

УДК 053.371.3:539.1

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2024-1-12>

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ В ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

Сірик Едуард Петрович,

кандидат педагогічних наук,

доцент кафедри природничих наук і методик їхнього навчання

Центральноукраїнського державного університету

імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0002-9201-2943

Рівень освітньої підготовки випускників закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) великою мірою залежить від того, як кожний учень опанує систему фізичних знань, умінь і навичок, оскільки фізика, розкриваючи закони природи, розширює знання людини про природу й одночасно є основною складовою сучасного наукового світорозуміння та науково-технічного прогресу. Надзвичайно багатограним є використання її досягнень у різних сферах практичної діяльності людини та в пізнанні природи й навколишнього світу.

Цей аспект є особливо важливим саме для нинішнього етапу вдосконалення середньої освіти, бо шкільний курс фізики в сучасних умовах його перебудови вивчається за варіативними програмами, а його зміст і методика викладання передбачають ознайомлення з основами фізичної науки в різному обсязі та з різною глибиною розгляду навчального матеріалу, ставлячи за мету найбільшою мірою задовольнити інтереси й запити, здібності, можливості та побажання, плани на майбутнє кожного випускника закладу загальної середньої освіти.

Як навчальний предмет, курс фізики посідає одне з провідних місць серед інших дисциплін у розв'язанні комплексних завдань навчання, розвитку й виховання молоді. Він сприяє формуванню у школярів сучасних, вивірених наукою уявлень про навколишній світ і місце в ньому людини.

Особливої ваги та значення набуває вивчення у ЗЗСО питань квантової фізики. Цей розділ, відображаючи вагомі сучасні досягнення науки, найбільшою мірою вимагає внесення змін і коригувань у зміст навчального матеріалу та в методiku його викладання, особливо з урахуванням диференційованого навчання в школах різного типу та профілю. При цьому ряд питань взагалі курсу фізики, зокрема розділу «Квантова фізика», мають розглядатися на більш досконалії як теоретичній, так і експериментальній основі.

Ключові слова: квантова фізика, фізична освіта, методика навчання фізики, освітні системи, диференційоване навчання, сучасні досягнення науки, науково-технічний прогрес.

Siryk Eduard. Analysis of the content and principles of teaching quantum physics in general secondary education

The level of general education training of graduates of modern general secondary education institutions (GSEIs) largely depends on how each student masters the system of physical knowledge, skills and abilities, because physics, revealing the laws of nature, expands human knowledge of nature and is at the same time a major component of modern scientific understanding and scientific and technological progress. The use of its achievements in various fields of human activity and in the knowledge of nature and the world around us is extremely multifaceted.

This aspect is especially important for the current stage of improving secondary education, because the school course of physics in the current conditions of its restructuring is studied according to variable programs, and its content and teaching methods provide for familiarization with the basics of physical science in different amounts and with different depths of consideration of the educational material, aiming to satisfy to the greatest extent possible the interests and demands, abilities and capabilities, as well as the wishes and plans for the future of each graduate of a general secondary education institution.

As an academic subject, the physics course is one of the leading disciplines among others in addressing the complex challenges of educating, developing, and raising young people. It contributes to the formation of modern, science-based ideas about the world around us and the place of humans in it.

The study of quantum physics in general secondary education is of particular importance and significance. This section, reflecting significant modern scientific achievements, requires changes and adjustments in the content of the educational material and in the methodology of its teaching, especially taking into account differentiated learning in schools of different types and profiles.

At the same time, a number of issues of the physics course in general, including the section "Quantum Physics", should be considered on a more advanced theoretical and experimental basis.

Key words: *quantum physics, physical education, methods of teaching physics, educational systems, differentiated learning, modern scientific achievements, scientific and technological progress.*

Вступ. За сучасних умов реформування фізичної освіти, коли людина, її життя, честь і гідність визначаються найвищою соціальною цінністю, стає необхідним широке запровадження в навчальний процес особистісно спрямованого змісту освіти, її гуманізація. Такий підхід до організації освітнього процесу в школі повинен піднести роль пізнавальної діяльності учня, який у цьому процесі має виявити себе одночасно і як його об'єкт, і як суб'єкт. Зазначені аспекти розбудови фізичної освіти в сучасних ЗЗСО можливі за умов розробки нового змісту шкільного курсу фізики та відповідної переорієнтації методів і засобів навчання, запровадження ефективних сучасних технологій і новітніх досягнень у психолого-педагогічному, методичному та матеріально-технічному забезпеченні освітнього процесу.

Стратегічні цілі оновлення освіти, мета і завдання, визначені Законом України «Про освіту», Концепцією реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа» на період до 2029 року, орієнтують освітній процес на інтеграцію та варіативність, ефективне формування ключових і предметних компетентностей здобувачів освіти.

В умовах високотехнологічного інформаційного суспільства створюються нові можливості для модернізації змісту освіти, формування компетентної особистості, яка має сформовані вміння здобувати необхідну інформацію з різних джерел необмежено, засвоювати, поглиблювати її, застосовувати у власній пізнавальній і творчій діяльності.

Мета статті – на підставі аналізу стану вивчення питань квантової фізики в закладах загальної середньої освіти з'ясувати основні методичні проблеми та сучасне бачення можливості підсилення як теоретичного, так і експериментального методу дослідження квантових явищ і процесів за умов диференційованого навчання.

Матеріали та методи. Під час дослідження окресленої проблеми було використано ряд методів наукового дослідження, головними з яких є аналіз науково-методичної літератури, навчальних програм, підручників і посібників, узагальнення з метою визначення понятійного апарату дослідження, синтез, індукція та дедукція, формулювання висновків.

Результати. Основна тенденція сучасної розбудови фізичної освіти спрямована на методологічну переорієнтацію освітніх систем з інформативних аспектів вивчення фізики на розвиток особистості учня та на особистісне спрямування системи фізичної освіти з урахуванням здібностей і нахилів учнів.

У процесі навчання основ квантової теорії недостатньо використані можливості підсилення теоретичного й експериментального методів дослідження квантових явищ і процесів та їхніх виявів.

У працях багатьох методистів, зокрема О. Ляшенка, М. Шута, М. Мартинюка, С. Величка, М. Садового, В. Вовкотруба, М. Головка, Н. Подопрігори, І. Сальник, О. Трифонові та інших фахівців, доведена доцільність підпорядкування структури та змісту системи знань шкільного курсу фізики науково-теоретичному способу мислення, запропоновані різні методичні підходи до узагальнення й систематизації фізичних знань у природничо-наукову картину світу, доведена доступність для розуміння старшокласниками основних понять і питань квантової фізики й доцільність ознайомлення випускників ЗЗСО з основами квантової фізичної теорії.

У навчально-виховному процесі сучасної школи фізика та її методи дослідження природних явищ і процесів посідають одне з провідних місць у розв'язанні комплексних завдань навчання, розвитку та виховання молоді.

Аналіз змісту шкільного курсу фізики, теорії і практики навчання фізики засвідчує, що особливої ваги набуває зараз вивчення наукових досягнень у галузі квантової фізики, бо,

по-перше, вона найбільшою мірою відображає сучасний рівень досягнення фізичної науки взагалі; *по-друге*, зміст саме цього розділу потребує більш детального поєднання між теорією і практикою навчання в системі фізичної освіти. За цих обставин йдеться про створення самостійного кола знань, що відображає сучасний рівень науки. Для цього залучаються дидактичні принципи: науковості, доступності, загальнопедагогічні положення про виховання, розвиток творчих здібностей, розвиток мислення та формування світогляду учнів, котрі тією чи іншою мірою впливають на зміст навчального матеріалу. Водночас перелічені дидактичні принципи є дуже важливими для навчального процесу і призводять до серйозних ускладнень, бо зміст навчання тоді постає у протиріччя зі змістом науки, оскільки остання не наділена подібними принципами. Тому *науковість* розуміють як відповідність змісту шкільної навчальної дисципліни чи окремого її розділу (частини) вимогам сучасної науки та її рівневі, тобто як повноту і дієвість набутих знань і заборону на спотворювальне спрощення окремих, але важливих наукових елементів (понять, означень об'єкта вивчення тощо). Інакше кажучи, принцип науковості в навчанні передбачає розгортання перед учнями не окремо взятої ізольованої частини фізичних знань, а всієї її сукупності, яка охоплює загальну картину уявлень про досліджуваний об'єкт. *Доступність* означає узгодження змісту та структури набутих знань з психічними особливостями й віковими можливостями учнів, а отже, визначає рівень викладання матеріалу та його обсяг, охоплюючи основні моделі, які використовуються в теорії.

Під час передачі школярам усієї сукупності обсягу фізичних знань і, зокрема, знань із квантової фізики потрібно їх будувати з урахуванням логіки та структури сучасного рівня й досягнень науки нашого часу. Оскільки останні наукові знання досить складні, багатогранні та для них характерні різноманітні й розмежовані зв'язки між основними їх елементами, то можлива побудова не єдиної, а множини систем, яка відповідала б вимогам до змісту сучасного шкільного курсу фізики. Головне завдання при цьому вбачається у створенні системи фізичних понять і зв'язків між ними, щоб вони відповідали фізичній теорії. Тобто завдання зводиться до переробки змісту науки (окремої її галузі чи розділу) у всій її багатогранності, специфіці і зв'язках із методами самої фізичної науки, але для визначених педагогічних цілей.

Перебудова фізичної освіти й сучасний шкільний курс фізики розвиваються саме в цьому напрямі, роль теорії у навчанні фізики безупинно зростає. І цей напрям удосконалення фізичної освіти пояснюються тим, що теоретичні знання утворюються на основі аналітико-синтетичної діяльності, спрямованої на побудову цілісної системи понятійного змісту. Таке знання ґрунтується на відображенні внутрішніх відношень і зв'язків у предметі пізнання. «Як найвища форма розумової діяльності людини, понятійне мислення містить у знятому, неявному вигляді всі інші, нижчі психічні структури, але не як звичайне їх додавання, а у вигляді інтегративної функції, як результат інтеграції предметно-практичних, образно-наочних і знаково-символічних компонентів мислення на якісно новому рівні» [2, с. 99].

Отже, зміст і структура навчального матеріалу з фізики для найкращого відображення основ квантової теорії має відображати структуру квантової фізики як науки. Але ця аналогія повинна простежуватися лише в загальних рисах, оскільки в освітньому процесі слід враховувати й дидактичний аспект побудови фізичного знання. Тож структуру наукової квантової теорії не можна просто переносити і без особливих застережень і відповідної трансформації вводити до змісту шкільного курсу фізики. Тобто в процесі навчання мають запроваджуватися як теоретичні, так і експериментальні методи пізнання явищ і процесів мікросвіту в оптимальному їх співвідношенні з урахуванням психолого-педагогічних чинників, що впливають на процес навчання. При цьому принциповою ідеєю повинна бути проблема формування фундаментальних фізичних понять, яка має відповідати історичній реконструкції становлення сучасних фізичних теорій (за оригінальними працями їхніх творців) для «пошуку основи для структурування навчального матеріалу (в рамках як окремих розділів, так і фізики в цілому) та

основи для вироблення раціональної методики навчання – необхідної з позиції фізики як науки і фізики як навчальної дисципліни» [9, с. 22–23]. А тому в процесі навчання на ранніх стадіях формування основних питань квантової фізики принципового значення набувають наочні фізичні уявлення, оскільки на завершальному етапі ці наочні уявлення не є визначальними і значну роль може відігравати математична їх інтерпретація, фундаментальні фізичні дослідження й мислений експеримент.

Концептуальною основою навчання фізики відповідно до чинних програм є «формування людини, що живе і працює, у світі техніки й складних технологій» [3, с. 11]. Такий підхід враховує, *по-перше*, що розвиток змісту фізичної освіти в школі й організація навчального процесу повинні здійснюватися на основі діяльнісного підходу, що спрямований на перехід від інформаційно-пояснювальних методів у навчанні, які переважно орієнтовані на повідомлення готових знань, до активних діяльнісних для учнів методів, спрямованих не лише на засвоєння самих знань, а й на оволодіння різними його варіантами. *По-друге*, навчання в школі має передбачати множинність і варіативність способів, яким може йти учень, причому така диференціація навчання у всіх своїх різноманітних виявах повинна стати засобом для досягнення всіма учнями базового рівня фізичної освіти, необхідного й достатнього для свідомого вибору ними професії або напряму майбутньої діяльності. *По-третє*, вивчення фізики має відбуватися на основі «неперервності (наскрізності) фізичної освіти, враховуючи пізнавальні можливості та інтереси дитини на різних вікових етапах її розвитку» [4, с. 118]. Тому на перших етапах у навчанні має місце пропедевтика фізичних знань у специфічних видах діяльності й на базі природничо спрямованих предметів. В основній школі вивчається курс фізики як самостійний завершений предмет, генералізаційним елементом якого є система знань, котра пояснює механічні, теплові, електричні, магнітні та світлові явища, а в старших класах різноваріантний курс фізики вивчається залежно від обраного учнем профілю навчання [3, с. 119]. *По-четверте*, має місце особисте спрямування змісту фізичної освіти, яке враховує здібності й нахили учнів і ґрунтується на взаємозв'язку сучасного рівня фізичних знань з індивідуальним досвідом школяра в пізнанні навколишнього світу та з історизмом у з'ясуванні сутності знань.

Науково-педагогічними дослідженнями О. І. Бугайова, В. В. Мултановського, В. Г. Разумовського та ін. ще у 80-х роках було доведено, що шкільний курс фізики повинен будуватися на чотирьох фундаментальних теоріях, зокрема і на квантовій механіці. Учені-методисти звертають особливу увагу на важливість оволодіння школярами ймовірнісним методом, бо цей метод став одним з основних методів сучасної фізики.

Розглядаючи питання методики розвитку квантових уявлень у школярів, Б. Є. Будний зазначає [5, с. 15], що, крім відбору змісту конкретних предметних знань, які сприяють засвоєнню певних квантових ідей, і пропедевтики квантових уявлень, досить важливим є систематичне вивчення елементів квантової фізики й організація самостійної пізнавальної діяльності учнів під час засвоєння квантових понять. Для цього пропонується запроваджувати структурно-логічні схеми як систематизований засіб під час вивчення окремих розділів, бо в цьому разі слід: а) використовувати специфічні методи дослідження, а також переконливо доводити їх доказовість; б) визнати якісну специфіку об'єктів та явищ мікросвіту; в) враховувати особливості наукового знання; г) використовувати знання про сам процес пізнання та методи й логіку наукової діяльності. Таким чином, зазначається важливість послідовного оволодіння учнями методологією пізнання і, зокрема, наголошується на важливості послідовного ознайомлення учнів із знаннями про наукову теорію (структуру, основні її положення, межі застосування), про ідеалізацію та ідеалізований об'єкт, про способи відкриття законів і діалектичний характер процесу пізнання. Саме розкриття сутності наукової методології сприяє реалізації ідей послідовного узагальнення уявлень класичної фізики уявленнями квантовими, котрі є повнішими і більш загальними [5, с. 15].

Оскільки під час розкриття властивостей мікросвіту й основних його закономірностей у ЗЗСО неможливо повністю повторити історію розвитку фізичної науки, то процес формування знань з основ квантової фізики доцільно організовувати як цілеспрямовану навчально-пізнавальну діяльність, що зорієнтована на розвиток теоретичного мислення [1].

А тому зміст навчального матеріалу має будуватися на таких принципах:

«— знання повинні засвоюватися учнями через розгляд таких умов їх походження, завдяки яким вони стають необхідними;

– засвоєння знань загального й абстрактного характеру передують ознайомленню учнів із конкретними знаннями, які мають бути виведені з абстрактного як зі своєї єдиної основи;

– під час вивчення предметних джерел поняття насамперед встановлюється генетично вихідний, сутнісний загальний зв'язок, на підставі якого визначається зміст і структура цього поняття як цілості;

– цей зв'язок треба відтворити в предметних, графічних або знакових моделях, які уможливають вивчити його властивості в «чистому» вигляді;

– учні повинні володіти діями, завдяки яким вони можуть у навчальному матеріалі встановити й потім у моделях відтворити сутнісні зв'язки об'єкта;

– у навчанні має відбуватися поступовий перехід від предметних дій до їх виконання подумки» [6, с. 82–83].

Для реалізації зазначених концептуальних засад теорії змістовного узагальнення потребується зіставлення змісту навчального матеріалу з пізнавальними діями учнів. А ці дії відповідають способам предметно-практичної діяльності, що дає змогу, не повторюючи історичного становлення фізичної теорії, розкрити сутність фізичного знання на певному рівні його узагальнення. Для прикладу ознайомлення школярів з основними поняттями квантової фізики актуальним є створення в мисленні учнів конкретних моделей із широким запровадженням мислених експериментів і використання математичного апарату теорії імовірностей, який, на жаль, не можна забезпечити в повному обсязі в шкільному курсі фізики.

Оскільки об'єкти та явища мікросвіту зазвичай недоступні безпосередньому спостереженню, щоб досягти відповідності наочного образу дійсності, пізнавальну діяльність учнів слід постійно розвивати й регулювати, а функцію такого регулятора в навчальному процесі з фізики може виконувати саме мислений експеримент. При цьому слід враховувати такий досить важливий аспект, що для набуття повноцінних і дійових знань, висновки, які випливають із мислених експериментів, доцільно підкріплювати наочністю, побудованою на використанні результатів реальних фізичних дослідів і комп'ютерних експериментів разом з іншими дидактичними засобами. Безперечно, що значно глибше й повніше відобразатимуть реальні природні об'єкти та процеси ті абстракції та узагальнення, що одержані під час виконання фундаментальних фізичних дослідів. У цьому випадку одержані абстракції виступають як опорні та слугують реальними засобами в пізнанні природи, охоплюючи явища і процеси мікросвіту.

Отже, у процесі формування квантових уявлень мислений експеримент виконує різні дидактичні функції, а саме:

– є засобом упровадження в освітній процес методологічних знань;

– суттєво розширює уявлення учнів про роль і значущість фундаментальних фізичних дослідів;

– уможливорює узгоджувати фундаментальні експерименти з різними етапами теоретичного методу пізнання,

– дає змогу пропонувати школярам різні варіанти аналізу об'єктів, що вивчаються;

– сприяє трактуванню одержаних результатів відповідно до специфічних функцій у навчальному пізнанні й використанню цих результатів для реалізації проблемного та частково-пошукового методів у навчанні;

– дає можливість формулювати та висувати гіпотези й обґрунтовувати висновки, що випливають із досліджень.

Висновки. Таким чином, сучасний підхід у розрізі поліпшення фізичної освіти школярів дає змогу зробити висновок про доцільність ширшого введення у шкільний курс основ квантової фізики та можливість різних варіантів практичної реалізації цієї важливої методичної проблеми. Разом із тим ефективним є запровадження в навчальний процес різних методичних підходів, прийомів і засобів навчання, як-от засоби ІКТ, комп'ютерно-орієнтовані системи та засоби навчання, індивідуальні дослідницькі завдання та навчальні проекти, що активізують індивідуальну навчальну діяльність учнів для ознайомлення з основами квантової фізики й розвитку квантових уявлень у випускників ЗЗСО.

Література:

1. Величко С. П. Оцінка ефективності і системи розвитку пізнавальної діяльності студентів з квантової фізики комп'ютерно орієнтованими засобами навчання. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Вип. 179. 2019. С. 32–38.
2. Величко С. П., Соменко Д. В., Слободяник О. В. Лабораторний практикум зі спецкурсу «ЕОТ у навчально-виховному процесі з фізики»: посібн. для студ. фізмат. фак.-ту. Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2013. 192 с.
3. Величко С. П., Костенко Л. Д. Вивчення основ квантової фізики: навч. посібн. для студ. ВНЗ. Кіровоград: РВЦ КДПУ, 2002. 274 с.
4. Величко С. П., Костенко Л. Д., Сірик Е. П. Концептуальні засади вивчення квантових основ фізики у ЗЗСО та ЗВО: монографія. Кропивницький: Ексклюзив-Систем, 2023. 228 с.
5. Жук Ю. О. Теоретико-методичні засади організації навчальної діяльності старшокласників в умовах комп'ютерно орієнтованого середовища навчання: монографія. Київ: Педагогічна думка, 2017. 468 с.
6. Методика і техніка експерименту з оптики: посібник для студентів фізичних спеціальностей вищих педагогічних навчальних закладів та вчителів фізики / Садовий М. І., Сергієнко В. П., Трифонова О. М., Сліпучіна І. А., Войтович І. С. Луцьк: Волинь поліграф, 2011. 292 с.
7. Сальник І. В. Інтеграція реального та віртуального фізичного експерименту в старшій школі: дис. ... докт. пед. наук: 13.00.02. Кіровоград, 2016. 498 с.
8. Сальник І. В. Віртуальне та реальне у навчальному фізичному експерименті старшої школи: теоретичні основи: монографія. Кіровоград: ФОП Александрова М. В., 2015. 324 с.
9. Сірик Е. П., Величко С. П. Нове навчальне обладнання для спектральних досліджень: посібник для студ. фіз.-мат. фак-тів вищих навч. закл. Кіровоград: ТОВ «Імекс ЛТД», 2008. 202 с.

References:

1. Velychko, S.P., & Shulga, S.V. (2019). Otsinka efektyvnosti i systemy rozvytku piznavalnoi diialnosti studentiv z kvantovoi fizyky komp'iuterno oriietovanyamy zasobamy navchannia [Assessment of effectiveness and development systems of cognitive activity of students in quantum physics with computer-oriented teaching tools]. *Naukovi zapysky, Serii: Pedagogichni nauky*, issue 179. P. 32–38 [in Ukrainian].
2. Velychko, S.P., Somenko, D.V., & Slobodanyk, O.V. (2013). Laboratornyi praktykum zi spetskursu "EOT u navchalno-vykhovnomu protsesi z fizyky": posibn. dlia stud. fizmat. fak.-tu [Laboratory workshop on the special course "EOT in the educational process in physics": manual for students of the faculty of physics and mathematics]. Kirovohrad: RVV KDPU im. V. Vynnychenka. 192 p. [in Ukrainian].
3. Velychko, S.P., & Kostenko, L.D. (2002). Vyvchennia osnov kvantovoi fizyky: navch. posibn. dlia stud. VNZ [Studying the basics of quantum physics: textbook for students of higher educational institutions]. Kirovohrad: RVC KDPU. 274 p. [in Ukrainian].
4. Velychko, S.P., Kostenko, L.D., & Siryk, E.P. (2023). Kontseptualni zasady vyvchennia kvantovykh osnov fizyky u ZZSO ta ZVO [Conceptual principles of studying quantum fundamentals of physics in secondary and higher educational institutions]. Kropyvnytskyi: Eksklyuziv-System. 228 p. [in Ukrainian].
5. Zhuk, Yu.O. (2017). Teoretyko-metodychni zasady orhanizatsii navchalnoi diialnosti starshoklasnykiv v umovakh kompiuterno oriietovanoho seredovyshcha navchannia: monohrafiia [Theoretical and methodological principles of organizing the educational activity of high school students in a computer-oriented learning environment: monograph]. Kyiv: Pedagogichna dumka. 468 p. [in Ukrainian].

6. Metodyka i tekhnika eksperymentu z optyky (2011): Posibnyk dlia studentiv fizychnykh spetsialnostei vyshchyykh pedahohichnykh navchalnykh zakladiv ta vchyteliv fizyky / Sadovyi M.I., Serhienko V.P., Tryfonova O.M., Slipukhina I.A., Voitovych I.S. [Methodology and technique of optics experiment: Manual for students of physical specialties of higher pedagogical educational institutions and physics teachers]. Lutsk: Volynpolihraf. 292 p. [in Ukrainian].

7. Salnyk, I.V. (2016). Intehratsiia realnoho ta virtualnoho fizychnoho eksperymentu v starshei shkoli [Integration of real and virtual physics experiment in high school]. *Doctor's thesis*. Kirovohrad. 498 p. [in Ukrainian].

8. Salnyk, I.V. (2015). Virtualne ta realne u navchalnomu fizychnomu eksperymenti starshei shkoly: teoretychni osnovy: [monohrafiia] [Virtual and real in educational physical experiment of high school: theoretical foundations: monograph]. Kirovohrad: FO-P Oleksandrova M.V. 324 p. [in Ukrainian].

9. Siryk, E.P., & Velychko, S.P. (2008). Nove navchalne obladdnannia dlia spektralnykh doslidzhen: posib. [dlia stud. fiz.-mat. fak-tiv vishchyykh navch. zakl.] [New educational equipment for spectral studies: manual for students of physical and mathematical faculties of higher educational institutions]. (2nd ed., revised). Kirovohrad: Imeks LTD. 202 p. [in Ukrainian].