

Рис. 3

стола до этих точек, расстояние  $L$  от бутылки до стены, куда падает луч, и высоту  $H_3$  (см. рис.2). Для расчетов понадобится и диаметр бутылки  $d$ , который проще всего измерить с помощью угольника и линейки (рис.3).

Теперь надо провести несколько измерений и заполнить таблицу:

$d$ , мм	$H_1$ , мм	$H_2$ , мм	$H_3$ , мм	$L$ , мм	$\alpha = \arctg \frac{H_3 - H_2}{L}$	$\gamma = \arctg \frac{H_2 - H_1}{d}$	$\sin \alpha$	$\sin \gamma$
$99 \pm 1$	$174 \pm 2$	$215 \pm 2$	$508 \pm 5$	$574 \pm 2$	$\alpha_{\text{мин}} = 26,4^\circ$ $\alpha_{\text{макс}} = 27,7^\circ$	$\gamma_{\text{мин}} = 20,3^\circ$ $\gamma_{\text{макс}} = 24,6^\circ$	0,44–0,46	0,35–0,42

Отметим, что после смены очередного угла падения легче не целиться в предыдущее осевое сечение, а искать его заново, двигая бутылку.

Получив данные при нескольких углах, постройте график зависимости угла преломления от угла падения (по Птолемию) и график зависимости синуса угла преломления от синуса угла падения (по Снеллиусу). Не забудьте отложить на этих графиках ошибки измерений. Не вдаваясь в теорию экспериментальных ошибок, будем считать, что значение угла может иметь максимальное и минимальное значения. Если, скажем, угол падения вы определяете по его тангенсу, то оцените, в каких пределах могут лежать длины катетов (цена деления прибора плюс ошибка процедуры фиксирования начала и конца измеряемого отрезка) соответствующего треугольника. Максимальное значение тангенса угла получается делением максимальной длины противолежащего катета на минимальное значение прилежащего катета. По таблицам или на калькуляторе находится соответствующее максимальное значение угла  $\alpha$ . Аналогично рассчитывается и минимальное значение угла  $\alpha$ .

На рисунках 4 и 5 приведены типичные графики, получаемые в таких измерениях. Видно, что отклонение от закона преломления Птолемия превышает экспериментальную ошибку

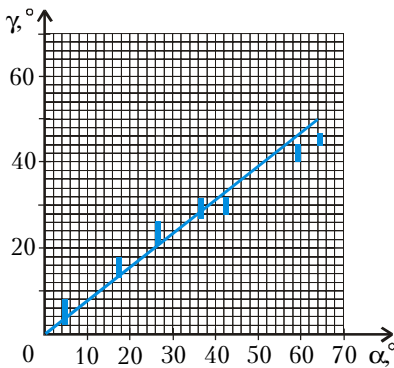


Рис. 4

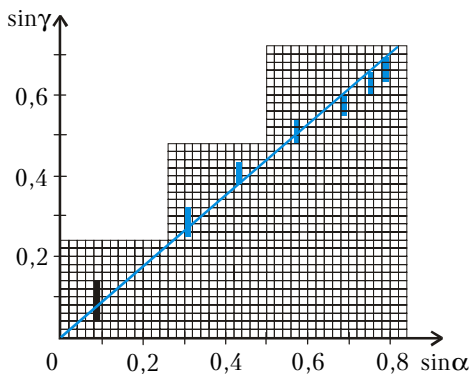


Рис. 5

ку только при больших углах падения. Если этих измерений недостаточно или они проведены с большой ошибкой, то следует подумать, как уменьшить эту ошибку. Как видно из графика, ошибка особенно велика при определении угла преломления в воде. Это связано с тем, что луч лазера имеет конечную ширину. При малых  $\gamma$  для определения тангенса этого угла приходится использовать разность высот  $H_2 - H_1$ , которая мала (луч слабо отклоняется по вертикали внутри бутылки). Сами же значения  $H_2$  и  $H_1$  имеют конечную ошибку, связанную с шириной луча. При больших значениях  $\gamma$  разность  $H_2 - H_1$  растет, но при этом выходное пятно

на высоте  $H_2$  существенно уширяется. С этим увеличением расходимости выходящего пучка света связана точность в определении  $H_3$ , а следовательно, и  $\tg \alpha$  при больших углах падения. Исправить ситуацию можно, увеличив диаметр бутылки, например взяв десятилитровую бутылку (они сейчас тоже появились в продаже).

Имея в руках лазер, можно добиться еще более четкого доказательства отклонения от закона Птолемия  $\alpha/\gamma = n$ . Например, изучив преломление на границах, образованных стеклянными торцами стекла для книжных полок, где при достаточной прозрачности торца можно умудриться одновременно увидеть и луч падающий, и луч преломленный (рис.6). На рисунках 7 и 8 приведены графики, демонстрирующие, насколько данные, полученные при преломлении луча лазера на торцевых гранях листа оргстекла размером  $35 \times 40$  см, соответствуют закону Птолемия и Снеллиуса. За счет значительных расстояний, которые луч проходит внутри оргстекла, удается существенно снизить ошибку измерения угла преломления  $\gamma$ . По этим графикам можно утверждать, что начиная с  $\alpha = 45^\circ$  наблюдается отклонение от закона Птолемия. При меньших углах для отклонения от этого закона требуется проведение измерений углов с точностью выше 1%, что с данным оборудованием невозможно.

Если вы пришли к выводу, что закон Снеллиуса более соответствует экспериментальной зависимости, то из графиков на рисунках 5 и 8 логично получить коэффициенты преломления  $n$  воды (или другой жидкости, заполняющей бутылку) и оргстекла. Проведение прямых, прохо-

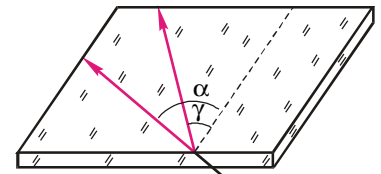


Рис. 6

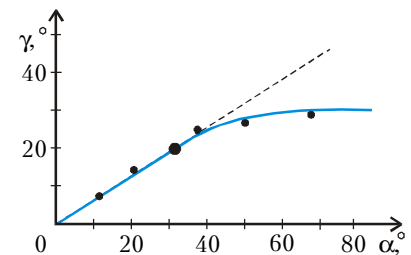


Рис. 7

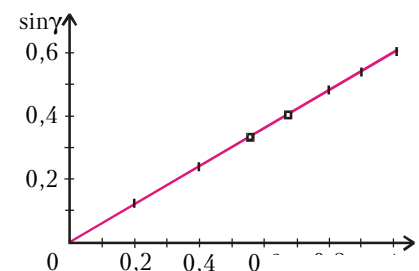


Рис. 8