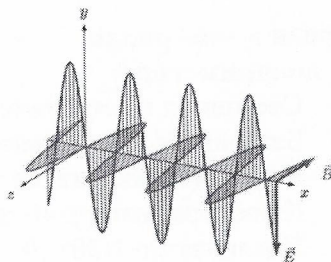


МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА
НАЦИОНАЛЕН КРЪГ, 31 март 2024 г., Враца
Тема 11.-12. клас (пета състезателна група)
Експериментален кръг - Задача 1

Теоретична част

Светлината може да се разглежда като напречна електромагнитна вълна, при която векторите на магнитното $\vec{B}$ и електричното $\vec{E}$ поле трептят перпендикулярно на посоката на разпространение на вълната, и също са перпендикулярни един спрямо друг (виж. Фиг.1). При редица явления се разглежда само електричната компонента $\vec{E}$ на вълната, поради много по-слабото взаимодействие на магнитната компонента с веществото.

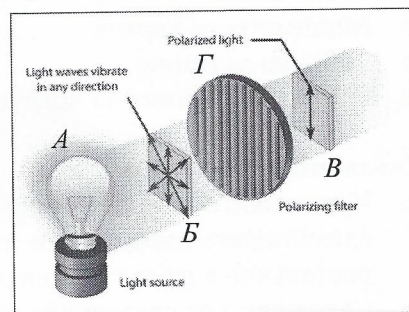


В зависимост от посоката на трептене на електричния вектор има различни видове светлина, някои от по основните са: неполяризирана и линейно поляризирана.

При неполяризираната светлина електричният вектор трепти във всички направления перпендикулярно на посоката на разпространение. Проекцията му върху равнина перпендикулярна на посоката на разпространение е илюстрирана схематично на Фиг.2Б. Оказва се, че светлината от повечето светлинни източници е неполяризирана.

При линейно поляризираната светлина електричният вектор трепти в едно направление перпендикулярно на посоката на разпространение. Проекцията му върху равнина перпендикулярна на посоката на разпространение е илюстрирана схематично на Фиг.2В.

Един начин да се получи линейно поляризирана светлината е при отражение от гладка повърхност на диелектрик при определен ъгъл, например от стъкло при около 56° спрямо нормалата. Направлението на поляризация в този случай е успоредно на отразяващата равнина на диелектрика. Друг начин е като неполяризирана светлина премине през така наречен *поляризатор*, който представлява светлинен филтър от дихроично вещество, като представения на Фиг.2Г. Всеки поляризатор се характеризира с направление на поляризация на светлината. Направлението на поляризирана светлина може лесно да се определи с помощта на поляризатор с известно направление на поляризация. Ако го завъртим така, че направлението на поляризатора е перпендикулярно на поляризацията на светлината то преминалата светлина през него ще има минимален интензитет.



Фиг. 2 А-лампа; Б-неполяризирана светлина; В-линейно поляризирана светлина; Г-поляризатор.

Има вещества, наречени оптично активни, за които ако поляризирана светлина премине през тях, те завъртат нейната поляризация на определен ъгъл спрямо началното направление на поляризация на светлината. Разтвори на някои вещества също имат това свойство, като формулата:

$$\alpha = [\alpha]dC$$

дава зависимостта на ъгъла на завъртане на направлението на поляризация на светлината α ,⁰ в зависимост от изминатият път d , в единици m в оптично активното вещество и от масовата концентрация на разтвора C , в единици $\frac{g}{L}$ където коефициентът на пропорционалност е така нареченият *специфичен ъгъл на завъртане* на поляризацията $[\alpha]$, в единици $\frac{0}{m \cdot \frac{g}{L}}$. Някои вещества въртят по посока на часовниковата стрелка, а други обратно на часовниковата

стрелка. За измерване на концентрация на различни вещества са създадени автоматични уреди поляриметри.

Целите в настоящата задача са основно две. Първо, като изследвате зависимостта на ъгъла на завъртане на поляризацията на преминалата през разтвор светлина от концентрацията на разтвора $\alpha(C)$, да определите специфичния ъгъл на завъртане на разтвора $[\alpha]$, като разполагате с разтвор R с известна концентрация на веществото в него. Втората цел е за даден допълнителен разтвор X да определите неизвестната концентрация на разтвореното в него вещество.

Уреди и материали

за поляриметъра:

- Светодиод на стойка (с подвижно магнитно прикрепване към стойката) 1 бр.
- Батерия 9V (захранване за светодиода) 1 бр.
- Кабели (за захранване за светодиода) 2 бр.
- Кювета за разтвор 40 mL (28×25×75 mm - външни размери) 1 бр.
- Поляризатор 1(30×20 mm) със стойка-щипка 1 бр.
- Поляризатор 2(30×15 mm) на ъглова скала с две щипки..... 1 бр.
- Кутия (за измервания на тъмно) 1 бр.
- Милиметрова линия 1 бр.

за изследваното вещество:

- Пипета с помпа (25 mL) 1 бр.
- R –Захарен разтвор с известна концентрация C_R (175 mL)..... 1 бр.
- X - Захарен разтвор с неизвестна концентрация C_X (50 mL) 1 бр.
- Разтворител - бутилка вода (0.5 L) 1 бр.
- Контейнери за разтвори (еместимост 100 mL) 5 бр.
- Бъркалка за разтвор 1 бр.

допълнителни:

- Милиметрова хартия 1 л.
- Таблица за данни 1 л.
- Кухненска хартия (за подсушаване при омокряне) 1 бр.

Указания от общ характер:

- Използвайте предоставената кутия за провеждане на измерванията на тъмно, за да елиминирате паразитното външно осветление. Капака не е нужно да е плътно затворен достатъчно е да се постави леко върху кутията, без притискане.
- Светлината от светодиода е неполяризирана.
- Масовата концентрация на вещество в разтвор се дефинира като:

$$C = \frac{m - \text{маса на разтворено вещество}}{V - \text{обем на разтвора}}, \text{ в единици } \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

- Обемната концентрация на течност A в течност B се дефинира като:

$$C_V, \% = \frac{V_A}{V_A + V_B} \cdot 100$$

Указания за поляризаторите и ъглова скала:

- За по-точно отчитане на ъгли освен основна скала в градуси (0 - 180°) се използва и допълнителна нониусова скала в ъглови минути (0 - 60'), като един градус съдържа шестдесет минути (1° = 60'). Към показанието от скалата с градуси се добавя показанието от скалата с минути. Измерен ъгъл може да запишем в градуси и минути например 5°30', което съответства само в градуси на 5.5°. **Крайният резултат за ъгъл записвайте само в градуси !**
- Как се работи с двете скали:

- Отчитане на показанието от скалата в градусите: Гледа се към кое деление в градуси сочи нулевото деление на минутите! Ако нулата на минутите сочи точно към някое скално деление на скалата в градуси се взема посоченото деление и не се добавят минути, ако обаче нулата на минутите сочи някъде между две деления се взема делението с по-малки градуси и се добавя показанието на минутите.
- Отчитане на показанието от скалата с минутите: Гледат се деленията на скалата с минутите дали съвпадат или се разминават със срещулежащи деления от скалата с градуси. Взема се това деление от скалата с минути, което най-добре съвпада със срещулежащото му деление от скалата в градуси. Винаги има само едно такова деление в минути което най-добре съвпада с деление от срещулежащата скала, а всички останали се разминават.

Указания относно работата с пипетите:

- Пипетата е вмъкната внимателно в помпата, и така сглобени те са готови за работа. Преди засмукване на течност в пипетата, буталото на помпата трябва да е нацяло влязло в помпата (изходна позиция). Засмукването на течност става чрез въртящото се колелце на помпата за пипети (въртене надолу). Изпускането на течността от пипетата става чрез натискане на лостчето, което отваря отвор в помпата за свободно навлизане на въздух в нея. Оставащата капка течност във върха на пипетата може да излезе, като се натисне буталото. След изпускането на течността от пипетата, за ново засмукване с помпата трябва буталото да се бутне в изходна позиция (чрез притискане на самото бутало).
- Не всмуквайте повече течност в пипетата от нейната вместимост, за да не замърсите помпата.
- Преди да започнете работа с пипетите, направете няколко теста на засмукване и изпускане на вода, за да усетите начина на работа с нея.

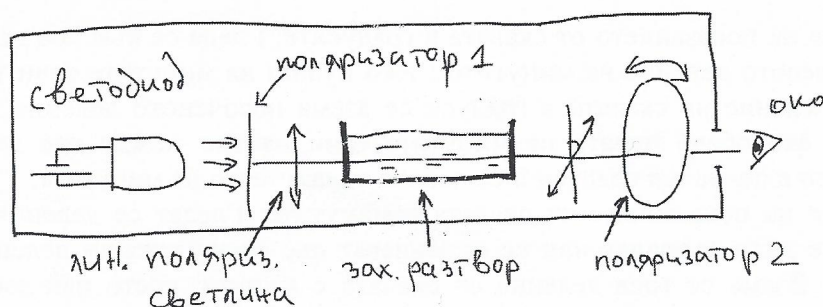
Необходими величини:

- Масовата концентрация на захарния разтвор е $C_R = 600 \pm 1 \text{ g/L}$

Номерируйте страниците на беловата и черновата! Номерируйте решените задачи. Пишете четливо!

Задачи:

1. Изследване на $\alpha(C)$ - ъгъла на завъртане на поляризацията на преминалата през разтвора светлина в зависимост от концентрацията на захарен разтвор. Определяне на специфичният ъгъл на завъртане $[\alpha]$ на захарен разтвор.
 - 1.1. Определете направлението на поляризация на правоъгълните поляризатор 1 и поляризатор 2. Запишете за всеки, по направление на късата или на дългата страна на правоъгълника е. Опишете как сте направили определянето. [2 т.]
Наблюдавам отражението на светодиода от една от стените на стъклената кювета, така че ъгълът на отражение спрямо нормалата да е близо до около 56° . Отразената светлина е с успоредна на отразяващата стена поляризация. Завъртам поляризатора, така че отразената светлина да е минимална. Направлението на поляризация на поляризатора е перпендикулярно на поляризацията на отразената светлина. Направлението на поляризация е по късата страна и на двата поляризатора.
 - 1.2. Начертайте схема на опитната постановка, така че да илюстрира принципа ѝ на работа и да са означени основните ѝ елементи. [2 т.]



- 1.3. Опишете начина, по който планирате да определите ъгъла на завъртане на поляризацията за един разтвор с опитната постановка [2 т.]

Светлината от светодиода преминава през поляризатор 1 при което се поляризира. Минава през изследваната течност при което поляризацията може да се завърти. Поляризатор 2 така се завърта, че наблюдаваната светлина през него да е минимална. Измерва се ъгъла на поляризатор 2 със и без разтворено вещество, съответно α_0 и α . Разликата в двата ъгъла е търсеният ъгъл на завъртане $\alpha = \alpha_0 - \alpha_0$.

- 1.4. Представете зависимостта $\alpha(C)$ в подходящи променливи, така че да е права линия, от която да може да определите търсеният специфичен ъгъл на завъртане $[\alpha]$. [1 т.]

$$\alpha = [\alpha]dC$$

Самата изследвана зависимост е линейна $y = ax$,
като сме означили: $y = \alpha$; $x = C$; $a = [\alpha]d$;

- 1.5. Представете израз, чрез който от изследваната зависимост ще определите търсеният специфичен ъгъл на завъртане на поляризацията $[\alpha]$. [1 т.]

$$[\alpha] = \frac{a}{d}$$

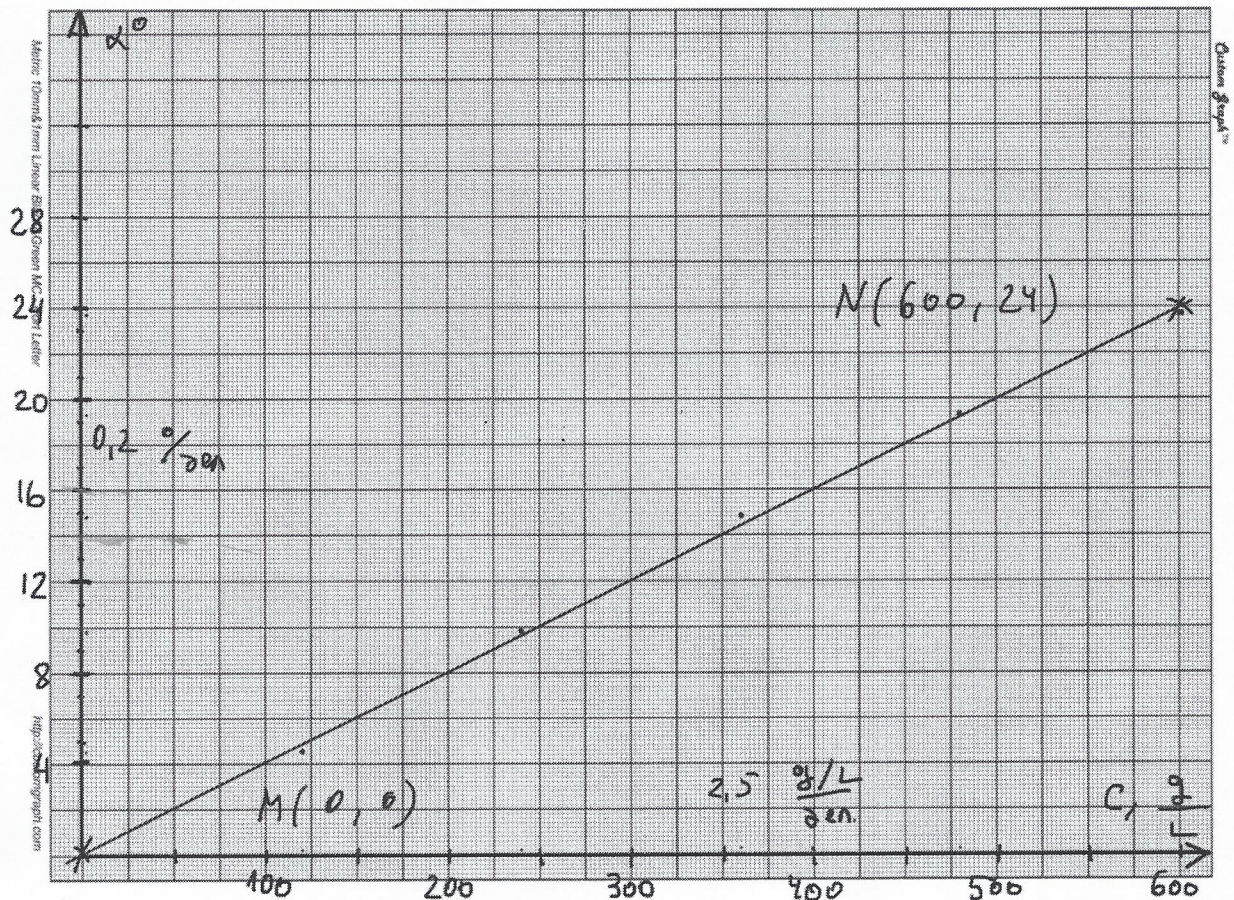
- 1.6. От дадения разтвор R пригответе водни разтвори с обемни концентрации на R съответно, $C_V = 0\%, 20\%, 40\%, \dots, 100\%$. За получените разтвори представете в таблица: i) обемна концентрация $C_V, \%$, ii) използвано количество разтвор R, iii) използвано количество вода, iv) оценка на концентрацията на захарта C в g/L. [2 т.]

$C_V, \%$	разтвор R, mL	H_2O, mL	$C, g/L$
0	0	50	0
20	10	40	120
40	20	30	240
60	30	20	360
80	40	10	480
100	50	0	600

- 1.7. Получете експериментално зависимостта $\alpha(C)$ и я представете в табличен вид. За по-голяма точност на ъглите ползвайте нониуса [2 т.]

i	$C_V, \%$	$C, g/L$	α_i	$\alpha_i, ^\circ$	$\alpha = \alpha_i - \alpha_0, ^\circ$
0	0	0,0	91	0	91,00
1	20	120,0	95	30	95,50
2	40	240,0	100	50	100,83
3	60	360,0	105	50	105,83
4	80	480,0	110	20	110,33
5	100	600,0	114	40	114,67

1.8. Използвайки експерименталните данни от зад.1.7, представете линейната зависимост от зад.1.4. графично. [2 т.]



Точки за графиката се дават ако:

- е използвана цялата площ на листа милиметрова хартия; (0.5 т.)
- по осите на графиката са означени съответните величини и мерни единици; (0.5 т.)
- нанесени са всички точки от табличните данни; (1 т.)

1.9. Определете наклона на линейната зависимост от зад.1.4 и неговите абсолютна грешка и относителна процентна грешка. Представете резултатите по подходящ начин. [2 т.]

$$a = \frac{l_y}{l_x} = \frac{24}{600} = 0.04 \frac{\text{o}}{\text{g/L}} \text{ (0.5 т.)}$$

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta l_y}{l_y} + \frac{\Delta l_x}{l_x} = \frac{0.2}{24} + \frac{2.5}{600} = 0.008 + 0.004 = 0.012 \approx 1.2\% \text{ (0.5 т.)}$$

като за Δl са взети съответните на 1 mm от графиката.

$$\Delta a = \left(\frac{\Delta a}{a}\right) a = 0.012 \times 0.04 = 0.00048 \approx 0.0005 \frac{\text{o}}{\text{g/L}} \text{ (0.5 т.)}$$

$$a = 0.0400 \pm 0.0005 \frac{\text{o}}{\text{g/L}} = 0.0400 \frac{\text{o}}{\text{g/L}} \pm 1.2\% \text{ (0.5 т.)}$$

1.10. Определете стойността на специфичният ъгъл на завъртане на разтвора $[\alpha]$ в $\frac{\text{o}}{\text{m} \cdot \text{g/L}}$. Представете я с оценените ѝ абсолютна и относителна процентна грешки по подходящ начин. [2 т.]

Измерваме размера на кюветата по направлението на който минава светлината $d = 0.073 \pm 0.001 \text{ m}$

$$[\alpha] = \frac{a}{d} = \frac{0.0400}{0.073} = 0.5479 \frac{\text{o}}{\text{m} \cdot \text{g/L}} \text{ (0.5 т.)}$$

$$\frac{\Delta[\alpha]}{[\alpha]} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta d}{d} = 0.012 + \frac{0.001}{0.073} = 0.012 + 0.014 = 0.026 \approx 3\% \text{ (0.5 т.)}$$

$$\Delta[\alpha] = \left(\frac{\Delta[\alpha]}{[\alpha]} \right) [\alpha] = 0.03 \times 0.5479 \approx 0.016 \frac{\text{г}}{\text{мЛ}} \text{ (0.5 т.)}$$

$$[\alpha] = 0.548 \pm 0.016 \frac{\text{г}}{\text{мЛ}} = 0.548 \frac{\text{г}}{\text{мЛ}} \pm 3\% \text{ (0.5 т.)}$$

2. За дадения допълнителен разтвор X определете неизвестната масова концентрация на разтворената в него захар C_X . Опишете накратко направените за целта стъпки. [2 т.]

Измерваме ъгъла на завъртане на поляризацията през неизвестния разтвор $\alpha = 98.0 - 91.0 = 7^\circ$ и заместваме във формулата $\alpha = [\alpha]dC$.

$$C_X = \frac{\alpha}{[\alpha]d} = \frac{7}{0.548 \times 0.073} \approx 175 \frac{\text{г}}{\text{Л}}$$