

Теорія та методика навчання фізики, астрономії

УДК 53:004.76(045)

DOI: 10.31652/2786-5754-2023-5-14-22

Демкова В.О.

кандидат педагогічних наук,
викладач кафедри науково-природничих
та математичних дисциплін,

Комунальний заклад вищої освіти
«Вінницький гуманітарно-педагогічний коледж»

ORCID ID 0000-0001-8445-6520

e-mail: vitademkova@gmail.com

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ З ФІЗИКИ ЗАСОБАМИ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті описано структуру та контентне наповнення навчального посібника з фізики «Лабораторні роботи засобами хмарних технологій» для здобувачів освіти закладів фахової передвищої освіти. Проаналізовано важливість модернізації освітнього процесу з фізики загалом та підходів до проведення лабораторних робіт зокрема методами сучасних інформаційно-комунікаційних та хмарних технологій. Обґрунтовано важливість і переваги цифровізації освітнього процесу з фізики через використання хмарних сервісів, віртуальних лабораторних робіт, симуляторів, мобільних додатків, флеш-анімацій тощо. Детально описано теоретичний та практичний блоки посібника. Теоретичний блок представлений трьома розділами й наповнений дидактичними і методичними матеріалами, які містять рекомендації, поради та правила організації, підготовки і проведення фізичного експерименту. Практичний блок посібника представлений одним розділом «Лабораторні роботи», де представлено інструкції до семи лабораторних робіт. Особливістю таких робіт є використання для проведення експерименту віртуальних лабораторій, симуляторів, хмарних середовищ для перевірки фізичних законів, дослідження фізичних явищ та визначення фізичних величин. В статті наведено приклад інструкції до лабораторної роботи «Визначення показника заломлення світла на межі поділу двох середовищ». Дослідження, наведене в цьому експерименті, проводиться з використанням фізичного симулятора «Заломлення світла» сайту Phet.colorado.edu – сайту університету Колорадо. Описано детально і покроково хід роботи з вимірювання показника заломлення світла на межі поділу двох середовищ. Порядок виконання деяких завдань проілюстровано відповідними зображеннями екрану фізичного симулятора «Заломлення світла». Наведено матеріали для опитування і контролю навчальних досягнень студентів, серед яких виокремлено три напрями запитань і завдань за дидактичною метою: для перевірки засвоєння знань, для перевірки сформованості умінь і навичок, для перевірки сформованості переконань. Даний посібник пройшов апробацію в групах студентів гуманітарного профілю закладів фахової передвищої освіти. На Всеукраїнському конкурсі «Педагогічний ОСКАР – 2023» посібник зайняв II місце у номінації «Інноваційні підходи до організації практичної підготовки здобувачів освіти закладу фахової передвищої освіти».

Ключові слова: електронний навчально-методичний посібник; інформаційно-комунікаційні технології; навчання фізики; сучасні дидактичні засоби; хмаро орієнтоване середовище.

Demkova V.O.

Candidate of Pedagogical Sciences,
Teacher of the department of science and natural sciences
and mathematical disciplines
Communal institution of higher education
«Vinnytsia Humanitarian and Pedagogical College»
ORCID ID 0000-0001-8445-6520
e-mail: vitademkova@gmail.com

PHYSICS LABORATORY WORK USING CLOUD TECHNOLOGIES

The article describes the structure and content of the physics textbook «Laboratory work using cloud technologies» for students of vocational higher education institutions. The importance of modernizing the educational process in physics in general and approaches to conducting laboratory work in particular using the methods of modern information and communication and cloud technologies are analyzed. The importance and advantages of digitization of the educational process in physics through the use of cloud services, virtual laboratory works, simulators, mobile applications, flash animations, etc. are substantiated. The theoretical and practical blocks of the manual are described in detail. The theoretical unit is represented by three sections and is filled with didactic and methodical materials that contain recommendations, advice and rules for organizing, preparing and conducting a physical experiment. The practical unit of the manual is represented by one section «Laboratory works», which presents instructions for seven laboratory works. A feature of such works is the use of virtual laboratories, simulators, and cloud environments for testing physical laws, researching physical phenomena, and determining physical quantities. The article provides an example of instructions for laboratory work «Determining the index of refraction of light at the boundary of separation of two media». The research presented in this experiment is carried out using the «Refraction of Light» physical simulator of the website Phet.colorado.edu - the website of the University of Colorado. The process of measuring the refractive index of light at the boundary between two media is described in detail and step by step. The order of performing some tasks is illustrated by the corresponding screen images of the «Refraction of Light» physics simulator. The materials for surveying and monitoring the educational achievements of students are given, among which three directions of questions and tasks are singled out for the didactic purpose: to check the assimilation of knowledge, to check the formation of skills and abilities, to check the formation of beliefs. This manual has been tested in groups of students of the humanitarian profile of institutions of vocational pre-higher education. At the All-Ukrainian competition «Pedagogical OSCAR – 2023», the manual won the 2nd place in the nomination «Innovative approaches to the organization of practical training of students of vocational pre-university education».

Key words: *electronic educational and methodical manual; information and communication technologies; teaching physics; modern didactic tools; cloud oriented environment.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із важливих напрямів реформування освіти в Україні є орієнтація на інтереси особистості студента, удосконалення навчально-виховного процесу, доступність та ефективність освіти, підготовка молодого покоління до життєдіяльності в інформаційному суспільстві, що досягається шляхом формування та впровадження інформаційного освітнього середовища в системі вищої освіти, застосування в освітньому процесі інформаційно-комунікаційних технологій поряд з традиційними засобами навчання.

На основі соціального запиту на висококваліфікованого фахівця виникає потреба в модернізації прийомів та способів ефективного набуття знань, підвищення якості природничо-математичної підготовки. Діяльнісний та компетентнісний підходи особистості до навчання

потребують урізноманітнення форм, методів і способів організації навчальних занять з фізики, а технічні та технологічні можливості сьогодення сприяють інтеграції в освітньому процесі як класичних, так й інноваційних методик формування практичних умінь майбутніх фахівців.

Фізика в широкому сенсі – це наука, що вивчає найпростіші і разом з тим найбільш загальні закономірності явищ природи, властивості і будову матерії, а також закони її руху. Фізика та її закони лежать в основі усього природознавства.

Сприяючи розвитку фізичного мислення студентів, пізнанню ними сучасної фізичної картини світу, вивчення фізики не лише формує науковий світогляд, але й закладає фундамент для засвоєння спеціальних дисциплін.

Фізика є дослідною наукою. Дослід, поряд із спостереженням, є формою емпіричного пізнання об'єктивної дійсності, одним із основних методів наукового дослідження. Експеримент має вирішальне значення для пізнання навколишньої природи як первинне джерело пізнання і як критерій істинності гіпотез, теорій. Вивчення фізики неможливе без проведення лабораторних занять, під час яких студент має навчитися самостійно відтворювати й аналізувати основні фізичні явища, співставляти їх із теорією. При виконанні експерименту студент засвоює також елементарні навички роботи в лабораторії та роботи з фізичними приладами. На жаль, за останні роки перебування освітніх закладів на дистанційній формі навчання, не завжди у студентів є можливість виконати експеримент в класичному форматі (в лабораторії з використанням фізичних приладів і установок).

Враховуючи сказане вище, стає очевидно, що освітній процес з фізики загалом і класичний підхід до виконання фізичних лабораторних робіт зокрема, потребує модернізації із застосуванням сучасних інформаційно-комунікаційних та хмарних технологій.

Одним із шляхів реалізації цього є розробка нових експериментальних робіт з фізики, виконання яких передбачало б використання хмарних сервісів, віртуальних лабораторних робіт, симуляторів, мобільних додатків, флеш-анімацій тощо. Тобто виникає потреба цифровізації освітнього процесу з фізики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Окремих проблемам впровадження сучасних освітніх технологій в освітній процес з фізики взагалі та науковий фізичний експеримент зокрема, його дидактичним та методологічним аспектам присвячені праці П. С. Атаманчука, Л.Ю. Благодаренко, В. Ф. Заболотного, О.А. Забари, О.І. Іваницького, Л.О. Кулик, С.Г. Литвинової, О. І. Ляшенка, О.С. Мартинюка, Н. А. Мисліцької, М.О. Моклюка, Ю.М. Орищина, І.В.Сальник, В.П. Сергієнка, І.Ю. Слободянюк, К.Г. Чернобай, В.Д. Шарко, М.І. Шута.

Окремі питання розробки дидактичного забезпечення для вивчення фізики з використанням сучасних цифрових технологій висвітлено в працях В. Ф. Заболотного, М.О. Моклюка, І.Ю. Слободянюк, О.А. Забари, О.В. Мерзлікіна, О.В. Пішенка, О.М. Соколюк та інших.

Метою статті є розкриття особливостей структурного та контентного наповнення навчального посібника з фізики «Лабораторні роботи засобами хмарних технологій» для здобувачів освіти закладів фахової передвищої освіти.

Виклад основного матеріалу. На сучасному етапі розвитку освіти особливої актуальності набуває питання використання хмарних засобів навчання в освітньому процесі з фізики, які відкривають перед педагогами нові ефективні методи й підходи для модернізації методики проведення лабораторних робіт. Масове використання хмарних технологій та віртуальних середовищ в освітньому процесі закладу вищої освіти обумовлює поступову зміну й розвиток навчально-методичного забезпечення самого освітнього процесу, і, власне, методів, технологій, засобів, форм навчання. Використання сучасних технологій сприяє глибшому засвоєнню нового матеріалу особливо у тих випадках, коли є необхідність демонстрації фізичного явища або процесу, а необхідні технічні засоби для проведення реального експерименту відсутні. В таких випадках доречною альтернативою можуть стати

комп'ютеризовані лабораторні установки, віртуальні лабораторні роботи, хмаро орієнтовані засоби, які нададуть можливість проведення процесу моделювання фізичних процесів, результат котрих студент зможе перевірити за допомогою реальної фізичної установки [3, с. 109]

Хмаро орієнтовані технології – середовище для зберігання і обробки даних, яке об'єднує в собі апаратні засоби, ліцензійне програмне забезпечення, канали зв'язку, а також технічну підтримку користувачів. Особливості роботи із програмним забезпеченням полягають лише в методах обробки даних та їх зберігання. Коли усі операції відбуваються виключно на комп'ютері користувача, то це – не «хмара». Хмаро орієнтовані технології передбачають, що усі процеси відбуватимуться на сервері в мережі. Отже, це різні програмні, апаратні засоби, інструменти та методології, які надаються користувачеві, як Інтернет-сервіси, для реалізації своїх цілей, завдань, проєктів [1].

Використання хмаро орієнтованих технологій в освітньому процесі з фізики загалом і фізичному навчальному експерименті зокрема, має ряд переваг, серед яких:

- можливість вільного доступу до інформації, що зберігається на хмарі;
- усі необхідні ресурси розміщені в одному місці і надаються провайдером автоматично;
- студент має можливість роботи з різних пристроїв (смартфон, комп'ютер, планшет, ноутбук тощо), що працюють на основі різних операційних систем, браузерів;
- можливість виконання завдань у зручний для себе час та у будь-якому зручному місці (не обмежуючись лише лабораторією);
- висока технологічність пристроїв та програм надасть можливість студентам аналізувати й обробляти дані швидко, якісно і на високому технічному рівні;
- користувач має можливість змінювати кількість використовуваних ресурсів за власною потребою;
- завдяки спеціальним сучасним системам захисту забезпечується надійність хмаро орієнтованих технологій, яка обумовлює високий рівень безпеки та збереження даних користувача в хмарі;
- можливість одночасного перегляду та редагування одного і того ж контенту різними користувачами [3, с. 110]

Комп'ютерні технології, хмаро орієнтовані сервіси, віртуальні середовища можуть бути ефективно використані на різних етапах лабораторного практикуму: при проведенні лабораторних робіт у тренувальному режимі, при моделюванні складних явищ і процесів, під час перевірки знань з використанням тестування (в тому числі, з метою перевірки рівня опорних знань для виконання наступної роботи), при дистанційному навчанні. Застосування сучасних технологій дає можливість забезпечити не лише підвищення рівня мотивації у студентів до вивчення фізики, але і покращить рівень засвоєння експериментаторських знань, умінь і навичок.

Також відмітимо, що інформаційний простір кожного педагога, з огляду на вимоги сучасності та враховуючи інтереси і вподобання підлітків, обов'язково має містити віртуальну складову його діяльності [4].

Реалізація такої форми діяльності в освітньому процесі з фізики відображена нами в посібнику «Лабораторні роботи з фізики засобами хмарних технологій» [2]. Подані в посібнику інструкції до лабораторних робіт розроблені нами з метою трансформації та осучаснення освітнього процесу з фізики, забезпечення мобільності та доступності до інформації, реалізації можливості формування й розвитку експериментаторських компетентностей студентів, в тому числі в умовах дистанційного навчання. В основу розробки покладено такі дидактичні принципи: доступності, наочності, системності, практичної спрямованості та науковості.

Навчальний посібник містить такі розділи:

I. Методичні рекомендації до підготовки і виконання лабораторних робіт. Загальні положення.

II. Міжнародна система одиниць.

III. Основні поняття теорії похибок.

IV. Лабораторні роботи.

Перші три розділи складають теоретичний блок посібника. У розділі «Методичні рекомендації до підготовки і виконання лабораторних робіт. Загальні положення» подано ряд правил, яких необхідно дотримуватися при виконанні лабораторних робіт; описано особливості оформлення звіту виконаного експерименту з переліком та описанням пунктів, які обов'язково мають бути включені в звіт (тема роботи, мета роботи, перелік приладів і матеріалів, теоретичні відомості, хід роботи, обробка результатів експерименту, висновки, відповіді на контрольні питання).

У розділі «Міжнародна система одиниць» описано основні фізичні величини та відповідні одиниці виміру цих фізичних величин. Також включено інформацію про похідні одиниці, що мають власні назви, й утворення кратних та частинних одиниць.

Третій розділ «Основні поняття теорії похибок» включає методичні матеріали, що містять основи теорії похибок та опис низки правил і прикладів їхніх обчислень. Вони будуть корисними для опанування методики оцінки похибок вимірювання фізичних величин та самостійної роботи студентів.

Практичний блок реалізований в останньому розділі «Лабораторні роботи». Тут представлено інструкції до семи лабораторних робіт:

- Дослідження коливань пружинного маятника.
- Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника.
- Визначення показника заломлення світла на межі поділу двох середовищ.
- Вивчення ізохорного процесу (закон Шарля).
- Перевірка законів послідовного та паралельного сполучення провідників.
- Вивчення трансформатора та визначення його коефіцієнта корисної дії.
- Вивчення зовнішнього фотоефекту. Визначення сталої Планка та роботи виходу електронів.

Особливістю даних експериментальних робіт є те, що вони ґрунтуються на використанні віртуальних симуляторів та хмарних середовищ для перевірки фізичних законів, дослідження фізичних явищ та визначення фізичних величин.

Наведемо приклад однієї із розроблених нами інструкцій – до лабораторної роботи «**Визначення показника заломлення світла на межі поділу двох середовищ**». Серед віртуальних навчальних середовищ, доступних користувачеві в мережі Internet, для виконання даної роботи ми обрали фізичний симулятор сайту *Phet.colorado.edu* – сайт університету Колорадо, на якому представлено колекцію phet-симуляцій природних явищ та процесів, які поділені за напрямками «Фізика», «Хімія», «Біологія», «Вивчення Землі» та «Математика». Контент сайту переважно англійською мовою, але велика частина матеріалу переведена на українську. Симуляції з фізики поділено на наступні розділи: «Рух», «Звук і хвилі», «Робота, енергія, сила», «Теплота», «Квантові явища», «Світло, випромінення» та «Електрика, магнетизм, електричне коло». Дані симуляції можуть бути використані як досить ефективний дидактичний засіб в навчальному процесі з метою формування експериментаторських компетентностей.

Мета роботи: дослідити явище заломлення світла на межі поділу двох середовищ; визначити показник заломлення світла для різних середовищ.

Віртуальний симулятор: Phet.colorado «Заломлення світла» [5].

https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_en.html

Теоретичні відомості

Показник заломлення або абсолютний показник заломлення — це характерне для середовища число, яке визначає в скільки разів швидкість розповсюдження світла в середовищі менша за швидкість світла у вакуумі.

Похилі промені світла на межі розділу двох середовищ змінюють напрям руху, або заломлюються.

Закон Снелліуса:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}$$

де α — кут падіння, γ — кут заломлення.

Величину

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

називають **відносним показником заломлення** середовища 2 відносно середовища 1.

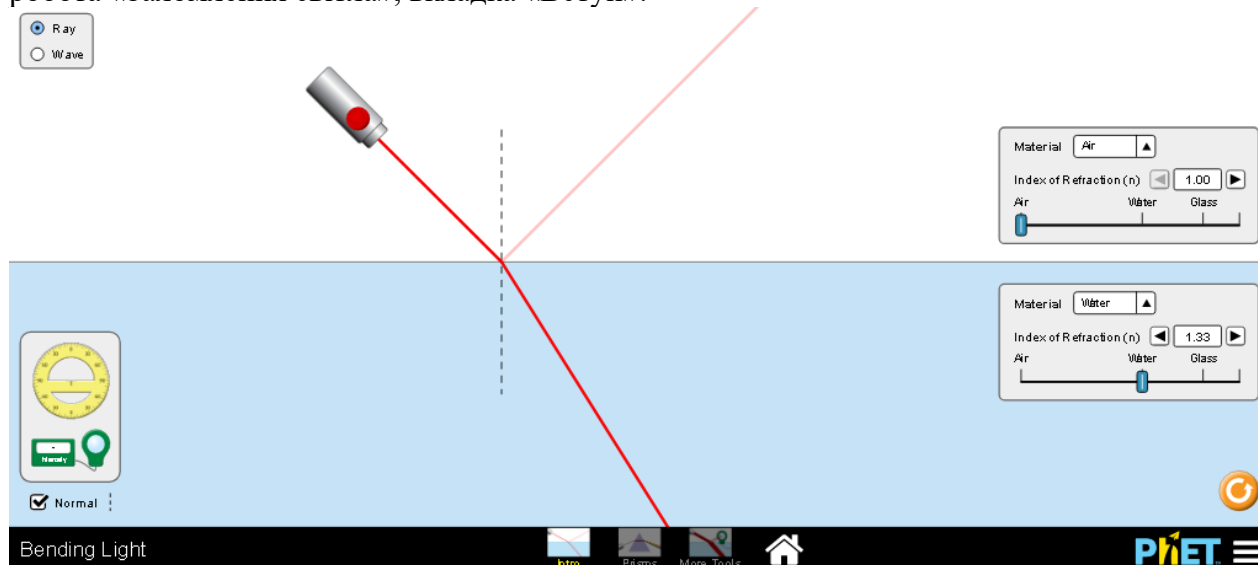
Показник заломлення світла n — це безрозмірна фізична величина, що характеризує оптичну густину даного середовища відносно іншого.

Відносний показник заломлення другого середовища відносно першого — це відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох даних середовищ.

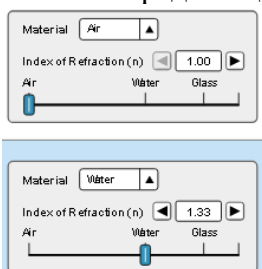
Для вимірювання показника заломлення світла на межі поділу двох середовищ, потрібно виділити вузький світловий пучок, вісь якого являє собою світловий промінь. Отримати не менше двох променів: падаючий і заломлений. Виміряти кути падіння і заломлення. Показник заломлення речовини визначається на основі закону заломлення $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$.

Хід роботи

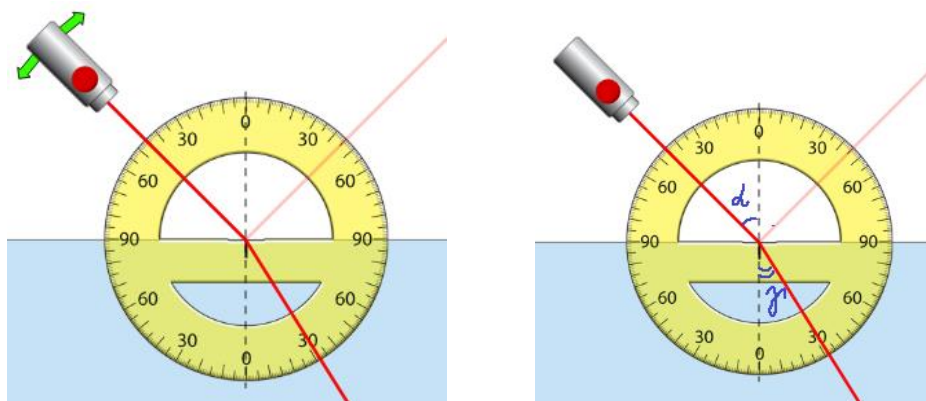
1. У вікні браузера відкрийте віртуальний симулятор Phet.colorado.edu, лабораторна робота «Заломлення світла», вкладка «Вступ».



2. Оберіть два різні середовища для проведення експерименту. За замовчуванням встановлено: середовище 1 – повітря (Air), середовище 2 – вода (Water).



3. Встановіть транспортир і виміряйте значення кутів падіння α та заломлення γ . Дані занесіть в таблицю.



4. Обчисліть значення відносного показника заломлення світла на межі двох середовищ n_{21} за формулою:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$

5. Проведіть дослідження для цих же середовищ, змінивши кут падіння променя α . Виміряйте значення кута заломлення γ . Обчисліть відносний показник заломлення n_{21} .

6. Дослід проведіть не менше ніж для 3-х різних кутів падіння світлового променя α .

7. Знайти середнє значення n_{21} для трьох вимірів.

$$n_{\text{ср}} = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3}$$

Дані занесіть в таблицю.

8. Визначити абсолютну похибку

$$\Delta n_1 = n_1 - n_{\text{ср}}; \quad \Delta n_2 = n_2 - n_{\text{ср}}; \quad \Delta n_3 = n_3 - n_{\text{ср}};$$

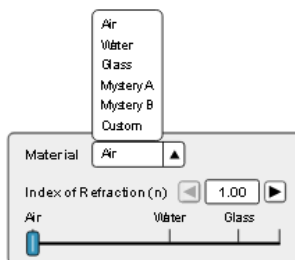
$$\Delta n_{\text{ср}} = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3}{3}$$

9. Визначити відносну похибку

$$\varepsilon = \frac{\Delta n_{\text{ср}}}{n_{\text{ср}}} \cdot 100\%.$$

№ досліду	Середовища 1-2	α	γ	$\sin \alpha$	$\sin \gamma$	n_{21}	Δn	$\varepsilon, \%$
1	Повітря – вода							
		Середнє значення $n_{\text{ср}}$						
2								
		Середнє значення $n_{\text{ср}}$						
3								
		Середнє значення $n_{\text{ср}}$						
...								

10. Оберіть іншу комбінацію двох середовищ для проведення експерименту з визначення відносного показника заломлення.



11. Виконайте пункти 3–9 для іншої комбінації середовищ. Дані занесіть в таблицю.
12. Проаналізуйте результати експерименту, зробіть висновки.

Контрольні запитання

1. Наведіть приклади відбивання і заломлення світла в навколишньому середовищі.
2. Чи буде вихідний промінь паралельний падаючому, якщо перед пластинкою і за нею різні середовища?
3. За яких умов світло не заломлюється при переході через межу розділу двох середовищ і кут падіння дорівнює куту заломлення?
4. Чому світловий промінь заломлюється при переході з одного середовища в інше?
5. Вкажіть причини виникнення похибок в даному експерименті.
6. Чи зміниться показник заломлення, якщо збільшити кут падіння променів?
7. Чи може кут падіння бути меншим за кут заломлення?
8. Чи може кут заломлення бути рівним нулю?

Для самоперевірки студентом і перевірки викладачем ступеня готовності студента до виконання лабораторної роботи чи рівня засвоєння пройденого навчального матеріалу традиційно використовують контрольні запитання. Нами запропоновано завдання і запитання для підсумкового контролю, які умовно розділено за трьома напрямками:

- *завдання і запитання для перевірки засвоєння знань* – включають здатність до відтворення навчального матеріалу; спроможність до свідомого, продуктивного та активного віддзеркалення усіх елементів навчального матеріалу в будь-якій структурі викладу;

- *завдання і запитання для перевірки сформованості умінь і навичок* – включають здатність до застосування засвоєних знань в практичній діяльності, в тому числі в нестандартних ситуаціях; здатність до використання навчального матеріалу на підсвідомому автоматизованому рівні в однотипних стандартних ситуаціях;

- *завдання і запитання для перевірки сформованості переконань* – включають здатність до світоглядного обґрунтування змісту навчального матеріалу та його використання в повсякденному житті, нестандартних ситуаціях тощо.

Такий розподіл контрольних питань і завдань допоможе розвивати творчі здібності студентів; встановлювати зв'язки і залежності між процесами і явищами, законами, поняттями, величинами; узагальнювати класифікувати й систематизувати об'єкти та поняття; виділяти характерні риси фізичних процесів та явищ, впроваджувати особистісний і діяльнісний підходи до навчання фізики. Такий вид роботи формує у студентів здатність до постановки, проведення, опрацювання результатів самостійного експерименту; здатність до користування вимірювальними приладами; розвиток критичного мислення; здатність користуватися засобами інформаційно-комунікаційних технологій для планування та проведення експерименту; розвиток у студентів навичок аналізу достовірності отриманої інформації; формування і розвиток навичок практичного використання в освітніх цілях різноманітного мультимедійного контенту.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У нашому навчальному посібнику «Лабораторні роботи з фізики засобами хмарних технологій» реалізовано методику організації і проведення фізичного лабораторного експерименту на основі інтеграції мультимедійних засобів

та хмарних технологій в традиційний фізичний експеримент. Це забезпечує удосконалення освітнього процесу через його цифровізацію – впровадження на всіх рівнях сучасних інформаційно-комунікаційних засобів і технологій, що забезпечить доступність та ефективність освіти й підготовку майбутніх фахівців до діяльності в інформаційному суспільстві; дозволить розробляти й використовувати сучасні дидактичні засоби з метою розширення та поглиблення знань, умінь, навичок в області фізичного експерименту.

Велика увага в посібнику приділяється самостійній підготовці студентів до виконання лабораторних робіт з фізики, адже важливим завданням навчального процесу є розвиток здібностей студентів до самостійної діяльності.

Дані матеріали можуть бути використані викладачами в практичній діяльності та студентами під час виконання фізичного практикуму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бучинська Д. Л. Використання хмаро орієнтованих технологій для удосконалення професійної діяльності викладача. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2016. № 2. С. 120-126.
2. Демкова В.О. Лабораторні роботи з фізики засобами хмаро орієнтованих технологій. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2022. 88 с.
3. Демкова В.О. Формування експериментаторської складової фахової компетентності майбутніх учителів фізики та природничих наук в освітньому процесі з фізики: дис. на здоб. наук. ступ. канд. пед. наук: 13.00.02. Київ, 2020. 291 с.
4. Слободянюк І. Ю. Електронний навчально-методичний комплекс з фізики для учнів класів суспільно-гуманітарного напрямку. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. Том 74. №6. С. 43–55. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/3164/1593> (дата звернення: 14.09.2023).
5. Фет-симулятор з фізики «Заломлення світла». URL: https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_en.html (дата звернення: 14.09.2023).

REFERENCES

1. Buchynska, D.L. (2016) Vykorystannia khmaro oriientovanykh tekhnolohii dlia udoskonalennia profesiinoi diialnosti vykladacha. *Vidkryte osvithne e-seredovyshe suchasnoho universytetu – Open educational e-environment of a modern university*, 2, 120-126 [in Ukrainian].
2. Demkova, V.O. (2022) Laboratorni roboty z fizyky zasobamy khmaro oriientovanykh tekhnolohii. Vinnytsia: TOV «Vinnytska miska drukarnia» [in Ukrainian].
3. Demkova, V.O. (2020) Formuvannia eksperymentatorskoi skladovoi fakhovoi kompetentnosti maibutnikh uchyteliv fizyky ta pryrodnychyykh nauk v osvithnomu protsesi z fizyky. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
4. Slobodianiuk, I. Yu. (2019) Elektronnyi navchalno-metodychnyi kompleks z fizyky dlia uchniv klasiv suspilno-humanitarnoho napriamu. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia – Information technologies and teaching aids*. Vol 74, 6, 43–55. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/3164/1593> [in Ukrainian].
5. Fet-symulator z fizyky «Zalomlennia svitla». URL: https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_en.html [in Ukrainian].

Статтю надіслано до редколегії 15.09.2023 р.
Статтю рекомендовано до друку 25.09.2023 р.