

**МУССИЛ В.В.**

канд. физ-мат.наук, доц. НТУ «ХПИ»

**ПИЛИПЕНКО В.В.**, канд. физ-мат.наук, доц. НТУ «ХПИ»**ЛЕМШЕВСКАЯ Е.Т.**, канд. физ-мат.наук, доц. НТУ «ХПИ»,**КЕРЕМЖАНОВ К.Д.**, студент, НТУ «ХПИ»

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЗРАЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КЮБЕТ.

Пропонується простий метод вимірювання показника заломлення рідин, які знаходяться в тонкостінних кюветах циліндричної форми будь-якого діаметра. В основі методу лежить явище заломлення світла в циліндричних лінзах. Для його реалізації використовується система регулярно розташованих в площині ліній, які спостерігають через циліндр з рідиною в монохроматичному світлі. Зображення ліній повернуті відносно початкової орієнтації, а кут повороту однозначно пов'язаний з показником заломлення рідини.

The simple method of measuring of index of refraction of liquids being found in the thin-walled cuvettes of cylindrical form of arbitrary diameter is offered. The phenomenon of refraction of light in cylindrical lenses lies in the basis of method. For his realization the system is used regularly located in a plane lines which are observed through a cylinder with a liquid in the monochromatic light. Image of lines are turned in relation to the primary orientation, and the corner of turn is simply related to the index of refraction of liquid.

Показатель преломления вещества  $n$  является одним из важнейших его параметров. Измерение показателя преломления нашло широкое применение при определении структуры вещества, а также для контроля качества и состава различных веществ в химической, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности. Существует много методов определения показателя преломления жидкостей, но, как правило, они требуют использования промышленных приборов, которые называют рефрактометрами [1].

В данной работе предлагается простой метод определения показателей преломления жидкостей, находящихся в тонкостенных ( $\sim 0,5$  мм) пробирках цилиндрической формы. В основе метода лежит явление преломления света в цилиндрических линзах [2], суть которого понятна из рис.1. Если прямая линия образует угол  $\alpha$  с осью цилиндра, то изображение линии поворачивается на угол  $\delta$  при наблюдении этой прямой через кювету с жидкостью. Угол поворота  $\delta$  однозначно связан с углом  $\alpha$  и показателем преломления жидкости  $n$ , находящейся в кювете:

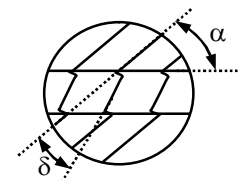


Рис. 1. Измерение  $n$  по углу поворота  $\delta$  изображения линии.

$$\delta = \arctg \left[ \frac{n}{2-n} \operatorname{tg} \alpha \right] - \alpha, \quad (1)$$

откуда следует, что

$$n = \frac{2 \cos \alpha \cdot \sin(\delta + \alpha)}{\sin(2\alpha + \delta)}. \quad (2)$$

Таким образом, как видно из формулы (2), показатель преломления жидкости, которая находится в цилиндре, не зависит от диаметра цилиндра и определяется углами  $\alpha$  и  $\delta$ .

На рис. 2 приведена схема для измерения показателя преломления жидкостей. Рефрактометр содержит источник света 1, расположенный в фокусе объектива коллиматора 2, светофильтр 3. Параллельный пучок лучей, отражаясь от полупрозрачной пластинки 4, попадает на кювету 6, заполненную жидкостью, и освещает транспарант с решеткой 7. Кювета расположена непосредственно на транспаранте и закреплена на трехкоординатном микропозиционере, позволяющем перемещать кювету в различных направлениях.

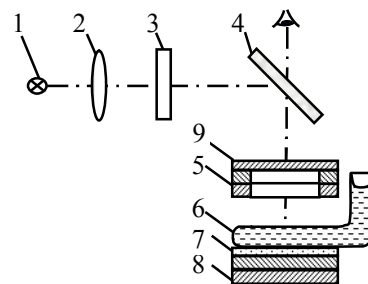


Рис.2. Схема установки для измерения показателя преломления жидкостей.

Транспарант представляет собой круг диаметром 80 мм с системой регулярно расположенных в плоскости линий толщиной 0,3 мм с шагом 5 мм. Транспаранты 7 и 9 выполнены в графической программе на компьютере и напечатаны на лазерном принтере на белом листе 7 и прозрачной пленке 9.

Измерение углов с высокой точностью является сложной задачей, поэтому одним из достоинств метода является необходимость измерения всего двух углов  $\alpha$  и  $\delta$  для определения показателя преломления вещества по формуле 2. Для точного измерения углов используются гониометры 5 и 8 с точностью измерения  $\sim 1'$ .

Цилиндрическую кювету 6 с жидкостью с помощью трехкоординатного микропозиционера устанавливают в поле зрения на столике гониометра 8 с транспарантом 7. Линии транспарантов 9 и 7 параллельны друг другу. Затем нижний транспарант 7 поворачивают так, чтобы образующая цилиндра составляла с линиями решетки заданный угол  $\alpha$  (этот угол определяют по лимбу гониометра 8). Затем верхний транспарант поворачивают так, чтобы линии решетки прозрачного

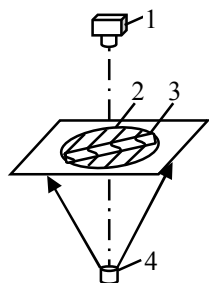


Рис.3. Схема для съемки цифровым фотоаппаратом

верхний транспарант поворачивают так, чтобы линии решетки прозрачного

транспаранта 9 совпадали по направлению с линиями, наблюдаемыми через кювету с жидкостью, и измеряют гониометром 5 угол  $\delta$  поворота изображения линии.

Данный метод можно модифицировать, используя цифровую камеру или цифровой фотоаппарат в схеме, приведенной на рис.3. Для съемки цифровым фотоаппаратом 1 транспарант 2 помещался на стекло вместе с цилиндрической кюветой 3 с жидкостью, показатель преломления которой необходимо определить. Кювета освещалась снизу источником света 4 (см. рис. 3). По полученным снимкам на компьютере с помощью стандартных (например, CorelDRAW, AutoCAD) или специальных программ [3] определялись углы  $\alpha$  и  $\delta$ .

Согласно соотношению (2) показатель преломления может быть определен при любом положении кюветы относительно линий решетки, т.е. при любом угле  $\alpha$  (кроме  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 90^\circ$ , т.к. в этом случае при показателе преломления  $n < 2$  угол поворота  $\delta = 0^\circ$ ). Между этими двумя точками существует такое значение угла  $\alpha = \alpha_{\max}$ , при котором угол поворота  $\delta$  достигает максимальной величины  $\delta_{\max}$ :  $\alpha_{\max} = \arctg \sqrt{\frac{2-n}{n}}$ ,  $\delta_{\max} = \frac{\pi}{2} - 2\alpha_{\max}$ .

Для увеличения точности измерения показателя преломления  $n$  необходимо кювету размещать под углом  $\alpha = \alpha_{\max}$ . Для  $1,3 < n < 1,7$   $\delta_{\max}$  достигается при расположении оси кюветы под углами  $\alpha$  к решетке  $\alpha_{\max} \sim 20^\circ - 30^\circ$  [2].

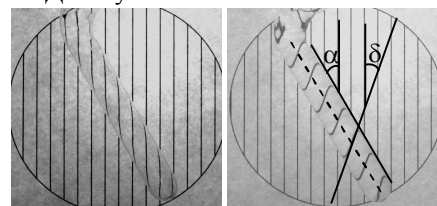


Рис. 4. Кювета без жидкости.

Рис. 5. Кювета, заполненная водой

На рис. 4 приведен снимок цилиндрической кюветы без жидкости, полученный с помощью цифрового фотоаппарата по схеме,

изображенной на рис.3. Изгиб изображения вблизи краев кюветы связан с преломлением стенок цилиндрической кюветы и aberrациями линзы и не зависит от показателя преломления жидкости. Линии, наблюдаемые через кювету, не поворачиваются, т.к. показатель преломления воздуха незначительно отличается от единицы.

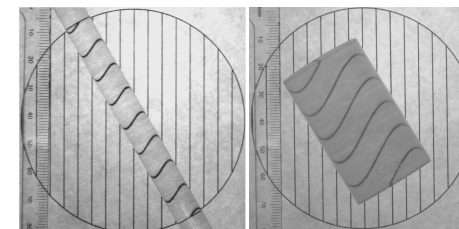


Рис. 6. Стеклянный цилиндр диаметром 10 мм (слева) и цилиндр из органического стекла диаметром 30 мм

При заполнении кюветы жидкостью (рис. 5) изображения линий, наблюдаемых через жидкость, поворачиваются. Из-за изгиба линий изображения вблизи краев кюветы угол отклонения  $\delta$  необходимо измерять

между наблюдаемой через жидкость линией транспаранта и линией, параллельной оси кюветы, т.к. формула (2) справедлива в парааксиальном приближении.

Значения показателей преломления ряда жидкостей (воды, водных растворов сахара и др.), определенных по предлагаемой методике на установке (см. рис.2) и с помощью компьютерных технологий аналогичны и хорошо согласуются с известными данными, а также с результатами измерения  $n$  стандартными методами (например, на рефрактометре типа УРЛ-1). Достижимая точность измерения показателя преломления зависит от точности измерения углов  $\alpha$  и  $\delta$ , и погрешность определения показателя преломления может быть менее  $10^{-3}$  для одного измерения. Если необходимо уменьшить погрешность, можно выполнять несколько измерений пар углов  $\alpha$  и  $\delta$ . Например, при определении показателя преломления воды по цифровым изображениям были получены следующие данные: для  $\alpha = 29,88^\circ$ ,  $\delta = 19,33^\circ$ ,  $n = 1,337$ . Измерение на УРЛ-1 дает значение  $n_c = 1,3329$ .  $\Delta n = n - n_c = 0,004$ .

Для более точного определения углов можно использовать преобразование Хафа [3], которое позволяет в цифровых изображениях идентифицировать прямые. Прямая задается уравнением  $y = kx + b$  и может быть вычислена для любой пары точек на изображении  $(x, y)$ , а коэффициенты  $k$  дают возможность определять необходимые углы. Погрешность определения показателей преломления  $\Delta n$ , связанная с дисперсией, может быть устранена при съемке образца в монохроматическом свете.

Данный метод можно применять для определения показателей преломления прозрачных стержней цилиндрической формы [2]. На рис. 6 представлены изображения линий решетки, испытывающих поворот при наблюдении через цилиндры из стекла и оргстекла. Метод можно применить и к стержням малого диаметра до 1 мм (рис. 7). Стержни меньшего диаметра можно фотографировать с помощью микроскопа. На рис. (рис. 7) приведен пример такой фотографии для стекловолокна диаметром 0,15 мм. Таким образом, мы предлагаем простой метод измерения показателя преломления жидкостей. Схема установки проста, а точность определения показателя преломления достаточна практически для любых требований контроля.

**Список литературы:** 1. Рефрактометрические методы химии / Иоффе Б.В. Л.: Химия, 1983. 344 с. 2. Alonso J., Bernabeu E. A method for the measurement of the refractive index of dielectric cylinders // Pure Appl. Opt. – 1997. – V.6. – p.147 – 152, 3. Tahir Rabbani and Frank van den Heuvel. Efficient Hough transform for automatic detection of cylinders in point clouds // Proceedings of the 11th Annual Conference of the Advanced School for Computing and Imaging (ASCI '05), The Netherlands, June 2005.

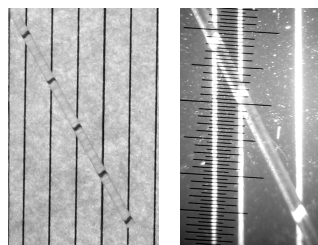


Рис. 7. Стекланный цилиндр диаметром 1 мм (слева) и оптическое волокно диаметром 0,15 мм (справа).