

компонент змісту шкільного курсу фізики, орієнтуючись на сучасні, високотехнологічні галузі техніки; практичні методи навчання фізики; застосовувати різноманітні форми організації навчальних занять, віддаючи перевагу тим, де максимально проявляється ініціатива та творчі здібності учнів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бібік Н. М. Компетенції і компетентність у результатах початкової освіти/ Бібік Н. М. // Педагогічна і психологічна наука в Україні : зб. наук. Праць: в 5 т. – Т.3 : Загальна середня освіта. – К. : Педагогічна думка, 2012. – С. 75-86.
2. Заболотний В.Ф. Дидактичні засади застосування мультимедіа у формуванні методичної компетентності майбутніх учителів фізики : дис. ... д. пед. наук : 13.00.02 / Заболотний Володимир Федорович. – К., 2010. – 482 с.
3. Савченко О. Я. Ключові компетентності – інноваційний результат шкільної освіти/ Рідна школа. – 2011. – № 8-9. – С. 4-8.
4. Терентьева Н. О. Развитие политехнической освіти у высших педагогических учебных заведениях Украины (XX столетия): Дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01. – Черкаси, 2007. – 243 с.
5. Концепція розвитку освіти України на період 2015-2020 років. Проект.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://reforms.in.ua/sites/default/files/upload/docs/project_30102014_2.pdf

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Закалюжний Віктор Миколайович – кандидат педагогічних наук, доцент, докторант НПУ ім.М.П. Драгоманова.

Коло наукових інтересів: формування ціннісних орієнтацій учнів в умовах модернізації фізичної освіти.

ВИКОРИСТАННЯ АНАЛОГІЙ В МОДЕЛЮВАННІ АТОМНИХ ЯДЕР НА ПРИКЛАДІ ОДНОЧАСТИНКОВИХ МОДЕЛЕЙ

Олександр ЛЕБЕДЬ, Володимир МИСЛІНЧУК, Олег ДЕЙНЕКА

У статті здійснено огляд виникнення, розвитку та формування одночастинкових моделей ядер. Автори наводять приклади використання методу аналогій в навчальному процесі вищої школи під час вивчення спеціальних тем ядерної фізики.

The article presents an overview of the emergence, development and formation of one particle models of nuclei. The authors give examples of the use of the benchmarking method in the educational process of higher school in the study of special topics in nuclear physics.

Постановка проблеми та аналіз актуальних досліджень. Проблема розвитку продуктивного мислення, творчих здібностей студентів на заняттях з фізики відноситься до кола найбільш актуальних і складних завдань для викладача. Особливо це стосується навчання фізики студентів нефізичних спеціальностей. Умовно поділяючи навчальну діяльність на два види: продуктивну і репродуктивну, слід розуміти, що вони діалектично взаємопов'язані. Їх взаємні зв'язки обумовлені структурою та змістом завдання, об'ємом знань, рівнем розвитку студента.

Мислення, як процес узагальненого та опосередкованого пізнання дійсності, завжди включає в себе елементи продуктивності, і там, де питома вага їх достатньо висока, кажуть про продуктивне мислення як про особливий вид діяльності. Якщо завдання знайоме тому, хто його повинен вирішувати, то його аналіз приводить до відтворення наявних асоціацій. Тут превалюють репродуктивні моменти, процеси пригадування [1].

На жаль, процес навчання фізики (особливо, студентів нефізичних спеціальностей) у сучасній вищій школі має, як правило, репродуктивний характер.

Проблема розвитку продуктивного мислення студентів полягає у планомірному систематичному формуванні у них прийомів продуктивної діяльності під час засвоєння ними змісту фізики як наукової дисципліни. До одних з таких прийомів відноситься метод перенесення фізичних знань. Цей прийом відіграє дуже важливу роль у фізичному пізнанні тому, що він лежить в основі таких дійових методів, як аналогія, моделювання, інтерполяція, екстраполяція, фізична індукція. За допомогою **аналогії** (міжсистемного перенесення знань) була побудована електромагнітна теорія Максвелла, електронна теорія речовини Лоренца, оптика Френеля та ін.

У попередніх статтях [2, 3, 4, 5, 6] ми докладно зупинились на необхідності широкого застосування методу аналогій при викладанні курсу ядерної фізики для студентів природничих спеціальностей вищих навчальних закладів. Найчастіше даний метод рекомендуємо застосовувати при вивченні теми «Моделі ядер». На сьогодні існує три групи моделей ядер, в яких за основу їх будови беруть подібність певному агрегатному стану речовини (рис. 1):

1. **Колективні моделі** – моделі з сильною взаємодією нуклонів (ядро як тверде тіло, що складається з нуклонів, або нуклонна рідина);

2. **Одночастинкові моделі** – моделі незалежних частинок (нуклонний газ, обмежений об'ємом ядра);

3. **Узагальнені моделі** – моделі, які об'єднують особливості колективних та одночастинкових моделей (ядро є згустком ядерної матерії певної форми, оточеної декількома зовнішніми нуклонами. Властивості остова (кора) описується однією із моделей першої групи, властивості зовнішніх нуклонів – моделлю з другої групи). Крім того, вводиться більш або менш інтенсивна взаємодія між колективними (кор) і одночастинковими (зовнішні нуклони) ступенями вільності. Аналогією таких моделей є двофазна система – згусток рідини (або тверде тіло здатне до деформацій), що знаходиться в динамічній рівновазі зі своєю парою [7].

4. Слід відмітити, що використання класичних аналогій агрегатних станів ядер в одночастинкових і колективних моделях базується на протилежних і взаємно виключаючих припущеннях [5, 6]. Допустимість таких припущень в ядерній фізиці ґрунтується на тому, що на рух нуклонів у ядрі не можна буквально переносити уявлення, запозичені з класичної фізики суцільних середовищ. По-перше, тому, що в ядрі, навіть найважчому, не так багато частинок, щоб без будь-яких застережень оперувати з ним як із суцільним середовищем і використовувати статистичні методи. По-друге, і, це головне, рух нуклона в ядрі істотно квантовий.

5. Розглянемо моделі другої групи (одночастинкові моделі). До них відносяться модель ядерного Фермі-газу (ФГМ) та оболонкові моделі. У даних моделях враховуються ступені вільності, які описують рух індивідуальних нуклонів. Назва групи моделей відображає той факт, що у них постулюється довжина вільного пробігу нуклона в ядрі набагато більшою розмірів ядра ($l \gg R$). Моделі передбачають, що в першому наближенні взаємодія нуклонів призводить до виникнення середнього ядерного поля, в якому частинки рухаються незалежно одна від одної. Таким чином, у даних моделях за аналог

ядра приймається нуклонний газ, обмежений формою ядра, до якого можна застосувати поняття динамічного тиску та термодинамічної температури Фермі-газу.

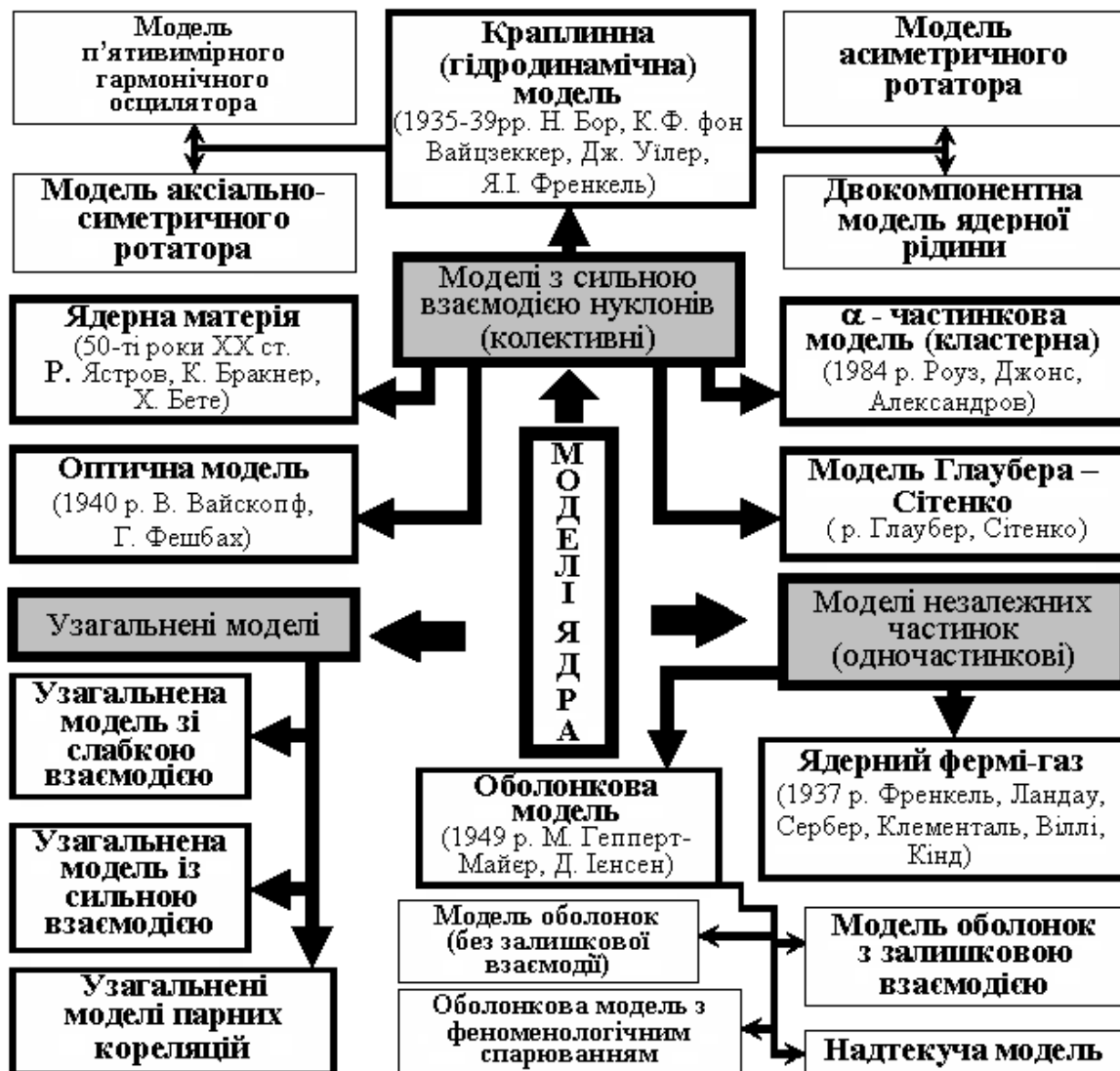


Рис. 1. Моделі атомних ядер.

Модель Фермі-газу – найпростіша одночастинкова модель. В даній моделі ядро трактується як ідеальний Фермі-газ, який складається з нуклонів, що не взаємодіють між собою. Об'єм газу рівний об'єму ядра, поверхневі ефекти не враховуються. Теорію для такого газу стосовно ядра створили Френкель і Ландау (1937 р.). Цю модель в своїх роботах використовували Сербер, Клементаль, Віллі, Кінд. Підставою для введення ФГМ є та обставина, що лише незначна частина об'єму ядра зайнята нуклонами: оскільки розмір нуклона в ядрі $\sim 0,45 \cdot 10^{-15}$ м, середня відстань між нуклонами в ядрі [5] – $2,15 \cdot 10^{-15}$ м, то нуклонами зайнята тільки $\sim 1/50$ об'єму ядра.

Визначимо глибину потенціальної ями, при якій вона зможе утримувати нуклони в межах радіуса ядра R . Основному стану ядра відповідає найнижчий стан Фермі-газу при температурі абсолютного нуля. Усі нижчі енергетичні стани заповнені нуклонами, тобто Фермі-газ протонів і нейтронів є виродженим.

Об'єм фазового простору для частинок, що мають імпульси $p \leq p_F$, (p_F – імпульс нуклона, який знаходиться на рівні Фермі) дорівнює об'єму імпульсного простору всередині сфери Фермі $V_p = \frac{4}{3}\pi p_F^3$, помноженому на об'єм ядра $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \approx \frac{4}{3}\pi \cdot r_0^3 A$. Тут ми скористалися формулою для радіуса ядра $R \approx r_0 A^{1/3}$, ($r_0 = 1,3 \cdot 10^{-15}$ м).

Кількість нуклонів в ядрі дорівнює об'єму ядра, помноженому на об'єм фазового простору, поділеному на об'єм комірки фазового простору $(2\pi\hbar)^3$, помноженому на два напрямки спіна і на два види частинок (протонів і нейтронів)

$$A = Z + N = \frac{V_p V}{(2\pi\hbar)^3} \cdot 2 \cdot 2 = \frac{4}{3}\pi p_F^3 \frac{4}{3}\pi r_0^3 A \frac{4}{(2\pi\hbar)^3}. \tag{1}$$

Скоротивши в (1) на A , можна отримати

$$p_F = \frac{(9\pi)^{1/3} \hbar}{2r_0} \approx \frac{1,5\hbar}{r_0} = 1,23 \cdot 10^{-19} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{С}}. \tag{2}$$

Максимальна швидкість нуклона в ядрі $v = \frac{p_F}{m_N} \approx \frac{c}{4}$ (c – швидкість світла).

Максимальна кінетична енергія нуклона в ядрі $T_{\max} = \frac{p_F^2}{2m_N} \approx 30 \text{ MeV}$. Оскільки середня енергія зв'язку нуклона в ядрі $\sim 8 \text{ MeV}$, то глибина потенціальної ями для нуклонів в ядрі в ФГМ $U_0 = 30 + 8 = 38 \text{ MeV}$.

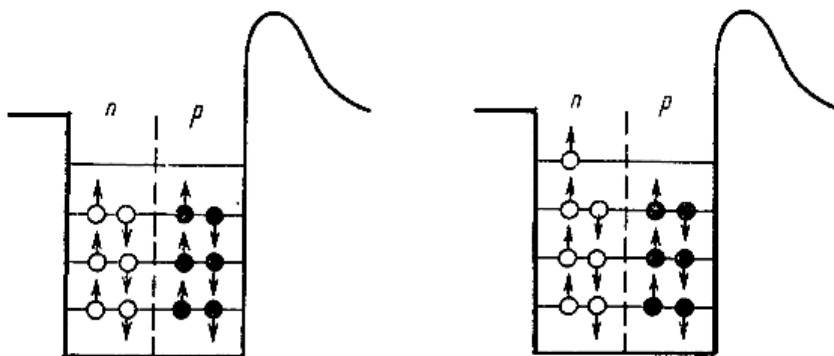
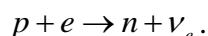


Рис. 2. Приклади потенціальних ям для: а) ядер з парним числом нуклонів; б) ядер з непарним числом нейтронів. Протонна підсистема ядра має кулонівський бар'єр

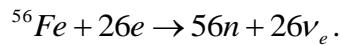
Особливу роль відіграє модель Фермі-газу в астрофізиці. У процесі еволюції зірок можливі процеси вибуху наднових, які призводять до утворення або чорних дір або нейтронних зір. Частка зір залежить насамперед від їх маси. Під час вибуху в ядрах атомів зірки відбувається перетворення протонів на нейтрони завдяки зворотній реакції β -розпаду



При цьому процес звичайного β -розпаду утворених вільних нейтронів заборонений принципом Паулі для електронів (густина речовини настільки велика, що всі рівні енергії

електронів зайняті, включаючи і ті, які могли б бути зайняті електронами, що випускаються в цьому розпаді).

«Вигоряння» протонів призводить до зникнення залізного «кора» зірки і перетворення її в нейтронний Фермі-газ



Гравітаційне стиснення зірки компенсується тиском Фермі-газу. Виходячи з ФГМ можна запропонувати студентам задачу з оцінки радіуса нейтронної зірки.

Задача. З розрахунків за даними доплерівського зсуву випромінювання нейтронних зір відомо, що їх маса складає приблизно півтори маси Сонця. Виходячи з ФГМ оцініть радіус такої зорі.

Розв'язок. З умови задачі, маса нейтронної зорі $M = 1,5 \cdot M_c = 3 \cdot 10^{30}$ кг, де M_c – маса Сонця. Тоді кількість нейтронів у зорі:

$$N = \frac{M}{m_N} = \frac{3 \cdot 10^{30}}{1,67 \cdot 10^{-27}} = 1,8 \cdot 10^{57}$$

В рамках ФГМ до нейтронної зорі можна відноситися як до велетенського атомного ядра, заповненого нейтронним Фермі-газом. Тоді радіус такого ядра буде визначатись із формули

$$R \approx 1,3N^{1/3} \cdot 10^{-15} = 1,3 \cdot (1,8 \cdot 10^{57})^{1/3} \cdot 10^{-15} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ (м)},$$

де N – кількість нейтронів в ядрі.

Такий же результат можна отримати, використавши розрахунки концентрації нуклонів в ядрі. Розглянемо нейтронну зірку як гігантське ядро з нейтронами, концентрація яких в ньому складає згідно [5] $n \approx 10^{44} \frac{\text{нейтрон}}{\text{м}^3}$. Тоді об'єм зірки $V = \frac{N}{n}$ і її радіус

$$R = \sqrt[3]{\frac{3N}{4\pi n}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1,8 \cdot 10^{57}}{4\pi \cdot 10^{44}}} = 1,62 \cdot 10^4 \text{ (м)}.$$

Область застосування ФГМ невелика: обчислення глибини ефективної ядерної потенціальної ями; якісне пояснення насичення ядерних сил та ефекту симетрії β -стабільних ядер (для них $N \approx Z \approx \frac{A}{2}$); опис випускання частинок як процес випаровування; опис розподілу нуклонів за імпульсами, важливий для розуміння особливостей протікання певних ядерних реакцій.

Як варіант ФГМ для важких ядер можна розглядати **статистичну модель ядра** (Френкель – 1936 р., Ландау – 1937 р.) При високих енергіях збудження ядер (6-7 MeV) кількість рівнів у середніх і важких ядрах дуже велика, а, отже, відстань між рівнями мала. Встановити за цих умов квантові характеристики кожного окремого рівня і неможливо, і не потрібно. Доцільно ввести поняття густини рівнів з даними спіном, ізоспіном і т. д., тобто кількість рівнів з даними характеристиками, що припадають на одиничний інтервал енергії. Залежність густини рівнів енергії описується за допомогою статистичної (термодинамічної) моделі ядра, яка розглядає збудження як нагрів Фермі-газу (точніше, Фермі-рідини) нуклонів, пов'язуючи енергію збудження з температурою ядра. Дана

модель описує не тільки розподіл рівнів, а й розподіл ймовірностей випромінювання – квантів при переході між збудженими станами ядра атома, які знаходяться на великій відстані від дна потенціальної ями. Статистична модель ядра дозволяє врахувати і поправки, пов’язані з наявністю в ядрі оболонки.

Оболонкова модель ядер. Періодичність, яка спостерігається у властивостях ядер, нагадує періодичну зміну атомних властивостей в залежності від заповнення електронних оболонки. Так атоми, що мають 2, 10, 18, 36, 54, 86 електронів, є особливо стійкими з точки зору хімічних властивостей (інертні гази). Аналогічно, ті ядра, які мають в своєму складі 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 протонів або нейтронів («магічні» ядра) володіють підвищеною питомою енергією зв’язку в порівнянні з сусідніми за кількістю нуклонів ядрами. Якщо ж в ядрі «магічна» кількість і протонів і нейтронів, то такі ядра називають «двічі магічними». Головною ідеєю оболонкових моделей є положення, що у ядер подібно до електронних оболонки атомів існують свої нуклонні оболонки і в «магічних» ядер вони повністю заповнені. Вперше на особливу стійкість ядер з магічним числом нейтронів або протонів звернули увагу Бартлет (1932 р.) і Ельзассер (1933 р.). Ельзассер спробував зрозуміти стабільність «магічних» ядер, припускаючи що нуклони, подібно електронам в атомі, рухаються незалежно один від одного в одночастинковій потенціальній ямі. Однак, він зміг пояснити тільки три перших магічних числа: 2, 8 і 20.

В атомах взаємодія між електронами набагато слабша їх взаємодії з ядром. Для описання багатоелектронних систем використовується метод самоузгодженого поля. При цьому в нульовому наближенні, вважають, що електрони рухаються незалежно один від одного в самоузгодженому полі ядра. Тоді, для нуклонів ядра, потенціал поля, що діє на k -тий нуклон з боку інших нуклонів можна розглядати як суму трьох доданків

$$V_k = V_0(r) + V_1(r)(\hat{l}\hat{s}) + \sum_{i=1, j \neq k}^N V_{ik}(r_{ik}), \quad (3)$$

де перший доданок – потенціал самоузгодженого поля ядра, аналогічний потенціалу самоузгодженого поля електронів, другий – потенціал спин-орбітальної взаємодії, а третій – потенціал слабкої залишкової взаємодії.

Іншими словами, реальна взаємодія між нуклонами представляється у вигляді суми домінуючого впливу на них самоузгодженого поля і достатньо слабкої залишкової взаємодії. Варіанти оболонкової моделі розрізняються методами впливу залишкової взаємодії. В першому варіанті, запропонованому М. Гепперт-Майер і, незалежно, Д. Іенсенем, О. Хакселем і Г. Зюссом в 1949 році і названому просто **моделлю оболонки**, залишкова взаємодія повністю нехтується, тобто в потенціалі (3) є тільки перший доданок і нуклони в ядрі рухаються абсолютно незалежно. Модель оболонки була запропонована для пояснення фактів залежності «магічних» властивостей ядер.

Область застосування: отримання магічних чисел; передбачення значень спінів, парностей і магнітних моментів основних станів «двічі магічних» ядер і ядер, які відрізняються від них на один нуклон в більшу або меншу сторону.

Оболонкова модель з феноменологічним спарюванням. На основі моделі оболонки допускається сильна залишкова взаємодія між кожними двома протонами і кожними двома нейтронами. Це приводить до їх об’єднання в пари з нульовим моментом імпульсу і позитивною парністю. Механізм взаємодії не пояснювався. Якщо в ядрі,

наприклад, парна кількість протонів і непарна – нейтронів, то спіні і парність ядра визначається останнім не спареним нейтроном.

Область застосування: пояснення значень спінів і парностей всіх парно-парних ядер, майже всіх парно-непарних ядер, наближене обчислення магнітних моментів майже всіх парно-непарних ядер.

Надтекуча модель розвинула і пояснила попередню модель на мікроскопічному рівні. В ній була використана теорія Бардіна – Купера – Шриффера (БКШ, 1972 р.) надпровідності. Боголюбов показав, що надпровідність можна пояснити на основі надтекучості електронного газу, а Оге Бор і Дж. Валатин (в 1958 р.) перенесли це поняття на ядро. В рамках надтекучої моделі ядро розглядається як надтекучий нуклонний газ, нуклони якого можуть об'єднуватись на зразок куперівських пар.

Область застосування: пояснення значень спінів і парностей основних і багатьох нижніх збуджених станів майже всіх ядер.

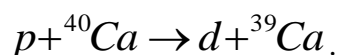
Часткова надтекучість ядер підтверджена експериментально і вводиться як додатковий параметр в несферичну модель ядра [6].

Модель оболонки із залишковою взаємодією – це найзагальніший варіант оболонкової моделі. В ній в явному вигляді застосовується потенціал залишкової взаємодії нуклонів.

Область застосування: пояснення значень спінів і парностей основних збуджених станів практично всіх ядер.

В рамках вивчення оболонкових моделей ядра з використанням методу аналогій можна для студентів запропонувати дати відповідь на наступні запитання.

1. *Скориставшись аналогією з електронними оболонками атомів обґрунтуйте реальність оболонкової моделі ядер на прикладі реакції*



2. *Що називається енергетичною оболонкою ядер? Які ядра називаються «магічними», а які – «двічі магічними»? Що визначає «магічне число»? Поясніть, використавши аналогію з електронними оболонками атомів.*

3. *Які самоузгоджені поля використовуються в оболонковій моделі? Які з них найбільш адекватно описують енергетичний спектр нуклонів в ядрі і «передбачають» магічні числа?*

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Богданов І. Т. Інноваційний підхід до формування продуктивної діяльності студентів при вивченні фізики [стаття] / І. Т. Богданов, О. В. Сергєєв. // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : збірник наукових праць. : Т. 2 – Кривий Ріг. : Видавничий відділ КДПУ, 2001. – С. 23–30.

2. Лебедь О. О. Використання аналогій при моделюванні будови атомного ядра в підручниках з квантової фізики [стаття] / О. О. Лебедь // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : збірник наукових праць. Випуск VIII : Т. 2: Теорія та методика навчання фізики. – Кривий Ріг : Видавничий відділ НМетАУ, 2010. – С. 184–193.

3. Лебедь О.О. Про використання гідродинамічних аналогій при викладанні теми «Радіоактивні ряди» в курсі квантової фізики [стаття] / О. О. Лебедь, О. Ю. Дейнека // Нова педагогічна думка. – 2009. – № 3. – С.85-89.

4. Дубчак В. О. Застосування методу аналогій при викладанні теми «Ядерні реакції» [стаття] / В.О. Дубчак, О.О. Лебедь // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського нац. ун-ту ім. Івана Огієнка. – 2011. – №16. – С. 194-196.

5. Лебедь О. О. Використання аналогій в колективних моделях атомних ядер (оптична, кластерна, ядерна матерія) [стаття] / О. О. Лебедь, В. О. Мислінчук, А. В. Рибалко // Вісник Чернігівського державного пед. університету. Випуск 127, Серія: Педагогічні науки. – Чернігів : Видавництво ЧДПУ, 2015. – С. 106–110.

6. Лебедь О. О. Використання аналогій в моделюванні атомних ядер на прикладі краплинної та ротаційних моделей [стаття] / О. О. Лебедь, В. О. Мислінчук, І. Л. Семещук // Науковий часопис НПедУ ім. М. П. Драгоманова. Серія 5 «Педагогічні науки: перспективи та реалії». Вип. 50. – Київ : Видавництво НПедУ ім. М. П. Драгоманова, 2015. – С. 94–99.

7. Наумов А. И. Физика атомного ядра и элементарных частиц [підручник] / А. И. Наумов – М. : Просвещение, 1984. – 384 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Лебедь Олександр Олександрович – старший викладач кафедри хімії та фізики Національного університету водного господарства та природокористування, м.Рівне.

Коло наукових інтересів: ядерна фізика.

Мислінчук Володимир Олександрович – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри методики фізики і хімії, Рівненського державного гуманітарного університету, м.Рівне.

Коло наукових інтересів: фізика, астрономія.

Дейнека Олег Юрійович – асистент кафедри вищої математики Національного університету водного господарства та природокористування, м.Рівне.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЦИФРОВІ ЛАБОРАТОРІЇ У ФІЗИЧНОМУ ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ

Ліліана МАРКОВА

Застосування цифрової лабораторії у фізичному лабораторному практикумі при вивченні фізики в коледжі.

The use of digital laboratory in the physical laboratory practice when studying physics in college.

Цілями застосування цифрових лабораторій в навчальному фізичному експерименті виступають: підвищення інтересу до вивчення фізики, поглиблення знань про фізичні явища, на основі оволодіння новими засобами реалізації навчального фізичного експерименту, розвиток дослідницьких і комунікативних умінь учнів.

Доцільно забезпечити поступовий перехід від фронтальних лабораторних робіт до робіт фізичного практикуму на основі застосування цифрових засобів реалізації навчального фізичного експерименту. А в рамках фізичного практикуму - від навчально-дослідних видів діяльності до проектних робіт і далі до проведення експерименту з віддаленим доступом.

Застосуванням засобів цифрових лабораторій та Інтернет доцільно реалізовувати у формі лабораторії (лабораторії нових інформаційних технологій та Інтернет). Лабораторія являє собою освітнє середовище, комплекс дидактичних і методичних засобів навчання фізики. Робота шкільної лабораторії повинна будуватися на принципах: діяльнісного характеру навчання; використання і розвитку в методі проектів дослідних та інформаційних умінь учнів; націленості на колективне рішення системи навчальних проблем; тісної інтеграції сучасних цифрових засобів обробки експерименту і комунікативних можливосте. «Основна мета фронтальних лабораторних робіт - усвідомити сутність досліджуваного явища або закону, процесу або залежності, принципу дії приладу або методу вимірювання фізичної величини. На цих заняттях виробляються