



В задаче не требуется оценка погрешностей!

Задание

Дисперсией называется зависимость показателя преломления материала от длины волны проходящего через него света. Для большинства прозрачных стекол показатель преломления изменяется во всем видимом диапазоне длин волн (от синего света до красного) в небольших пределах. Поэтому в большинстве задач показатель преломления для разных длин волн считается одинаковым. Будем называть такой показатель преломления эффективным.

1. Измерьте эффективный показатель преломления стеклянной призмы. В этой части задачи не следует усреднять показатель преломления для разных источников света, достаточно измерения для любого из них.
2. Определите разность показателей преломления для света красного и синего светодиодов. Укажите, какой из показателей преломления больше.

Примечания.

1. Резать коробку запрещено!
2. Протрите тканью прозрачные грани призмы, если на них остались отпечатки пальцев.
3. Светодиоды полярны. Если светодиод не горит, попробуйте поменять полярность его подключения к батарейке.
4. Углы треугольника в сечении призмы немного отличаются от 60° . В расчетных формулах это учитывать не нужно, но повторяйте свои измерения для трёх граней и усредняйте результаты расчетов.

Оборудование. Светодиод красный, светодиод синий, батарейный отсек с 2 батарейками АА, дисперсионная призма, бумага, ножницы, малярный скотч, линейка 50 см, мерная лента, соединительные провода, картонная коробка.

Решение

Наклеим с помощью скотча на одну из граней призмы небольшой кусочек бумаги с нарисованной линией так, чтобы она оказалась параллельно длинному ребру призмы и посередине грани. Соберем установку, изображенную на рисунке 1. Призму положим на поверхность стола одной из длинных граней так, чтобы грань с нарисованной линией была дальней от наблюдателя (в дальнейшем задняя грань). Для последующего измерения углов наклона световых лучей, выходящих из ближней к наблюдателю грани призмы (далее передней грани), будем использовать мерную ленту и линейку: первую расположим вдоль поверхности стола, а вторую — перпендикулярно ей.

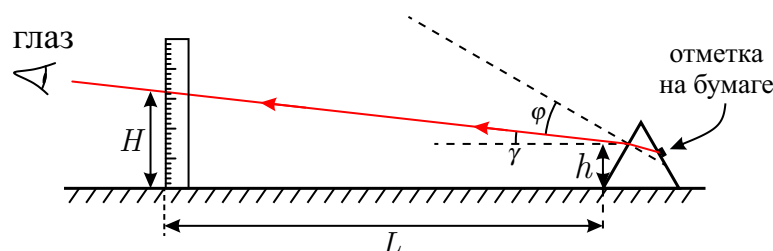


Рис. 1. Общий вид установки.

Свет от источника, расположенного за дальней гранью призмы, попадает на заднюю грань призмы и рассеивается бумагой под всеми возможными углами. При попадании этого света в призму, направления преломленных лучей будут лежать внутри конуса с половинным углом раствора, равным углу полного внутреннего отражения для границы сред воздух — стекло (см. схему лучей на рисунке 2):

$$\sin \alpha_{\text{кр}} = \frac{1}{n_{\text{эфф}}}.$$

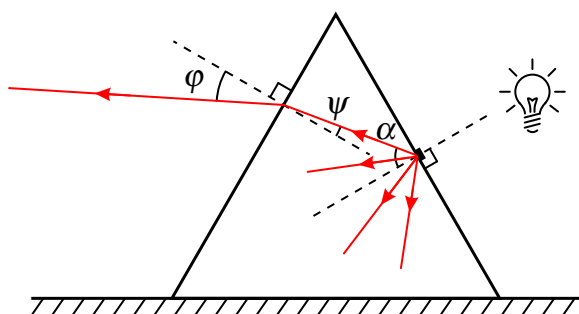


Рис. 2. Схема световых лучей внутри призмы.

После этого часть лучей будет попадать на переднюю грань призмы и преломляться. Эти лучи формируют изображение линии, нарисованной на задней грани призмы. Луч, преломленный на задней грани призмы под углом полного внутреннего отражения $\alpha_{\text{кр}}$, определяет крайнее направление луча, при котором изображение горизонтальной линии пропадает. Для определения этого направления (угол γ) будем измерять показание H и

h линейкой, совмещая риски линейки и изображение нарисованной линии. Расстояние L между точками на которых определяем H и h определим с помощью мерной ленты. Тогда для угла γ можно записать:

$$\tan \gamma = \frac{H - h}{L},$$

однако непосредственный расчет угла γ далее производиться не будет, за ненадобностью промежуточных вычислений. Синус угла φ определяется через измеренные следующим образом:

$$\sin \varphi = \sin (30^\circ - \gamma) = \frac{\cos \gamma - \sqrt{3} \sin \gamma}{2} = \frac{L - \sqrt{3}(H - h)}{2\sqrt{L^2 + (H - h)^2}}.$$

Угол полного внутреннего отражения $\alpha_{\text{кр}}$ связан с углом φ законом Снеллиуса, записанным для преломления на передней грани призмы:

$$\sin \varphi = n_{\text{эфф}} \sin \psi = n_{\text{эфф}} \sin(60^\circ - \alpha_{\text{кр}}) = n_{\text{эфф}} (\sin 60^\circ \cos \alpha_{\text{кр}} - \cos 60^\circ \sin \alpha_{\text{кр}}) = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{n_{\text{эфф}}^2 - 1} - \frac{1}{2}.$$

Где было использовано, что

$$n_{\text{эфф}} \sin \alpha_{\text{кр}} = 1$$

.

После математических преобразований получим выражение для показателя преломления:

$$n_{\text{эфф}} = \sqrt{1 + \frac{1}{3} (1 + 2 \sin \varphi)^2}.$$

Проведенные измерения дают следующие значения для разных граней призмы:

L , см	h , см	H , см	n
80.0	0.5	6.8	1.468
80.0	0.5	5.0	1.485
80.0	0.5	6.0	1.475

$$n_{\text{эфф}} = 1.476 \pm 0.006$$

Модификация установки для измерений во втором пункте является достаточно простой (см. рисунок 3). Установим у задней грани призмы светодиод, который будет освещать нарисованную линию и область рядом с ней. Призму и светодиод накроем коробкой, сделав в ней предварительно окно для наблюдения изображения линии на передней грани призмы. В этом случае на заднюю грань призмы будет попадать свет только от светодиода.

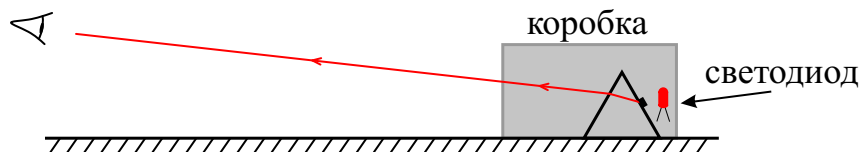


Рис. 3. Модификация установки для измерения дисперсии призмы.

Проведем измерения аналогичные первому пункту, не меняя положения призмы и линии на задней грани при замене светодиода. Проведем измерения для всех трех граней и усредним разность.

L , см	h , см	$H_{\text{кр}}$, см	$H_{\text{с}}$, см	$\Delta n = n_{\text{с}} - n_{\text{кр}}$
80	0.8	4.6	3.7	0.009
80	0.8	5.0	3.9	0.010
80	0.8	4.8	3.5	0.013

После усреднения получаем:

$$\Delta n \approx 0,011$$

В области прозрачности стеклянная призма обладает нормальной дисперсией (большим длинам волн соответствует меньший показатель преломления), что согласуется с результатами эксперимента: для синего света показатель преломления больше, чем для красного.