преломления луч падает нормально на линейку, которая служит экраном. Полученная зависимость, строго говоря, не является линейной, но при углах меньших  $\alpha < 30^\circ$  можно выделить линейный участок.

1.4 Как следует из формулы (2) коэффициент наклона зависимости  $\delta(\alpha)$  равен  $K = \frac{\Delta \delta}{\Delta \alpha} = \frac{n-1}{n}$ . Этот коэффициент можно найти графически, или по методу наименьших

квадратов. После этого можно вычислить показатель преломления материала призмы, который должен лежать в диапазоне от 1,5 до 1,65.

## Часть 2. Преломление света в треугольной призме.

**2.1** После прохождения луча света через треугольную призму, направление его распространения изменяется, причем эта зависимость оказывается нелинейной и немонотонной. Существует и легко находится положение призмы при угле минимального отклонения.

**2.2** При угле минимального отклонения внутри призмы луч идет параллельно ее основанию. Так как призма правильная, то в этом случае преломленный угол равен  $\beta = 30^\circ$ , поэтому закон преломления света на передней грани имеет вид

$$\sin \alpha = n \sin 30^\circ = \frac{n}{2} \quad (3)$$

Угол падения  $\alpha$  можно измерить непосредственно на установке с помощью транспортира, а затем с помощью формулы (3) рассчитывается показатель преломления материала треугольной призмы. Этот показатель также лежит в интервале от 1,5 до 1,65.

