

Городская открытая олимпиада школьников по физике 2022/23 года

Заключительный этап Экспериментальный тур

Задача 9.1. Катапульта

Для создания спасательной системы инженеры создали маломасштабную модель катапульты из тех же материалов, что и разработанная ими конструкция. Определите, на какую высоту подпрыгнет спасательная капсула массой 150 кг.

Оборудование: модель катапульты, линейка, весы по требованию, нитка по требованию.

Решение

$$mgh = \frac{mv^2}{2} = \frac{k_{\text{ЭКВ}}x^2}{2} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}S_{\text{ЭКВ}}x^2}{2l_{\text{ЭКВ}}},$$

где индекс «ЭКВ» означает параметры эквивалентной пружины или сжатого стержня. Тогда

$$h = \frac{E_{\text{ЭКВ}}S_{\text{ЭКВ}}x^2}{2l_{\text{ЭКВ}}mg} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}S_{\text{ЭКВ}}x^2}{2l_{\text{ЭКВ}}\rho Vg}.$$

Используем метод размерностей.

$$h = \frac{ESx^2}{2l\rho Vg} \sim \frac{E}{\rho g} \cdot \frac{L^2 \cdot L^2}{L \cdot L^3} \sim \frac{E}{\rho g}.$$

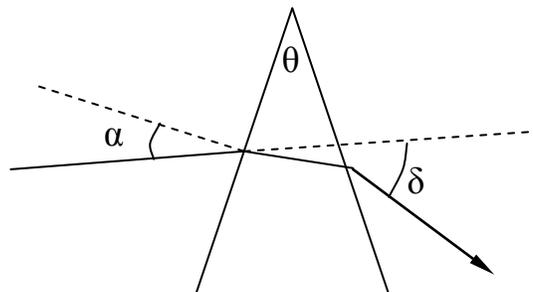
Таким образом, высота подъема катапульты зависит только от модуля Юнга и плотности материала, а также от ускорения свободного падения, но не зависит от геометрических размеров.

Критерии оценивания

1. Проведены измерения высоты подъема:	≥ 10 раз	4
	5-9 раз	3
	3-5 раз	2
	< 3 раз	1
2. Данные сведены в таблицу		2
3. Найдена средняя высота		1
4. Рассчитана погрешность (СКО, приборная погрешность)		2
5. Показано, что для подобных фигур высота подъема не зависит от размеров		5
6. Внятная методика определения высоты		1

Задача 9.2. Преломление на призме

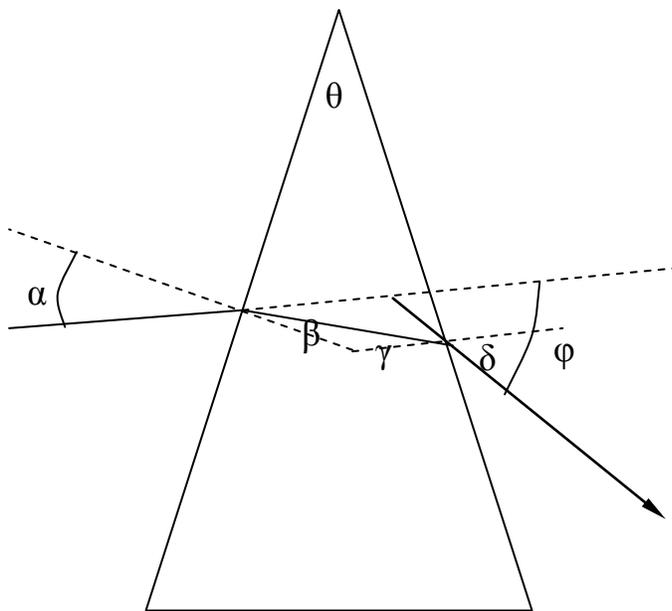
Измерьте и исследуйте зависимость угла отклонения луча от первоначальной траектории φ от угла падения α на призму. Выведите теоретическую формулу для зависимости φ от α и n . Постройте экспериментальные данные и теоретическую зависимость на одном графике.



Определите показатель преломления призмы двумя способами: по углу наименьшего отклонения и по углу полного внутреннего отражения.

Оборудование: стеклянная призма, лазерная указка, транспортир, миллиметровка

Решение



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad \frac{\sin \delta}{\sin \gamma} = n$$

$$\varphi = (\alpha - \beta) + (\delta - \gamma)$$

$$\theta + 90 - \beta + 90 - \gamma = 180 \Rightarrow$$

$$\theta = \beta + \gamma$$

$$\varphi = \alpha + \delta - \theta$$

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$$

$$\sin \delta = n \sin \gamma = n \sin(\theta - \beta) = n(\sin \theta \cos \beta - \cos \theta \sin \beta)$$

$$\sin \delta = n \left(\sin \theta \sqrt{1 - \left(\frac{\sin \alpha}{n}\right)^2} - \cos \theta \frac{\sin \alpha}{n} \right) = \sin \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \theta \sin \alpha$$

$$\varphi = \alpha - \theta + \arcsin(\sin \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \theta \sin \alpha)$$

Поскольку в выражение для φ углы α и δ входят симметричным образом и лучи света обратимы, минимальный угол отклонения будет достигаться при $\alpha = \delta$. При различающихся α и δ угол отклонения возрастает.

$$\sin \delta = \sin \alpha \Rightarrow \sin \alpha = \sin \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \theta \sin \alpha$$

$$\sin \alpha (1 + \cos \theta) = \sin \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$$

$$\sin^2 \alpha (1 + \cos \theta)^2 = \sin^2 \theta (n^2 - \sin^2 \alpha)$$

$$n_1 = \sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{\sin^2 \alpha (1 + 2 \cos \theta + \cos^2 \theta)}{\sin^2 \theta}} = \sin \alpha \sqrt{1 + \frac{(1 + 2 \cos \theta + \cos^2 \theta)}{\sin^2 \theta}}$$

$$n_1 = \frac{\sin \alpha}{\sin \theta} \sqrt{2(1 + \cos \theta)}.$$

Полное внутреннее отражение возникает при $\delta = \pi/2$, $\sin \delta = 1$,

$$\sin \delta = \sin \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_0} - \cos \theta \sin \alpha_0 = 1$$

$$\sin \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_0} = 1 + \cos \theta \sin \alpha_0$$

$$\sin^2 \theta (n^2 - \sin^2 \alpha_0) = 1 + 2 \cos \theta \sin \alpha_0 + \cos^2 \theta \sin^2 \alpha_0$$

$$n_2 = \frac{\sqrt{1 + 2 \cos \theta \sin \alpha_0 + \sin^2 \alpha_0}}{\sin \theta}$$

Критерии оценивания

1. Измерена зависимость $\varphi(\alpha)$. Данные сведены в таблицу.	2
2. Измерен угол призмы θ	1
3. Определен показатель преломления n_1 призмы по углу наименьшего отклонения (формула и значение).	2+1=3
4. Определен показатель преломления n_2 по углу полного внутреннего отражения (формула и значение).	2+1=3
5. Выведена теоретическая формула для зависимости $\varphi(\alpha, n)$.	3
6. Построен график $\varphi(\alpha)$ при $n = n_1 + n_2$ или два графика $\varphi(\alpha, n_1)$, $\varphi(\alpha, n_2)$. Теоретическая кривая, экспериментальные точки, равномерные шкалы, обозначения осей.	3