

доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри фізики та методики її викладання
Кіровоградського державного педагогічного
університету імені Володимира Винниченка;

Віктор Нелінович,

здобувач кафедри фізики та методики її викладання
Кіровоградського державного педагогічного
університету імені Володимира Винниченка

ПОЄДНАННЯ РЕАЛЬНОГО І ВІРТУАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТІВ У ВИВЧЕННІ ФІЗИЧНИХ ОСНОВ РІДКИХ КРИСТАЛІВ У ШКОЛІ

У статті аналізується фізичний експеримент, який розроблений та використовується в деяких вищих навчальних закладах під час вивчення фізичних властивостей рідких кристалів. Пропонується саморобне обладнання для вивчення твіст-ефекту в нематичних рідких кристалах. Подається методика перетворення рідкокристалічного індикатора Motorola V50 із мобільного телефону, що вийшов із ладу, з метою отримання навчальної оптичної комірки, придатної для вивчення властивостей твіст-ефекту в рідкому кристалі. Описано властивості твіст-ефекту, на якому базується робота переважної більшості рідкокристалічних індикаторів відображення інформації.

Ключові слова: шкільний курс фізики, саморобне обладнання, рідкі кристали, твіст-ефект, фізичний практикум, дослідження властивостей.

В статье анализируется физический эксперимент, который разработан и используется в некоторых высших учебных заведениях при изучении физических свойств жидких кристаллов. Предлагается самодельное оборудование для изучения твист-эффекта в нематических жидких кристаллах. Подается методика преобразования жидкокристаллического индикатора Motorola V50 с мобильного телефона, который вышел из строя, с целью получения учебной оптической ячейки, пригодной для изучения свойств твист-эффекта в жидком кристалле. Описаны свойства твист-эффекта, на котором базируется работа подавляющего большинства жидкокристаллических индикаторов отображения информации.

Ключевые слова: школьный курс физики, самодельное оборудование, жидкие кристаллы, твист-эффект, физический практикум, исследования свойств.

The paper analyses existing physical experiment, which has been designed and is currently used at a number of higher educational establishments while studying physical properties of liquid crystals. It suggests original labmade

equipment used for studying twist-effect in nematic liquid crystals. The paper describes methods for transforming LCD indicator of a Motorola V50, which doesn't work properly, to get a studying optical cell, apt for exploring twist effect properties in liquid crystal. The article describes twist effect features, on which the work of most LCD data displaying indicators is based. A workshop of a physical laboratory session and methods of its conducting has been worked out. It can be employed at a Physics lesson while teaching liquid crystals to school students. This promotes deeper understanding of physical properties and phenomena on which modern data displaying appliances that function at the base of liquid crystals are grounded. Basic physical parameters of an optical sell filled with nematic liquid crystal of a twist structure has been surveyed. The results of a physical workshop has been arranged in a table and corresponding diagrams, which permitted to define limit voltage of twist effect in nematic liquid crystals.

Key words: *liquid crystal, twist effect, physical laboratory session, school Physics course, labmade equipment.*

Постановка проблеми. Сучасні досягнення в науковій галузі, яка вивчає фізику рідких кристалів (РК), зазнали стрімкого розвитку і відчутного впровадження упродовж останніх 20-ти років у різних напрямках діяльності людини та у повсякденне життя. У зв'язку з цим певне коло питань з фізичних основ РК увійшли й до змісту курсу фізики, що вивчається у загальноосвітніх навчальних закладах, у тому числі й за профільними програмами.

Однак, аналіз навчально-методичної літератури, а також посібників і методичних рекомендацій переконує у тому, що методика вивчення фізики рідких кристалів взагалі, і зокрема у шкільному курсі фізики за профільними програмами, ще далека від досконалої і не задовольняє дидактичні потреби: методика з'ясування властивостей РК та основних і своєрідних ефектів не розроблена на рівні розуміння їх старшокласниками, не встановлені і не конкретизовані, які саме явища та ефекти чи властивості (як електричні, так і оптичні) доцільно вивчати у різних розділах курсу фізики; відсутні рекомендації стосовно залучення учнів до самостійних спостережень і досліджень тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За цих обставин маємо констатувати, що проблемами розробки методики з'ясування сутності рідкокристалічного стану речовини та створення системи демонстрацій, що розкриває властивості рідких кристалів, ще у 1948 році займався відомий учений А. Б. Млодзєєвський [5, с. 146–153]; дещо пізніше (у 1978 р.) оригінальні досліди з використанням рідкокристалічної плівки для візуалізації ІЧ-випромінювання від різних теплових джерел світла запропонував О. П. Капустін [4, с. 340–344].

З іншим підходом до розробки демонстраційних дослідів підійшли Л. Шабишев та Л. Валькова [10, с. 92–95], використовуючи нагрівний столик, що дозволяв спостерігати поведінку досліджуваної речовини за різних температур, коли ця речовина перебуває у різних фазових станах.

Запропонована установка одночасно дозволяла знайомити студентів з поляризаційно-мікроскопічним методом вивчення рідкокристалічних речовин.

В 1992 році В. Ф. Савченко та М. І. Гриценко розглядають можливість використання рідкокристалічних термоіндикаторів у навчальному фізичному експерименті [6], а згодом М. І. Гриценко та О. П. Ситников [3; 9] розробили лабораторний практикум для студентів фізичних спеціальностей і реалізували його у Чернігівському державному педагогічному університеті.

Треба зазначити, що розробки велися для з'ясування фізичних основ РК не лише у процесі вивчення загального курсу фізики у вищій школі, а й з метою вивчення окреслених питань про рідкі кристали і в шкільному курсі фізики. Зокрема у журналі «Фізика в школі» була опублікована стаття Г. Т. Горбунова [2] з особливостей вивчення рідкокристалічного стану речовини у курсі фізики середньої школи, а також видано ряд наших рекомендацій для вчителів [1; 6; 7], де розкрито можливості сучасних інноваційних педагогічних технологій і засобів комп'ютерної техніки як у проведенні уроків з фізики, так і з метою проведення додаткових та індивідуальних занять та факультативних (селективних) курсів. При цьому варто наголосити на тому, що наші пошуки на першому етапі були пов'язані із використанням саме засобів ІКТ у ході вивчення властивостей РК та розробкою віртуального навчального експерименту із зазначеної теми [1; 6; 7].

Віртуальна лабораторія [1] розкриває основні теоретичні відомості про фізику РК та включає серію демонстрацій і низку робіт фізичного практикуму, що представлені у вигляді програмного педагогічного засобу (ППЗ) «Віртуальна фізична лабораторія з вивчення властивостей рідких кристалів» [6]. Демонстраційний експеримент дозволяє відтворити сім демонстраційних дослідів. При цьому користувач самостійно збирає демонстраційну установку та активно впливає на зміну параметрів досліджуваного об'єкта, що дозволяє максимально наблизити експеримент, що моделюється на моніторі комп'ютера, до реального. Фізичний практикум на основі розробленого ППЗ представлений п'ятьма лабораторними роботами, під час виконання яких користувач активно змінює параметри досліджуваної установки та фіксує відповідні покази приладів для подальшої їх обробки.

Згодом був запропонований факультативний спецкурс «Рідкі кристали та їх властивості» [7] та його методичне забезпечення, що дозволяє повноцінно вивчати фізику РК в шкільному курсі: запропоновано програму, тематичне та поурочне планування факультативних занять спецкурсу; у запропонованих методичних рекомендаціях містяться практичні поради з підготовки, організації і проведення лабораторних занять, пропонується набір завдань у вигляді тестів для проведення контролю знань учнів, перелік тем індивідуальних дослідницьких завдань для розширення змісту та активізації пошукової навчальної діяльності школярів. Демонстрації та лабораторні роботи проводяться на базі ППЗ «Віртуальна фізична лабораторія з вивчення властивостей рідких

кристалів», що реалізує принцип наочності досить ефективно засобами інформаційно комунікаційних технологій.

Отже, 1 – одночасно з включенням теоретичного матеріалу про рідкі кристали у курс загальної фізики та шкільний курс фізики відбувалася розробка відповідного навчального фізичного експерименту, який добре забезпечує принцип наочності під час викладання нового матеріалу; 2 – незважаючи на труднощі в розробці та створенні навчальних дослідів, багато дослідників досягли в цьому питанні певних успіхів; 3 – навчальний фізичний експеримент, що стосується фізики РК, більшою мірою спрямований на забезпечення викладання загального курсу фізики у ВНЗ; 4 – можна констатувати відсутність будь-якого шкільного фізичного обладнання для забезпечення експериментального вивчення фізики РК в загальноосвітніх навчальних закладах, що створює проблеми у виконанні реального фізичного експерименту для відтворення дослідів з кристалами.

Формулювання цілей статті. Для вивчення й пояснення явищ, що відбуваються в сучасних пристроях, які працюють на відображенні інформації за допомогою РК-дисплея (мобільні телефони, смартфони, планшети, нетбуки, ноутбуки, телевізори з РК-дисплеями та інші) і стали невід’ємними атрибутами у повсякденному житті, нами запропоновано саморобне обладнання, що дозволяє провести досить вагоме навчальне дослідження. Причому створення даного саморобного обладнання є можливим для реалізації у будь-якій школі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Робота переважної більшості сучасних пристроїв відображення інформації з використанням РК-дисплеїв базується на явищі твіст-ефекту, який спостерігається в нематичному рідкому кристалі (НРК) з додатною анізотропією діелектричної проникності ($\Delta\epsilon > 0$), що має твіст-орієнтацію. При твіст-орієнтації молекули РК в оптичній комірці (ОК) вибудовуються у вигляді $\frac{1}{4}$ витка спіралі (рис. 1 а). Така комірка є оптично активною, тобто повертає площину поляризації падаючого плоскополяризованого пучка на кут $\pi/2$ і володіє двопроменезаломлюючими властивостями. Причому, поворот площини поляризації відбувається за умови:

$$\lambda \ll (n_H - n_Z)P_o, \quad (1)$$

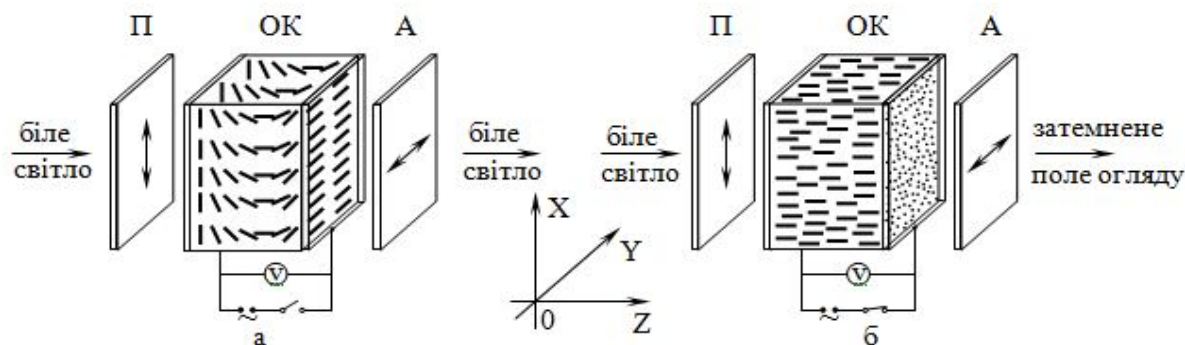


Рис. 1. Явище твіст-ефекту: а) $U = 0$; б) $U > U_n$

де λ – довжина падаючої хвилі на твіст-структуру, n_3 і n_n – відповідно показники заломлення для звичайного і незвичайного пучків, P_0 – крок спіралі молекул рідкого кристала.

У нашому випадку $P_0 = 4 \cdot d$, де d – товщина оптичної комірки.

Тому умову (1) можна подати у вигляді:

$$\lambda/4 \ll (n_n - n_3)d. \quad (2)$$

Умова (2) виконується для всіх хвиль видимого діапазону, коли використовуються оптичні комірки товщиною 10 мкм і більше.

Якщо на таку оптичну комірку подати електричну напругу, більшу чи рівну значенню порогової напруги, то виникає орієнтаційний ефект, який набув назву твіст-ефект. Він полягає в переорієнтації молекул НРК з твіст-структури до гомеотропної орієнтації (перпендикулярно електродам), коли молекули орієнтуються вздовж силових ліній електричного поля (рис. 1 б).

Порогова напруга при твіст-ефекті визначається виразом:

$$U_{\Pi} = \pi \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0 \Delta \varepsilon} \left(K_{11} + \frac{1}{4} (K_{33} - 2K_{22}) \right)}, \quad (3)$$

де K_{11} , K_{33} , K_{22} – модулі пружності НРК для деформації відповідно поперечного, поздовжнього вигину та деформації кручення, ε_0 – електрична стала, $\Delta \varepsilon$ – анізотропія діелектричної проникності.

Нами запропонована методика, яка дозволяє отримати РК комірку з доступних матеріалів та створити на її базі відповідне саморобне обладнання. В якості експериментальної ОК ми пропонуємо використати вже готову РК комірку твіст-структури, яку можна отримати, перетворивши певним чином чорно-білий дисплей мобільного телефону, робота якого базується на явищі твіст-ефекта. Для цього достатньо з мобільного телефону, який, наприклад, вийшов з ладу, акуратно демонтувати дисплей моделі Motorola V50. Зазвичай, такий дисплей складається з двох прозорих скляних пластинок, між якими розміщено рідкий кристал. На зовнішній стороні скляних пластинок приклеєні з одного боку поляризатор (П), а з іншого аналізатор (А) та дзеркало. Тому з мобільного телефону, що вийшов із ладу і вже не використовується, слід акуратно демонтувати дисплей і видалити дзеркало.

За таких умов у схемі «поляризатор – оптична комірка – аналізатор» (рис. 1), коли на ОК не подається електрична напруга – $U = 0$ В (рис. 1 а), світловий пучок вільно проходить систему. При цьому завдяки твіст-структурі поляризований світловий пучок безперешкодно проходить через рідкий кристал, а спостерігач бачить біле світло. За умови, що на РК-дисплей подається керуюча електрична напруга ($U \geq U_{\Pi}$), спостерігаємо твіст-ефект (рис. 1 б). У такому випадку світловий пучок, пройшовши через поляризатор та рідкий кристал, молекули якого вже зорієнтувалися перпендикулярно електродам і не повертають площину поляризації, світловий пучок поглинається аналізатором і відповідно спостерігач бачить затемнене поле огляду.

Конструкцію РК-дисплея від телефону, треба дещо змінити для отримання необхідної експериментальної комірки. Для цього обережно канцелярським ножом демонтуємо дзеркало, щоб не пошкодити аналізатор. Після такого видалення залишається ОК, будова якої схематично зображена на рис. 1 а. Після видалення дзеркала на аналізаторі залишається частина клею, його можна видалити, хоча й він не впливає на роботу ОК. Тому цей шар клею можна залишити на аналізаторі, але при цьому необхідно досить акуратно поводитися з ним, аби не залишати відбитки пальців, намагатися уникнути контакту із середовищем, яке містить пил, бруд і т. п.

В результаті таких перетворень маємо ОК, яка готова для досліджень, але до її електродів потрібно приєднати провідники та змонтувати її у відповідну конструкцію, яка буде захищати ОК від механічних пошкоджень

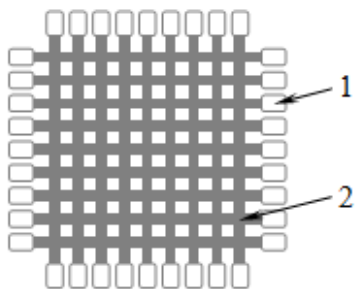


Рис.2. Схема розташування електродів матричного дисплея: 1 – контакт-на шина; 2 – елемент зображення (піксель)

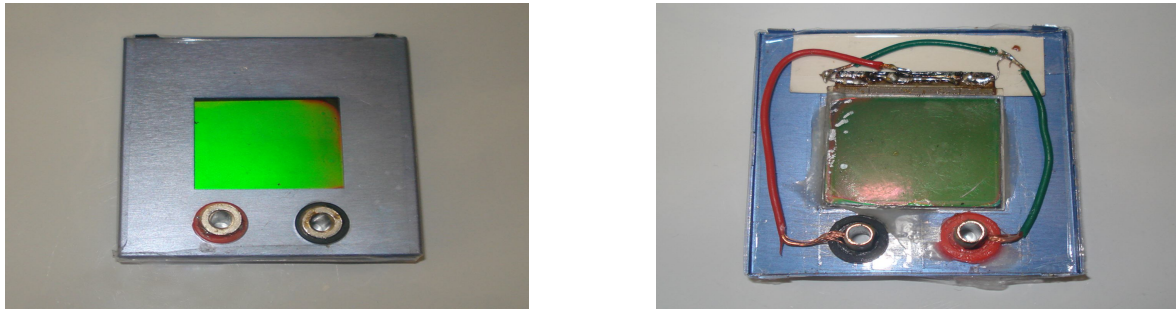
та надасть їй естетичного вигляду. Для з'єднання провідників з електродами ОК потрібно з'ясувати, яким чином вони побудовані. Геометрія електродів оптичної комірки, що використовується в рідкокристалічних дисплеях, має форму системи паралельних тонких електродів, напилених на внутрішню поверхню обмежуючих скляних пластинок, причому пластинки розміщені таким чином, що їх електроди взаємно перпендикулярні (рис. 2). Така конструкція дозволяє реалізувати формування зображення, що забезпечується складною електронною схемою – використовується так званий матричний принцип управління ОК. Тобто напруга подається на цілий рядок: на один з горизонтальних електродів подається збуджувальний імпульс певної амплітуди, а на всі вертикальні – інформаційний імпульс. У результаті всі елементи даного рядка спа-лахують одночасно, але з різною яскравістю, зумовленою амплітудами інформаційних імпульсів.

Переорієнтація всієї речовини рідкого кристалу, що розміщений в РК-дисплеї, забезпечить умови для вивчення твіст-ефекту. Для цього необхідно одночасно подати керуючу напругу на всі контакти електродів відповідно однієї та іншої скляної пластинки. Це можливо реалізувати, обережно з'єднавши між собою контакти шини кожної з обмежуючих скляних пластинок, що дозволяє вивести лише по-одному провіднику від кожної із систем електродів на скляних пластинках. На практиці, як показали наші дослідження та експериментування з різними РК-дисплеями різних фірм виробників, дана задача є складною, бо у всіх РК-дисплеях напругу, яка подається на окремі електроди, регулює спеціальний мікропроцесор, який міститься безпосередньо на дисплеї, і обійти його, не пошкодивши окремі елементи, виявилось досить проблематично.

В результаті пошуків ми віднайшли модель дисплея, у якому такий

процесор з'єднувався з ОК не прямо, а шлейфом. Такою моделлю виявився чорно-білий дисплей Motorola V50. Отже, акуратно видаливши процесор від ОК, нам вдалося припаяти контакти до шлейфа, це дозволило приєднати джерело напруги з метою перевірки залежності оптичних властивостей твіст-ефекта (рис. 3 б).

Наступним кроком є розміщення досліджуваної ОК в оболонку, яка захищає дисплей від пошкоджень та дозволяє виконати відповідні дослідження. Для цього слід конструкцію зібрати в металевому корпусі (в



а б
Рис. 3. Експериментальна оптична комірка: а – вигляд ззовні; б – елементи з'єднання провідників з ОК

рамку) для кадра діафільму. Змонтувавши в середину рамки ОК та приєднавши провідники від ОК до заздалегідь встановлених контактів, дана конструкція стає придатною до експлуатування (рис. 3 а).

Вивчення явища твіст-ефекту виконують у такій послідовності. Збирають лабораторну установку за схемою, що показана на рис. 4, яка складається з лазера, оптичної комірки, мікроамперметра, вольтметра, фотоелемента та джерела змінної напруги (звуковий генератор).

Загальний вигляд установки зображено на рис. 5.

Для дослідження твіст-ефекту на звуковому генераторі встановлюють частоту 1000 Гц, а напругу змінюють в межах від 0 до 2,5 В через кожні 0,1 В та фіксують значення фотоструму. Це дозволяє встановити відповідну залежність між інтенсивністю світлового пучка та керуючою напругою при твіст-ефекті. Таку залежність подають у вигляді графіка $I = f(U)$.

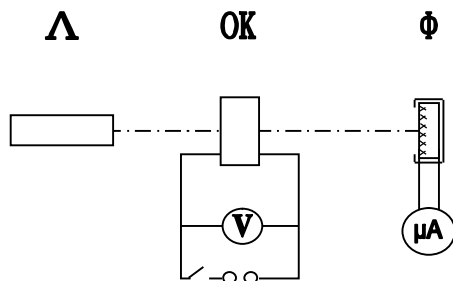


Рис. 4. Схема установки для вивчення твіст-ефекту: Л – лазер; ОК – оптична комірка; Ф – фотоелемент



Рис. 5. Загальний вигляд експериментальної установки

Для оцінки значення порогової напруги краще використати графік вольт-контрастної характеристики твіст-ефекту – $K = f(U)$. Під

контрастним відношенням K розуміють відношення фотоструму I' (при $U = 0$ В) до I_i – струму при i -тому значенні керуючої напруги U_i : $K = I' / I_i$. За графіком $K = f(U)$ визначають порогову напругу в точці крутого підйому лінії графіка.

Подаємо результати лабораторної роботи з вивчення РК на тему: *Дослідження оптичних характеристик твіст-ефекту*.

Мета цієї роботи передбачає виявити особливості переорієнтації електричним полем молекул нематичного рідкого кристала, що має твіст-структуру; встановити залежність зміни інтенсивності пропускання світлового пучка твіст-структурою від керуючої напруги та побудувати графік залежності $I = f(U)$ та вольт-контрастну криву $K = f(U)$, а на її основі оцінити напругу переорієнтації молекул НРК при твіст-ефекті.

Виконання роботи передбачає зібрати установку, встановити на звуковому генераторі частоту змінного струму 1000 Гц і, поступово змінюючи напругу, починаючи з 0 В, через кожні 0,1 В, записати значення фотоструму I^* , що відповідає сумарному випромінюванню, яке падає на фотоелемент. Тоді фотострум, що відповідає інтенсивності лазерного пучка, буде $I = I^* - I_0$, де I_0 – фотострум, що обумовлений освітленням класної кімнати, який треба відняти від загального. Досягти повної переорієнтації молекул РК, коли інтенсивність лазерного пучка, що проходить ОК, мінімальна, і фотострум мінімальний.

За даними таблиці побудувати графік залежності $I = f(U)$.

Обчислити контрастне відношення $K = I' / I_i$, де I' – інтенсивність пучка, що пройшов через комірку при $U = 0$ В, I_i – відповідно інтенсивність пучка при зміні напруги від 0 В до повної переорієнтації молекул РК.

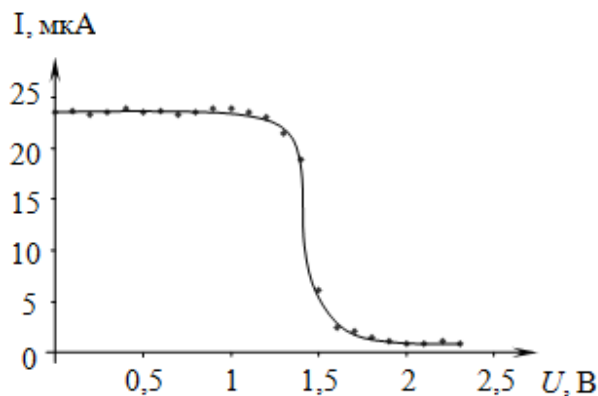


Рис. 6. Залежності інтенсивності лазерного пучка від напруги при твіст-ефекті

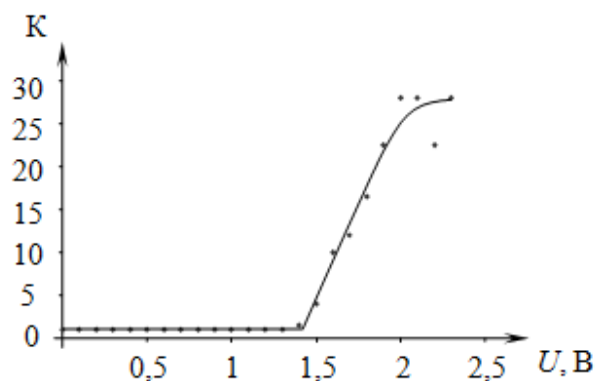


Рис. 7. Вольт-контрастна характеристика твіст-ефекту

Побудувати графік залежності контрастного відношення від напруги $K = f(U)$ і за цим графіком оцінити напругу U_n , при якій відбувається повна переорієнтація молекул РК. U_n характеризує початок крутого підйому вольт-контрастної характеристики.

Під час виконання дослідницької роботи з описаною оптичною коміркою були одержані результати, в результаті яких є можливість побудувати графік залежності $I = f(U)$ (рис. 6) та графік $K = f(U)$ (рис. 7), з якого порогова напруга твіст-ефекту: $U_n = 1,4$ В.

Висновки і перспективи. Запропоноване саморобне обладнання з доступних матеріалів у поєднанні з наявним дозволяє реалізувати віртуальне і реальне вивчення оптичних характеристик твіст-ефекту рідкого кристалу. Пропонована нами віртуальна лабораторія і варіант ОК розширюють можливості учнів у процесі вивчення РК і сприяють розумінню учнями тих процесів, які відбуваються в пристроях, де використовуються сучасні методи відображення інформації за допомогою РК-дисплеїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Величко С. П. Вивчення фізичних властивостей рідких кристалів у середній загальноосвітній школі: посібник для вчителів / С.П. Величко, В. В. Неліпович; за ред. С. П. Величка. – Херсон: Айлант, 2010. – 180 с.
2. Горбунов Г. Т. К изучению жидкокристаллического вещества / Г. Т. Горбунов // Физика в школе. – 1989. – № 5. – С. 78–80.
3. Гриценко М. І. Лабораторний практикум з фізики рідких кристалів: [навч. посібник] / М. І. Гриценко, О. В. Мельничук, М. В. Мошель та ін. – Ніжин : Видавництво НДУ ім. М. Гоголя, 2013. – 141 с.
4. Капустин А. П. Экспериментальное исследование жидких кристаллов / А. П. Капустин. – М. : «Наука», 1978. – 368 с.
5. Млодзиевский А. Б. Лекционные демонстрации по физике. Общие указания. Молекулярная физика и термодинамика. / А. Б. Млодзиевский. – М.-Л. : ОГИЗ, 1948. – Вып. 1. – 181 с.
6. Неліпович В. В. Віртуальна фізична лабораторія з вивчення властивостей рідких кристалів [Електронний ресурс]: програмний педагогічний засіб / авт. В. В. Неліпович; наук. консульт. С. П. Величко; програміст В. І. Резніченко. – Кіровоград : [б. в.], 2008. – 1 опт. диск (CD-R). – Систем. вимоги: Pentium III; 128 Мб RAM; CD-ROM; Windows 98 SE / 2000 / XP; Macromedia Flash Player 6. – Назва з етикетки диска.
7. Неліпович В. В. Рідкі кристали та їх властивості. Факультативний курс / за ред. професора С. П. Величка. – Х. : Основа, 2011. – 110 с. – (Б-ка журн. «Фізика в школах України»; Вип. 6 (90)).
8. Савченко В. Ф. Рідкокристалічні термоіндикатори в фізичному навчальному експерименті / В. Ф. Савченко, М. І. Гриценко // Тези доп. на міжвуз. наук.-практ. конф. «Питання педагогіки та методики вищої школи». – Чернігів, 1992. – С. 21–25.
9. Ситников О. П. Фізика рідких кристалів. Лабораторний практикум: [навч. посібник] / О. П. Ситников. – Чернігів : Чернігівський державний педагогічний університет імені Т. Г. Шевченка, 2001. – 68 с.
10. Шабышев Л. Установка для лекционной демонстрации по теме «Жидкие кристаллы» / Л. Шабышев, Л. Валькова // Жидкие кристаллы и их применение: Межвузовский сборник научных трудов. – Иваново: ИВГУ, 1980. – С. 92–95.