

ЛАБОРАТОРНА ПОСТАНОВКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ КОЕФИЦИЕНТА НА ПРЕЧУПВАНЕ НА СВЕТЛИНАТА

Здравка Николаева, Димо Христов*, Руси Павлов
*Университет по хранителни технологии, Пловдив

A LABORATORY SET-UP FOR DETERMINATION OF THE LIGHT'S REFRACTION COEFFICIENT

Zdravka Nikolaeva, Dimo Hristozov*, Rusi Pavlov
E-mail: burievazdr@yahoo.com

ABSTRACT

In this paper we examine a new laboratory set-up. This set-up has possibilities to determine the light's refraction coefficient of solids (plexiglass) and solutions as well. In our experiments we use water solutions with different volume concentration of sugar. We also make a correction due to the thickness of the plexiglass wall of the solution container, which raise the accuracy of the measurements. Our results are in very good agreement with the Abbe refractor measurement.

The laboratory data are calculated and graphically presented with a computer.

This new laboratory experiment that we offer was successfully tested in the lab exercise with chemistry major students at our University.

Key words: refraction, the light's refraction coefficient, Abbe refractor, water sugar solutions, plexiglass

ВЪВЕДЕНИЕ

При преминаване на светлината от една среда в друга, на границата между тях става пречупване на светлинния лъч [2–5]. Законът на Снелиус за пречупване на светлината е:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (1)$$

където: α – ъгъл на падане; β – ъгъл на пречупване; v_1 , v_2 – скоростите на разпространение на светлината съответно в първата и втората среда; n_{21} – относителен коефициент (показател) на пречупване на втората среда спрямо първата; n_1 и n_2 са абсолютните коефициенти (показатели) на пречупване съответно на първата и втората среда.

Рефрактометрите са оптични апарати за измерване коефициента (показателя) на пречупване в твърди, течни и газообразни среди в различни участъци от спектъра на оптичното излъчване. Много разпространен в научната практика е рефрактометъра на Аббе, при който по измерване граничния ъгъл на пълното вътрешно отражение се намира n_2/n_1 , а оттам единият показател при известен друг.

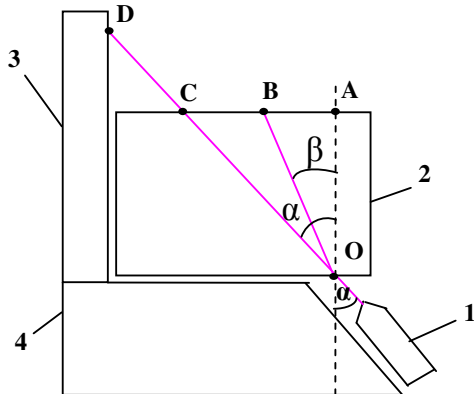
Предлагаме нова лабораторна постановка, с която лесно и нагледно се определя показателя на пречупване на твърди прозрачни тела и се изследва зависимостта на показателя на пречупване от концентрацията на прозрачни разтвори с точност $\Delta n = \pm 0,01$. Проведени са измервания на захарни разтвори, дестилирана вода и плексиглас при две различни температури. Принципът на действие на лабораторната постановка се основава на закона на Снелиус. От авторите е направена теоретична корекция, при която се отчита дебелината на стените на плексигласовата ваничка при разтвори.

Постановката е подходяща и за упражнение от лабораторния практикум.

ЕКСПЕРИМЕНТ

На фиг. 1 е показана създадената от нас постановка за определяне показателя на пречупване. Лабораторното устройство се състои от клонки 3 и 4, закрепени под прав ъгъл. Клонката 4 е косо срязана и по образуваната вертикална равнина се опира цилиндричното тяло на лазерната показалка 1. Изследваното правоъгълно прозрачно тяло (например плексиглас) или ваничка с прозрачна течност (вода, захарен разтвор, спирт)

разтвор, разтвор на глицерол и др.), с цел определяне на n , се поставят между клонките 3 и 4, под които има милиметрова хартия. Косо срязаната вертикална равнина на 4 осигурява стабилно позициониране и добро визуализиране на лазерния лъч от 1 по отсечката OD, лежаща в направлението на този лъч. За описаното устройство това направление е еднакво за всички изследвани вещества. Добре се виждат и пречупените лазерни лъчи. Елементите на устройството са дадени на фигурата като проекции в равнината на чертежа.



Фиг. 1. Постановка за определяне показателя на пречупване.

С описаната експериментална постановка може да се определи показателя на пречупване на твърдо прозрачно тяло и на прозрачни течности. Изготвя се пластинка с дебелина минимум 10 mm и с правоъгълно сечение (например от плексиглас). Двете противоположни стени на пластинката, през които лазерния лъч влиза и излиза от нея, са добре шлайфани. Другите две стени опират клонките 3 и 4. С буквата O е отбелязана точката, в която лазерният лъч от 1 пада към долната (входната) стена на 2. Върху милиметровата скала се означава и C – точката от горната стена на 2, която точка е по направлението на падащия лъч. От точка O се прекарва перпендикуляра OA между горната и долната стени. Нанася се и точка B, която отчита положението на пречупения от твърдото тяло лъч.

Законът на Снелиус може да се изрази чрез заместване на синусите на падащия и пречупен лъч от съответните правоъгълни триъгълници ΔOAC и ΔOAB :

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{AC/OC}{AB/OB} = \frac{AC \cdot OB}{OC \cdot AB} \quad (2)$$

От формула (2) коефициентът на пречупване се пресмята чрез непосредствено измерване на AC , OB , OC и AB . Може да се докаже,

че за случая комбинираната стандартна относителна неопределеност ε (относителната грешка) се пресмята по формулата:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta AC}{AC}\right)^2 + \left(\frac{\Delta OB}{OB}\right)^2 + \left(\frac{\Delta AB}{AB}\right)^2 + \left(\frac{\Delta OC}{OC}\right)^2}$$

Комбинираната неопределеност Δn , с която се извършва едно измерване на показателя на пречупване, се намира от:

$$\Delta n = \varepsilon \cdot n \quad (3)$$

За милиметровата скала абсолютната грешка (комбинираната неопределеност) $\Delta AC = \Delta OB = \Delta OC = \Delta AB = 1 \text{ mm}$ (най-малкото деление по скалата).

Да разгледаме преминаване на електромагнитна вълна през плоскопаралелна пластинка (фиг. 2) с дебелина d .

От фигурата: $K_2K_3 = p$ – отместване от направлението на разпространение на лъча; ΔS – отместване по направление перпендикулярно на пластинката.

Разглеждаме $\Delta K_1K_2K_3$ и $\Delta K_1K_2K_5$:

$$\frac{p}{K_1K_2} = \sin(\alpha - \beta) \quad (4)$$

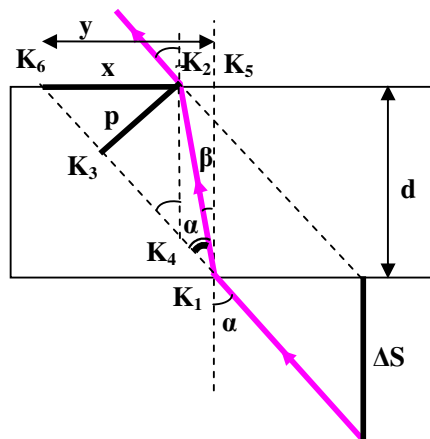
$$\frac{d}{K_1K_2} = \cos \beta \Rightarrow K_1K_2 = \frac{d}{\cos \beta} \quad (5)$$

От уравнения (4) и (5) за отместването на лъча, се получава:

$$p = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \quad (6)$$

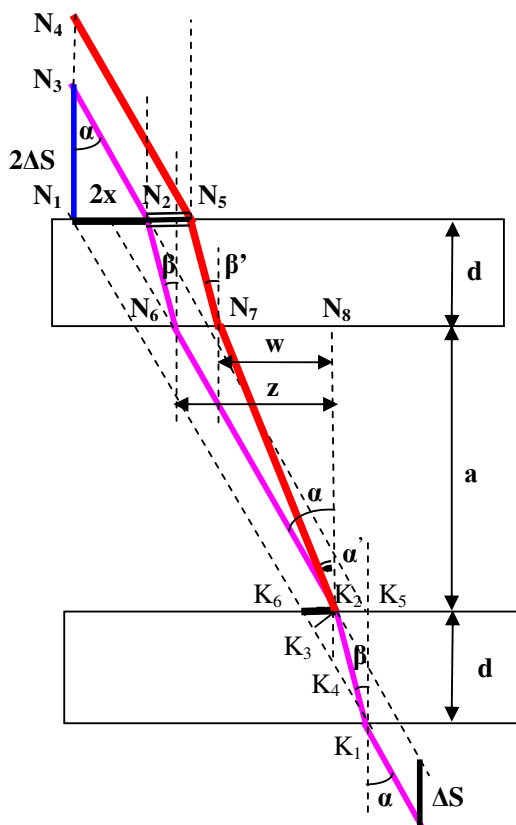
От $\Delta K_2K_3K_4$ и уравнение (6) за отместването ΔS по направление перпендикулярно на пластинката, се получава:

$$\Delta S = \frac{p}{\sin \alpha} = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\sin \alpha \cdot \cos \beta} \quad (7)$$



Фиг. 2. Отместване на лъча през плоскопаралелна пластинка.

Предлагаме за **по-голяма точност** при пресмятането на показателя на пречупване да се отчете **дебелината на стените на плексигласовата ваничка d** (фиг. 3).



Фиг. 3. Отместване на лъча при преминаване през двете стени на плексигласовата ваничка.

На фиг. 3 лъча $K_1K_2N_2N_3$ е за празна ваничка, а лъча $K_1K_2N_5N_4$ е за пълна с дестилирана вода или разтвор с определена обемна концентрация ваничка.

Разглеждаме $\Delta K_1K_3K_6$:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{d} \Rightarrow y = d \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

От $\Delta K_1K_3K_2$:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{K_2K_5}{d} \Rightarrow K_2K_5 = d \cdot \operatorname{tg} \beta$$

От тук корекцията x за едната пластинка е:

$$x = y - K_2K_5 \quad (8)$$

Светлинният лъч преминава през двете пластинки и затова **общата корекция** е:

$$2x = 2 \cdot (y - K_2K_5) \quad (9)$$

Корекцията (9) се добавя при измерване на отсечките OB и AB с опитната постановка от фиг. 1.

Може да се изчисли и отместването на лъча $z - w$ съответно за дестилирана вода и 20 %, 40 %, 60 % и 80 % захарни разтвори.

За дестилирана вода от закона на Снелиус при преминаване на лъча през пластинката и водата:

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha'} = \frac{n_2}{n_1} \quad (10)$$

където: β – в случая е ъгъл на падане, а α' – ъгъл на пречупване; n_1 – коефициент на пречупване на плексигласа, а n_2 – коефициент на пречупване на дестилираната вода при съответната температура.

От формула (10) се определя ъгълът α' .

За другата стена на плексигласовата ваничка:

$$\frac{\sin \alpha'}{\sin \beta'} = \frac{n_1}{n_2} \quad (11)$$

От (11) се определя ъгълът β' .

Разглеждаме $\Delta K_2N_6N_8$:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{z}{a} \Rightarrow z = a \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (12)$$

където: a – разстояние между двете стени на плексигласовата ваничка.

От $\Delta K_2N_7N_8$:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{w}{a} \Rightarrow w = a \cdot \operatorname{tg} \alpha' \quad (13)$$

От (12) и (13) се намира $z - w$.

За обемните концентрации на захарните разтвори се постъпва по подобен начин, но z отчитаме спрямо лъча преминал от предходния захарен разтвор. Така се получава теоретично пресмятане на положението на лъча за различните концентрации.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Показателят на пречупване на твърдо прозрачно тяло (плексигласова пластинка) се определя по формула (2). Експериментът е проведен при две различни температури (20° C и 26° C). Получените данни са представени в таблица 1.

Таблица 1. Показател на пречупване за плексигласова пластинка

t , °C	$n = \frac{AC \cdot OB}{OC \cdot AB}$	ε , %	Δn	P , mm	ΔS , mm
20	1,47	2,7	0,04	21,77	41,02
26	1,45	2,7	0,04	21,46	40,43

Относителната грешка $\varepsilon\%$ се записва с двузначно число (например записваме 2,7 %, а не 2,73076 %), а абсолютната грешка Δn – с еднозначно число (0,04 записваме, а не 0,040031). Полученият показател на пречупване е закръглен според абсолютната грешка, както се изисква в теорията на грешките [6].

Данните за показателите на пречупване n ги използваме по-нататък в нашия експеримент, който проведохме за същите температури (20° C и 26° C).

С предложената опитна постановка експериментът продължава с изследване зависимостта на показателя на пречупване от концентрацията на захарни разтвори. При

опита използвахме обемен концентрации от 20%, 40%, 60% и 80% воден захарен разтвор.

Материалът на ваничките е от същия вид плексиглас.

Таблица 2. Коефициенти на пречупване за различни обемен концентрации на захарен разтвор, изчислени с опитната постановка и рефрактометъра на Аббе.

	Температура °C	AC	OB, mm		OC	AB, mm		n		n
		mm	без корекция	с корекция	mm	без корекция	с корекция	без корекция	с корекция	с Аббе
дестил. вода	20	82	134	135,427	146,5	55	56,427	1,36	1,34	1,3323
	26	82	135	136,407	146,5	56,5	57,907	1,34	1,32	1,3323
20% разтвор	20	82	133	134,427	146,5	53	54,427	1,40	1,36	1,3638
	26	82	134	135,407	146,5	55	56,407	1,36	1,34	1,3605
40% разтвор	20	82	132,5	133,927	146,5	51	52,427	1,45	1,43	1,3997
	26	82	133,5	134,907	146,5	52,5	53,907	1,42	1,40	1,3873
60% разтвор	20	82	131,5	132,927	146,5	49	50,427	1,50	1,47	1,4418
	26	82	132,5	133,907	146,5	51	52,407	1,45	1,43	1,4155
80% разтвор	20	82	130,5	131,927	146,5	46	47,407	1,59	1,56	1,4901
	26	82	131,5	132,907	146,5	48,5	49,907	1,52	1,49	1,4415

Таблица 3. Получени данни за различни обемен концентрации на захарен разтвор и намиране на отместването $z - w$.

	Температура °C	n_2	n_1	α	β	α'	β'	z	w	$z - w$
дестил. вода	20	1,333	1,46	32,0738	21,2381	23,4762	21,2382	53,3906		1,42704
	26	1,3323	1,45	32,0738	21,4068	23,4894	21,4068	53,4239		1,40674
20% разтвор	20	1,333	1,46	32,0738	21,2381	22,9145	21,2383	53,3906	51,9649	1,42574
	26	1,3323	1,45	32,0738	21,4068	22,9741	21,4068	53,4239	52,1153	1,30866
40% разтвор	20	1,333	1,46	32,0738	21,2381	22,2953	21,2377	51,9649	50,4065	1,55837
	26	1,3323	1,45	32,0738	21,4068	22,5057	21,4062	52,1153	50,9339	1,18137
60% разтвор	20	1,333	1,46	32,0738	21,2381	21,6115	21,2383	50,4065	48,6999	1,70662
	26	1,3323	1,45	32,0738	21,4068	22,0328	21,4068	50,9339	49,7492	1,18471
80% разтвор	20	1,333	1,46	32,0738	21,2381	20,8771	21,2382	48,6999	46,8875	1,81244
	26	1,3323	1,45	32,0738	21,4068	21,6161	21,4068	49,7492	48,7116	1,03756

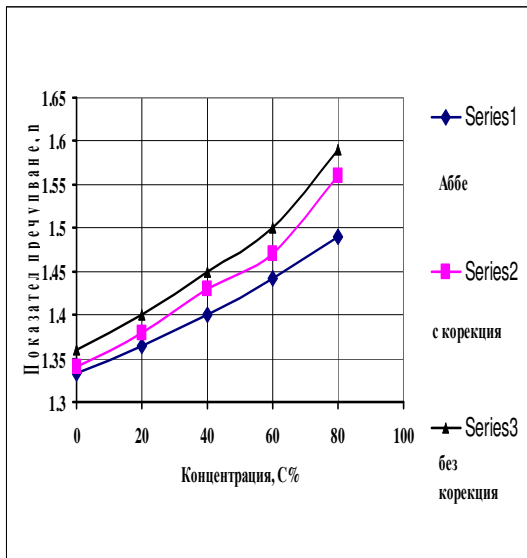
В таблица 2 са дадени изчислените данни за коефициентите на пречупване за дестилирана вода, 20%, 40%, 60% и 80% захарни разтвори, съответно закръглени според абсолютната грешка (тя също се получава до втория знак след десетичната запетая). Сравняваме получените резултати без корекция, с корекция и определените коефициенти с рефрактометър на Аббе. Получените показатели на пречупване с рефрактометъра на Аббе са нанесени в таблицата до четвъртия знак след десетичната запетая, защото е такава точността на този апарат.

От таблица 2 се вижда, че например за дестилирана вода при 20° C за показателя на пречупване без корекция се получава 1,36; с корекция: 1,34; а с рефрактометър на Аббе: 1,3323. Следователно с коригиране на резултата по предложения от авторите начин се постига по-близка и по-точна стойност, до тази получена с по-прецизния метод.

Това сравнение сме представили графично с компютър. На фиг. 4 и фиг. 5 са дадени зависимостта на показателя на пречупване от концентрацията на захарни разтвори при 20° C и 26° C. Междинната крива изобразява показателите на пречупване с предложената корекция, горната – без корекция, а долната – с рефрактометъра на Аббе.

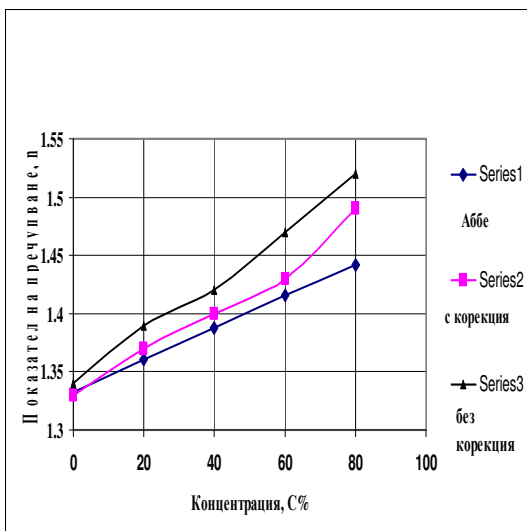
Смятаме, че направената съпоставка е много сполучлива и резултатите са добри в рамките на точността на метода.

В таблица 3 са нанесени някои получени резултати от проведените измервания. Вижда се, че ъгълът на пречупване β през първата плексигласова стена на ваничката е равен на ъгъла на пречупване β' от втората стена на ваничката, както трябва и да бъде. С повишаване концентрацията на разтвора ъгъл α' намалява.



Фиг. 4. Зависимост на показателя на пречупване от концентрацията при 20° С

В таблица 3 сме дали и получените стойности за отместването на лъча $z - w$. Сметките са направени спрямо предходната концентрация. Например за z при 40% захарен разтвор се взима w при 20% захарен разтвор. Получените стойности са малки (~1 mm – 2 mm) и считаме, че с дадената постановка няма да може да се направи добро еталониране на устройството и определяне на неизвестна концентрация.



Фиг. 5. Зависимост на показателя на пречупване от концентрацията при 26° С

Обработката на данните и графиките са направени с продукта Microsoft Excel. Устройството се изпробва и от студентите от специалност “Химия”, първи курс и

предизвика голям интерес. Компютърната обработка засили интереса на студентите и спести време за пресмятане и графично представяне на получените резултати.

ИЗВОДИ

1. Предложената опитна постановка се изготвя с достъпни подръчни материали, лесно се реализира във всеки кабинет по физика и има ниска цена (малко пари). Рефрактометърът на Аббе е скъп и не всеки кабинет или лаборатория по физика може да го закупи.

2. Висока нагледност на нашето лабораторно устройство. Експериментаторът или студентите виждат пряко: лъч на падане, ъгъл на отражение, перпендикуляр към разделителната граница, лъч на пречупване и др. Докато рефрактометра на Аббе или друг подобен апарат има нулева нагледност.

3. Рефрактометърът на Аббе е за научни измервания и се характеризира с висока точност – абсолютната грешка е в четвъртия знак ($\Delta n = 0,0001$), т.е. резултатите се записват с четири цифри след десетичната запетая, например $n = 1,3323$ (за дестилирана вода при 26° С). Нашето експериментално устройство има невисока точност. От получените резултати например за плексигласова пластинка имаме $\Delta n = 0,04$. До втория знак е и грешката при плексигласовата ваничка с разтвори. Затова данните, получени за показателя на пречупване се закръгляват до втория знак, както се вижда от таблици 2 и 3.

4. Точността на измерването се повишава от направената теоретично от авторите корекция, поради дебелината на плексигласовата ваничка.

5. Може да се увеличи точността на устройството (да се намали грешката), ако се увеличат размерите на ваничката, например разстояние между двете плексигласови стени да стане ~ 300 mm. Тогава от формулата за относителната грешка $\varepsilon\%$ е ясно, че ще се увеличат AC , OB , AB и OC . А това значи, че при увеличаване на тези знаменатели на дроби с числител $\Delta AC = \Delta OB = \Delta AB = \Delta OC = 1$ mm, всяка от дробите в

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta AC}{AC}\right)^2 + \left(\frac{\Delta OB}{OB}\right)^2 + \left(\frac{\Delta AB}{AB}\right)^2 + \left(\frac{\Delta OC}{OC}\right)^2}$$

ще намалее. Следователно ще намалее и относителната грешка $\varepsilon\%$, което е и целта. Същото увеличение на точността ще се получи и ако изготвим плексигласова пластинка с по-големи размери.

6. С нашето евтино устройство никога не можем да стигнем рефрактометъра на Аббе! Но с него достигаме, както вече казахме: голяма нагледност и задоволителна точност, която се повишава и от направената корекция на резултата, предложена от авторите. А за целите на учебния процес смятаме, че това не е малко!

7. Смятаме сполучливо сравняването и съпоставянето на данните с рефрактометъра на Аббе и използването на компютър.

8. Може с предложеното устройство като допълнителна задача да се определи скоростта на светлината в различни среди (прозрачно тяло или прозрачни разтвори). Съществува връзката:

$$n = \frac{v_1}{v_2}$$

където v_1 и v_2 са скоростите на светлината, съответно в първата и втората среда.

9. Устройството може да се еталонира. Ъгълът на падане α е постоянна величина, което означава, че и $\sin\alpha$ не се променя, при изследване на различни вещества. От закона на Снелиус (3) следва, че на всяко вещество с някакъв коефициент на пречупване n , съответства определено $\sin\beta$ и β . Ако

използваме вещества с известни n , ще можем по линията с точки А, В, С, да нанесем направо числени стойности на n . Извършено е еталониране, което ни дава възможност при изследване на вещество с неизвестно n , да можем да определим стойността на това n . **Получава се недостатъчно точен рефрактометър, но много нагледен и реализуем с достъпни средства.**

ЛИТЕРАТУРА

1. Уваров, Е., А. Айзакс. *Речник на научните термини*, изд. "Петър Берон", София, 1992.
2. Савельев И. *Курс физики*. изд. "Наука", Москва, 1989, т. II.
3. Детлаф А. и Б. Яворский. *Курс физики*. изд. "Высшая школа", Москва, 1989.
4. Горбан И. *Оптика*. изд. "Наука и изкуство", София, 1986.
5. Джанколи Д. *Физика*. изд. "Мир", Москва, 1989.
6. Худсон Д. *Статистика для физиков*. изд. "Мир", Москва, 1970.

Представена за печат на 01.10.2007 г.