

в) спільне гніздо “–” і клему “+” конденсатора на 100 мкФ сполучить з входами логічного елемента 1 і логічного елемента 3;

г) контакти резистора (або змінного резистора) на 1 кОм сполучить з входами логічних елементів 1 і 2.

д) за допомогою відповідних шнурів підключить модулі мікросхеми, таймера, лічильника секундоміра або осцилографа до відповідних джерел живлення.

3. Ввімкніть живлення до модулів. За спалахами світлодіоду на виходах логічних елементів 2 і 3 переконайтесь, що генератор функціонує.

4. Встановіть на табло лічильника нулі і натисніть на таймері кнопку “1 с”. Відмітьте зафіксовану кількість імпульсів на лічильнику (частоту генерації імпульсів), дані занесіть до звіту.

5. Виконуючи переключення конденсаторів, повторіть визначення частоти генерації для різних значень ввімкненої ємності.

6. Ввімкніть конденсатор на 1 мкФ і змінний резистор, до виходу генератора приєднайте головні телефони. Ввімкнувши живлення, виконайте зміну частоти генерації шляхом зміни опору – сили струму в колі перезаряджання конденсатора. За зміною частоти звучання телефонів зробіть висновок про залежність частоти імпульсів від сили струму перезаряджання конденсатора. Зробіть загальний висновок про будову і принципи дії генератора імпульсів та ролі і функціонування конденсатора.

За умов використання осцилографа в ході роботи інструкції виконують відповідні зміни згідно фрагменту до додаткового завдання роботи практикуму № 2-11 [5]. Контрольні запитання ставлять відповідно до мети, торкаючись питань вивчення і використання електроємності, опору, електричного струму в напівпровідниках, генераторів електричних коливань тощо.

На нашу думку запропонований варіант роботи за змістом відповідає потребам реформування фізичної освіти відповідно до концепції переходу до дванадцятирічного терміну навчання в школі.

Список використаних джерел

1. *Бирюков С.А.* Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах. – М.: Радио и связь, 1990. – 128 с.
2. *Вовкотруб В.П.* Ергономічний підхід до розвитку шкільного фізичного експерименту [Монографія]. – Київ, 2002. – 280 с.
3. *Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. Ч. 1. Механика, молекулярная физика, основы электродинамики / Под ред. А.А. Покровского. Изд. 3-е, перераб.* – М.: Просвещение, 1978. – 351 с.
4. *Державна національна програма "Освіта". Україна XXI століття.* – К.: Райдуга, 1994. – 61 с.
5. *Практикум з фізики в середній школі: Дидакт. матеріал: Посібник для вчителя / Л.І.Анциферов, В.А.Буров, Ю.І.Дік і ін.: За ред. В.А.Бурова, Ю.І.Діка.* – 3-є вид., перероб. – К.: Рад. шк., 1990. – 176 с.
6. *Федишова Н.В.* Комплект для вивчення фізичних основ роботи електронно-обчислювальної техніки // *Фізика та астрономія в школі.* – 1999. – № 2. – С. 23-27.
7. *Федишова Н.В.* Комплект автоматичних пристроїв і функціональних вузлів електронної техніки для фізичного експерименту / *Наукові записки.* – Випуск XVI. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВГ ІІ КДПУ ім. В.Винниченка, 1999. – С. 40-45.
8. *Цітинко М.Г.* Саморобні електронні прилади в навчальному експерименті. Посібник для вчителя. – К.: Рад. шк., 1990. – 141 с.
9. *Шахмаев Н.М., Шилов В.Ф.* Физический эксперимент в средней школе. – М.: Просвещение, 1989. – 256 с.

Ситников О.П.

Чернігівський державний інститут економіки і управління

ВИВЧЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ СВІТЛА В ТОНКИХ ПЛІВКАХ РІДКИХ КРИСТАЛІВ

Рідкі кристали розглядаються як унікальні об'єкти при вивченні фізичних явищ в розділах загальної фізики "Молекулярна фізика", "Електрика і магнетизм", "Оптика". Показано, що рідкокристалічний стан – це окремий фазовий стан речовини, проміжний між твердим і рідким станом, який поєднує в собі властивості як твердого кристалу так і звичайної рідини. Ця особливість використовується у лабораторній роботі по вивченню інтерференції поляризованих променів.

Liquid crystals are considered as unique model objects to study physical phenomena in the section of general physics "Molecular physics", "Electricity and Magnetism", "Optics". It has been shown that liquid-crystal stage is a particular phase of liquid. It is intermediate between solid and liquid states, combining in itself characteristics of both liquid crystal and that of ordinary liquid. This feature will be utilized in laboratory work on learning an interference of polarized rays.

Рідкі кристали можна розглядати як унікальні модельні об'єкти при вивченні ряду оптичних явищ: інтерференції, дифракції, поляризації світла, подвійного променезаломлення, оптичної активності. Вивчення цих явищ бажано супроводжувати як ефектними демонстраціями, так і лабораторними роботами з використанням рідких кристалів.

У даній статті пропонується лабораторна робота з вивчення інтерференції світла у тонких плівках нематичних рідких кристалів.

Рідкі кристали – це речовини, які одночасно мають властивості кристалічного твердого тіла і звичайної рідини. Подібно до рідин рідкі кристали течуть, приймають форму посудини, в якій знаходяться, утворюють краплини. Подібно до твердих кристалів вони мають анізотропію усіх фізичних властивостей. Причина анізотропії – певна упорядкованість молекул усередині зразка.

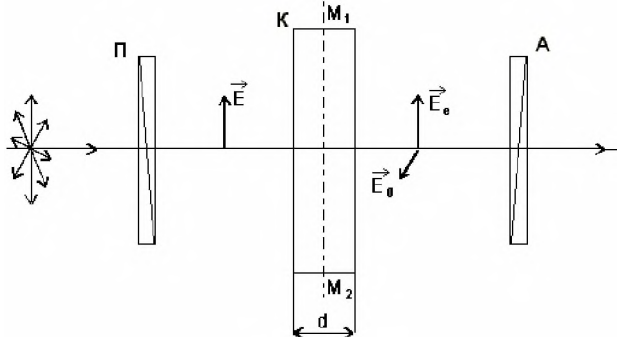
Проходження світла через анізотропне середовище супроводжується явищем, яке називають подвійним променезаломленням. Падаюча на зразок електромагнітна хвиля утворює всередині рідкого кристалу дві хвилі з різними властивостями. Показник заломлення n_o однієї хвилі не залежить від напрямку поширення. Така хвиля називається звичайною. Для іншої хвилі показник заломлення n_e залежить від напрямку поширення і таку хвилю називають незвичайною. Крім цього, обидві хвилі є лінійно поляризованими у взаємно перпендикулярних площинах.

Схема експерименту показана на мал. 1. Природне світло проходить через поляризатор (П), перетворюється на лінійнополяризоване світло і падає на комірку (К) з рідким кристалом товщиною d . Коли промінь падаючого світла перпендикулярний до головної оптичної осі M_1M_2 зразка, то звичайний і незвичайний промені поширюються в одному напрямку, але

із різними швидкостями $v_0 > v_e$. При цьому між ними виникає різниця фаз

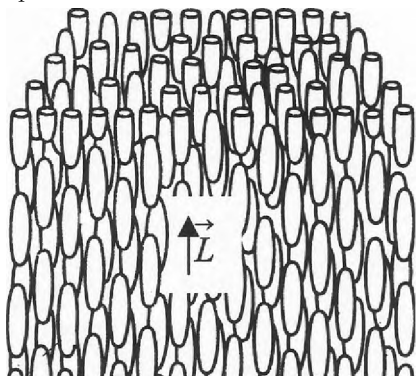
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi(n_e - n_0)d}{\lambda} = \frac{2\pi d}{\lambda} \Delta n, \quad (1)$$

де $\Delta n = n_e - n_0$ – величина оптичної анізотропії, λ – довжина хвилі. Після зразка аналізатор (А) зводить промені в одну площину, де і відбувається інтерференція.



Мал. 1.

Молекули нематичних рідких кристалів (НРК) мають видовжену форму. Їхні довгі осі орієнтовані певним чином у просторі, але центри мас молекул вільно переміщуються у цьому напрямку (мал. 2). НРК є одновісними кристалами, в яких напрям головної оптичної осі співпадає з напрямом переважної орієнтації довгих молекулярних осей. Цей напрям визначає вектор одиничної довжини \vec{L} , який називається директором.

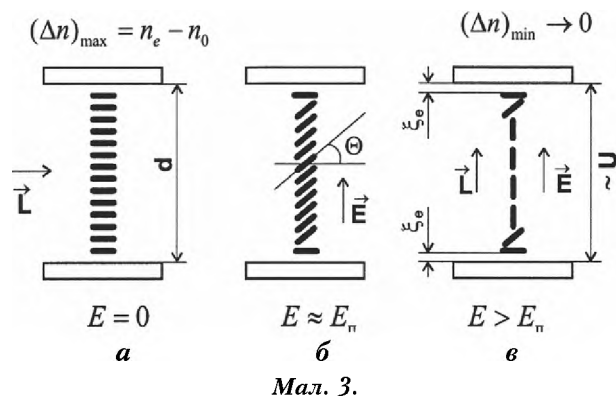


Мал. 2.

Внаслідок чутливості рідких кристалів до дії зовнішніх сил оптичною анізотропією легко керувати. За допомогою зовнішнього електричного поля можна змінювати орієнтацію директора \vec{L} і тим самим впливати на умови поширення світла через зразок. Розглянемо це детальніше.

Нехай зразок складається з нематичного рідкого кристалу, обмеженого прозорими електродами (мал. 3, а). Молекули НРК зорієнтовані у площині поверхні електродів. До вмикання електричного поля шар НРК в схрещених поляроїдах пропускає падаюче світло завдяки подвійному променезаломленню.

Дія електричного поля на НРК має пороговий характер. Це означає, що переорієнтація директора \vec{L} починається при напруженості електричного поля більших від деякого значення E_n (E_n – порогова напруженість електричного поля). Сили електричного поля намагаються переорієнтувати директор \vec{L} вздовж силових ліній поля. Проте на молекули НРК діють ще і пружні сили, які намагаються утримати директор \vec{L} паралельно до площини електродів. Так виникає деформація шару НРК, яку називають деформацією поперечного вигину. Переорієнтація директора \vec{L} (мал. 3, б) починається при



Мал. 3.

напруженості $E = E_n$, коли настає рівність електричного і пружного моментів:

$$M_E = M_{пр}, \quad M_E \sim \epsilon_0 \Delta \epsilon E_0^2, \quad M_{пр} \sim \frac{\pi^2 k_{11}}{d^2},$$

де ϵ_0 – електрична стала, $\Delta \epsilon$ – анізотропія діелектричної проникності, k_{11} – модуль пружності для деформації поперечного вигину, d – товщина шару НРК. Враховуючи, що порогова напруга $U_n = E_n d$, з рівності

$$\epsilon_0 \Delta \epsilon E_0^2 = \frac{\pi^2 k_{11}}{d^2}, \quad \text{одержимо:}$$

$$U_n = \pi \sqrt{\frac{k_{11}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}}. \quad (2)$$

Енергія зчеплення молекул з поверхнею електродів така велика, що навіть у досить сильному електричному полі приповерхневі молекули залишаються паралельними до площини електродів (мал. 3, в). Відстань від поверхні, ближче якої електричне поле перестав впливати на орієнтацію молекул, називають електричною когерентною довжиною ξ_E :

$$\xi_E = \frac{d}{U} \sqrt{\frac{k_{11}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}}, \quad (3)$$

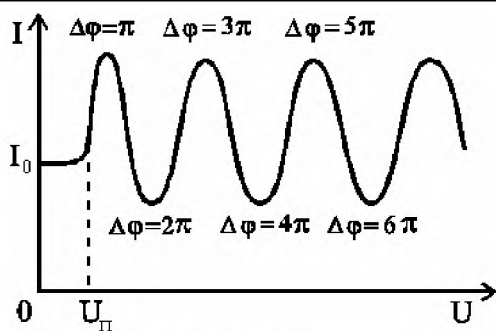
де U – напруга, при якій відбувається повна переорієнтація директора \vec{L} (мал. 3, в).

Із зростанням напруги $U > U_n$ кут Θ між директором \vec{L} і площиною електродів починає збільшуватися, що в свою чергу викликає зменшення величини оптичної анізотропії $\Delta n = f(\Theta)$. Згідно формули (1) різниця фаз $\Delta\varphi$ між звичайним і незвичайним променями також зменшуватиметься. Після аналізатора ці промені інтерферують і в залежності від різниці фаз спостерігається зміна інтенсивності світла, що пройшло через зразок:

$$I = I_0 \sin^2 2\alpha \sin \frac{\Delta\varphi}{2},$$

де I_0 – інтенсивність падаючого світла, α – кут між початковим напрямом директора \vec{L} ($E = 0$) і площиною поляризації падаючого світла. Цілком очевидно, що при $\Delta\varphi = 2m\pi$ ($m = 0, 1, 2, K$) буде мінімум інтенсивності, при $\Delta\varphi = (2m + 1)\pi$ – максимум інтенсивності. Отже, при освітлюванні системи “поляризатор – зразок з НРК – аналізатор” монохроматичним світлом з зміною напруги на зразку бачимо осциляції інтенсивності світла (мал. 4). Якщо цю систему освітлювати білим світлом, то бачимо зміну інтерференційних кольорів. При $\alpha = 45^\circ$ різниця між максимумами та мінімальними інтенсивностями монохроматичного світла буде найбільшою, а інтерференційні кольори будуть ще більш яскравими.

Метою роботи є вивчення явища інтерференції, визначення порогової напруги переорієнтації директо-



Мал. 4.

ра \bar{L} для нематичного рідкого кристалу, розрахунок модуля пружності поперечного вигину нематичного рідкого кристалу та електричної когерентної довжини.

У роботі використовується: комірка з нематичним рідким кристалом, поляризаційний мікроскоп, звуковий генератор, вольтметр, мікрокалькулятор МК-52.

Комірка з НРК розміщується під об'єктивом мікроскопа з попередньо схрещеними поляроїдами (без комірки поле зору темне) так, щоб інтенсивність світла, яке проходить через окуляр, була найбільшою (таке положення комірки відповідає куту $\alpha = 45^\circ$).

На генераторі встановлюється частота 1000 Гц і до клем генератора приєднуються електроди комірки.

Поступово збільшуючи напругу на виході генератора від 0 до 10 В, а потім плавно зменшуючи її до 0, спостерігають кольорову зміну інтерференційної картини при освітленні комірки білим світлом.

Перед коміркою розміщується світлофільтр, який пропускає червоне світло і спостерігаються осциляції інтенсивності світла. Підраховується кількість інтерференційних мінімумів і визначається відповідна напруга. Інтерференційному мінімуму з найменшою напругою відповідає різниця фаз $\Delta\varphi = 2\pi$. Значення напруги заносяться до таблиці:

$\Delta\varphi$, рад	2π	4π	6π	8π	10π	12π
U, В						

Будується графік залежності $U = f(\Delta\varphi)$. На графіку треба вибрати точки, які можна апроксимувати лінійною залежністю. Для цього бажано використати метод найменших квадратів, який закладено у програму мікрокалькулятора МК-52.

Програма дає можливість одержати рівняння прямої, з якого визначається величина порогової напруги U_π .

Модуль пружності для деформації поперечного

вигину знаходиться за формулою: $k_{11} = \frac{\varepsilon_0 \Delta\varepsilon U_\pi^2}{\pi^2}$, де

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$, $\Delta\varepsilon$ – характеристика НРК.

Визначається напруга U , при якій починається затемнення поля зору (мал. 3, в) і за формулою (3) знаходиться когерентна довжина. Товщина зразка $d = 20$ мкм.

Програма методу найменших квадратів для МК-52

F	ПРГ								
X→	X→	0	X→	X→	X→	X→	П→	П→	—
П 1	П 0		П 4	П 5	П 6	П 7	Х 1	Х 0	
1	+	С/П	П 2	С/П	П 3	Х 6	+	П 6	П→
П→		X→	П→	F x ²	П→		X→	П→	П→
X 4	+	П 4	X 2	X 5	X 5	+	П 5	X 2	X 3
x	П→	+	X→	F L0	07	П→	F x ²	П→	П→
	X 7		П 7			X 4		X 1	X 5
x	—	X→	П→	П→	x	П→	П→	x	—
		П 8	X 4	X 6		X 1	X 7		
П→	÷	X→	С/П	П→	П→	П→	x	—	П→
X 8		П a		X 6	X a	X 4			X 1
÷	X→	С/П							
	П b								
F	АВТ	В/О							

Пропонуються наступні контрольні запитання.

1. Що називають інтерференцією світла?
2. Які умови необхідні для здійснення інтерференції?
3. Які існують методи одержання когерентних світлових хвиль? Який метод використовується у даній роботі?
4. Що являє собою інтерференційна картина?
5. Що таке подвійне променезаломлення і коли воно виникає?
6. Яка різниця між звичайним і незвичайним променями?
7. Як одержати інтерференцію поляризованих променів?
8. Що являють собою рідкі кристали?
9. Як пояснити осциляції монохроматичного світла зі зміною напруги на електродах комірки з НРК?
10. Як пояснити виникнення інтерференційних кольорів із зміною напруги на електродах комірки при освітлюванні зразка білим світлом?

Список використаних джерел

1. Гриценко М.І., Ситников О.П. Лабораторний практикум: Фізика рідких кристалів для фізичних спеціальностей педагогічних вузів // Науковий вісник Миколаївського державного педагогічного університету. Вип. 1. — Миколаїв, МДПУ, 1999. — С. 22-26.
2. Гриценко М.І., Ситников О.П. Вивчення рідких кристалів в курсі загальної фізики. 1 // Тези доповідей V Всеукраїнської наукової конф. "Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики", Київ, 7-8 червня 2000 р. — К.: НПУ ім. М.П.Драгоманова, 2000. — С. 55.
3. Гриценко М.І., Ситников О.П. Вивчення рідких кристалів в курсі загальної фізики. 2 // Наукові записки: Збірник наук. статей Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова / Укл. П.В.Дмитренко та ін. — К.: НПУ, 2001. — С. 146-156.
4. Ситников О.П. Електрооптичні явища в курсі загальної фізики // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Вип. 4. Серія: педагогічні науки. — Чернігів, 2001. — С. 141-144.