

УДК 535.8

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

© 2011 г. **В. В. Мусси́л**, **В. В. Пилипенко**, **Е. Т. Лемешевская**, **К. Д. Керемжанов**

Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”

Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21

E-mail: 23122012@ukr.net

Поступила в редакцию 29.06.2010 г.

После доработки 01.12.2010 г.

Описывается простой метод измерения показателя преломления жидкостей, заполняющих тонкостенные кюветы цилиндрической формы любого диаметра. В основе метода лежит явление преломления света в цилиндрических линзах. Для его реализации используется система регулярно расположенных в плоскости линий, которые наблюдаются через цилиндр с жидкостью в монохроматическом свете. Изображения линий повернуты относительно начальной ориентации, а угол поворота однозначно связан с показателем преломления жидкости.

Показатель преломления вещества n является одним из важнейших его параметров. Авторами [1] предложен метод измерения показателя преломления в диэлектрических цилиндрах, основанный на явлении преломления света в цилиндрических линзах. В данной работе предлагается расширить этот метод для определения показателей преломления жидкостей, находящихся в тонкостенных (~0.5 мм) пробирках цилиндрической формы. Суть метода понятна из рис. 1.

Если прямая линия образует угол α с осью цилиндра, то изображение линии поворачивается на угол δ при наблюдении этой прямой через кювету с жидкостью. Угол поворота δ однозначно связан с углом α и показателем преломления жидкости n , находящейся в кювете:

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

откуда следует

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

Таким образом, как видно из формулы (2), показатель преломления жидкости в цилиндре не зависит от диаметра цилиндра и определяется углами α и δ .

На рис. 2 приведена схема рефрактометра для измерения показателя преломления жидкостей. Рефрактометр содержит источник света I , расположенный в фокусе объектива коллиматора 2 , светофильтр 3 . Параллельный пучок лучей, отражаясь от полупрозрачной пластинки 4 , попадает на кювету $б$, заполненную жидкостью, и освещает транспарант с решеткой 7 . Кювета расположена непосредственно на транспаранте и закреплена

на трехкоординатном микропозиционере, позволяющем перемещать кювету в различных направлениях.

Транспарант представляет собой круг $\varnothing 80$ мм с системой регулярно расположенных в плоскости линий толщиной 0.3 мм с шагом 5 мм (рис. 1). Транспаранты 7 и 9 выполнены с помощью графической программы на компьютере и напечатаны на лазерном принтере на белом листе (7) и прозрачной пленке (9).

Измерение углов с высокой точностью – сложная задача, и одним из достоинств метода

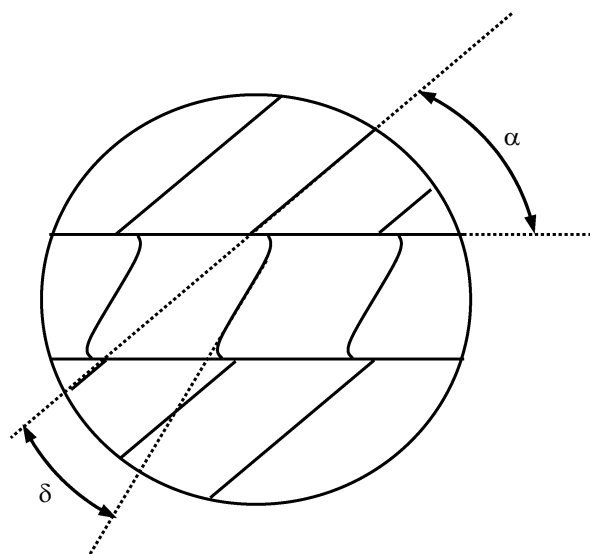


Рис. 1. Изображение преломления света в цилиндрических линзах.

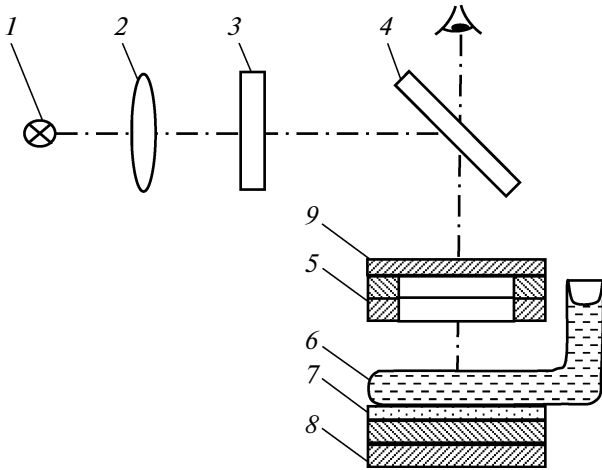


Рис. 2. Схема установки для измерения показателя преломления жидкостей. 1 – источник света; 2 – коллиматор; 3 – светофильтр; 4 – полупрозрачная пластинка; 5, 8 – гониометры; 6 – кювета с жидкостью; 7, 9 – транспаранты соответственно на белом листе и прозрачной пленке.

является то, что измерения всего двух углов α и δ достаточно для определения показателя преломления вещества по формуле (2). Для точного измерения углов в экспериментальной установке используются гониометры 5 и 8 с погрешностью 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 α (этот угол определяют по лимбу гониометра 8). Затем 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 δ поворота изображения линии.

Согласно соотношению (2), показатель преломления может быть определен при любом положении кюветы относительно линий решетки, т.е. при любом угле α (кроме $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$, так как 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 δ достигает максимальной величины δ_{\max} :

$$\alpha_{\max} = \arctg \sqrt{\frac{2-n}{n}},$$

$$\delta_{\max} = (\pi/2) - 2\alpha_{\max}.$$

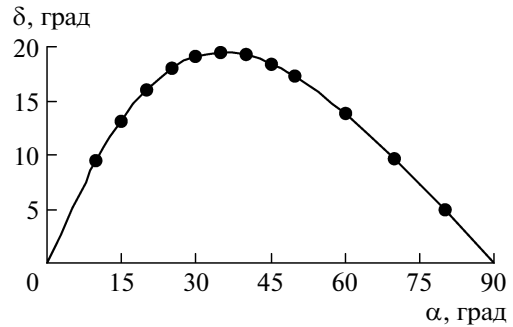


Рис. 3. Зависимость угла поворота δ изображения линии от угла между осью кюветы и линией транспаранта α для воды. Точки – экспериментальные данные; сплошная линия – расчет для $n = 1.3329$.

Для повышения точности измерения показателя преломления n необходимо кювету размещать под углом $\alpha = \alpha_{\max}$. Для $1.3 < n < 1.7$ достигается δ_{\max} при расположении оси кюветы под углами к решетке, равными $\alpha_{\max} \sim 20^\circ - 30^\circ$ [2].

На рис. 3 приведены зависимости углов δ от α : точки – полученная на экспериментальной установке для воды; сплошная линия – рассчитанная по уравнению (1) для значения показателя преломления $n = 1.3329$, который определялся по рефрактометру УРЛ-1 [2].

Данный метод можно модифицировать в экспресс-метод определения показателя преломления жидкости, используя цифровую камеру или цифровой фотоаппарат, как показано на рис. 4. 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 монохроматическим источником света 4. По полученным снимкам на компьютере с помощью стандартных (например, CorelDRAW, AutoCAD) или специальных программ определялись углы α и δ .

На рис. 5а приведен цифровой снимок цилиндрической кюветы без жидкости, полученный с помощью вышеприведенной схемы. Изгиб изображения вблизи краев кюветы связан с преломлением в стенках цилиндрической кюветы и аберрациями линзы и не зависит от показателя преломления жидкости. Линии, наблюдаемые через кювету, не поворачиваются, так как в кювете находится воздух.

При заполнении кюветы жидкостью (рис. 5б) изображения линий, наблюдаемых через жидкость, поворачиваются. Из-за изгиба линий изображения вблизи краев кюветы угол отклонения δ необходимо измерять между линией транспаранта и линией, наблюдаемой через жидкость, на оси

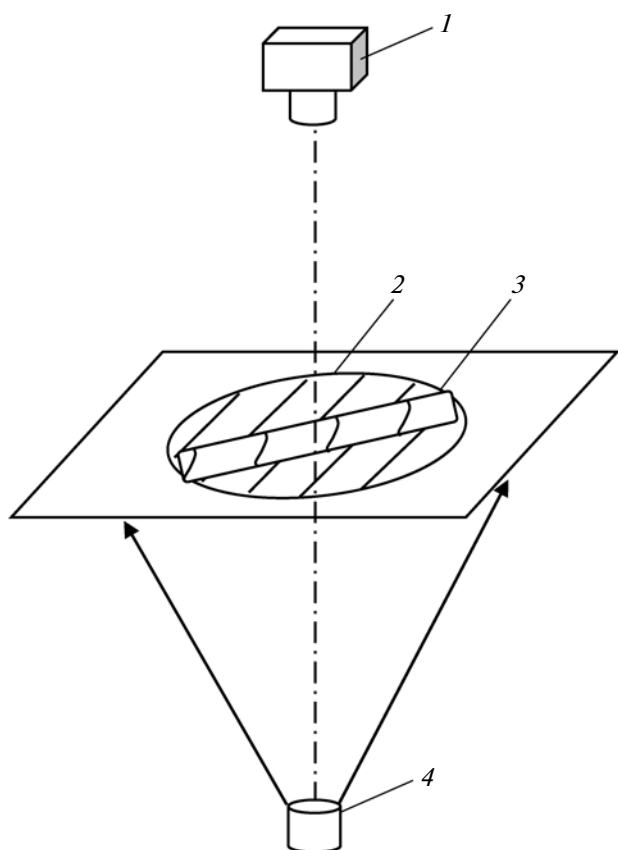


Рис. 4. Схема для съемки кюветы с жидкостью на прозрачном цифровом фотоаппарате. 1 – цифровой фотоаппарат; 2 – прозрачный материал; 3 – цилиндрическая кювета с жидкостью, 4 – монохроматический источник света.

кюветы, так как формула (2) справедлива в параксиальном приближении.

Значения показателей преломления ряда жидкостей (воды, водных растворов сахара и др.), определенных по описываемой методике на экспериментальной установке и с помощью компью-

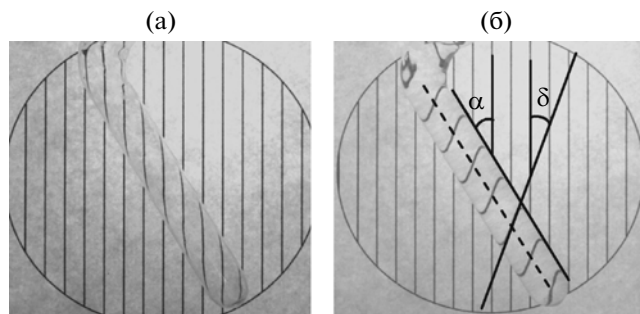


Рис. 5. Цифровые снимки кюветы без жидкости (а) и кюветы, заполненной водой (б).

терных технологий, аналогичны и хорошо согласуются с известными данными, а также с результатами измерения n стандартными методами (например, на рефрактометре УРЛ-1). Точность измерения показателя преломления зависит от точности измерения углов α и δ ; погрешность определения показателя преломления может достигать $<10^{-3}$ для одного измерения. Если необходимо уменьшить погрешность, можно выполнять несколько измерений пар углов α и δ .

Например, при определении показателя преломления воды по цифровым изображениям получены следующие данные: для $\alpha = 29.88^\circ$, $\delta = 19.33^\circ$, $n = 1.337$. Измерение на УРЛ-1 дает значение $n_c = 1.3329$. В данном примере углы α и δ определялись с погрешностью до 0.01° : $\Delta n = n - n_c = 0.004$.

Погрешность определения показателей преломления Δn , связанная с дисперсией, устраняется при съемке образца в монохроматическом свете.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Alonso J., Bernabeu E.* // Pure Appl. Opt. 1997. V. 6. P. 147.
2. Рефрактометрические методы химии / Под ред. Б.В. Иоффе. Л.: Химия, 1983.