УДК 371

О.О. Лебедь
Національний університет водного господарства та природокористування
В.О. Мислінчук, І.В. Левчун
Рівненський державний гуманітарний університет

КЕЙС-МЕТОД ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНТЕРАКТИВНИЙ МЕТОД ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ

У статті розглянута методика застосування кейс-методу як одного з найефективніших інтерактивних методів в процесі вивчення фізики у вищій школі. Приведено приклад його використання в навчальній роботі із визначення необхідних та достатніх умов існування природного ядерного реактора. Визначено основні фізичні характеристики природного реактора Окло (Габон): збагачення палива, його маса, розміри активної зони, вік, період функціонування, теплову потужність природного реактора, матеріал та основні характеристики сповільнювача, величину нейтронного потоку, а також ефективні перерізи реакцій поділу, захоплення нейтронів та ядерні концентрації Урану-235 і Плутонію-239 в даному реакторі. Кейс-метод дозволяє зацікавити студентів процесом навчання, формує сталий інтерес до конкретної навчальної дисципліни, сприяє активному засвоєнню знань та навичок.

Ключові слова: *пізнавальна діяльність, кейс-метод, природний ядерний реактор, Окло, Уран-235, ізотопи, коефіцієнт розмноження нейтронів.*

При переході до нових освітніх стандартів перед вчителями та викладачами фізики ставляться підвищені вимоги щодо активізації пізнавальної діяльності учнів та студентів. На даному етапі розвитку вітчизняної педагогічної науки вже недостатньо використовувати традиційні способи навчання, педагог повинен займатися пошуком нових ефективних форм і методів викладання, які відповідають вимогам державного стандарту. Серед інтерактивних методів навчання найперспективнішим на наш погляд є кейс-метод. Вперше кейс-метод був застосований в навчальному процесі на факультеті права Гарвардського університету в 1920 році, в Радянському союзі кейс-метод вперше був випробуваний в 70-х роках XX століття в МДУ імені Ломоносова.

Кейс (з англ. – випадок) є описом конкретної реальної ситуації, підготовленої за певним форматом і призначеної для навчання студентів аналізу різних видів інформації, її узагальнення, навичкам формулювання проблеми і вироблення можливих варіантів її вирішення відповідно до встановлених критеріїв.

Відмінна особливість кейс-методу навчання: засвоєння знань і формування вмінь студентів є результатом їх активної самостійної діяльності з вирішення проблемних завдань, в результаті чого відбувається творче оволодіння професійними знаннями, навичками, вміннями, а також розвиваються їх розумові здібності. Вміння скористатися теорією, звертання до фактичного матеріалу, ситуаційний аналіз – це найважливіші характеристики кейс-методу. Однак головне його призначення – розвивати здатність аналізувати різні проблеми й розв’язувати їх, іншими словами навчитися обробляти інформацію. Кейси занурюють студента в проблему, змушують шукати розв’язок

конкретного завдання. Мета викладача при навчанні за допомогою кейс-методу – на прикладі конкретної ситуації допомогти студентам в аналізі фактів і проблем, а потім розглянути можливі рішення й наслідки обраних дій.

В освітньому процесі застосовуються наступні види кейсів:

- *практичні кейси,* які відображають реальні життєві ситуації. Навчальне призначення такого кейса може зводитися до тренінгу тих, хто навчається, закріпленню знань, вмінь і навичок прийняттю рішень у конкретній ситуації;
- *навчальні кейси,* що відображають типові ситуації, з якими найчастіше зіштовхуються фахівці в процесі своєї професійної діяльності. Оскільки в навчальному кейсі на першому місці стоять навчальні й виховні завдання, то це вносить в них значний елемент умовності;
- *науково-дослідні кейси,* орієнтовані на здійснення дослідницької діяльності [1].

Як приклад застосування кейс-методу в навчанні фізики можна запропонувати наступний кейс: «У 1972 році при проведенні вимірювань фізичних параметрів партії природного урану, яка поступила на збагачувальну фабрику з родовища Окло (Габон), інженери виявили незвичне співвідношення ізотопів Урану-235 та Урану-238 [2, 3]. Зазвичай воно складало 0,7202% (у всіх уранових мінералах, у всіх гірських породах і природних водах Землі, а також у місячних зразках). Поклади в Окло поки єдиний, зареєстрований у природі випадок, коли дане співвідношення було порушене. У випадку Окло дане співвідношення склало 0,717%. Така крихітна невідповідність призвела до недостачі близько 200 кг урану-235.

Було висунуто декілька гіпотез відносно дивного співвідношення ізотопів урану у руді – від забруднення родовищ відпрацьованим паливом з інопланетних космічних кораблів або існування в цьому місці захоронених радіоактивних відходів стародавньої цивілізації до розкрадання урану міжнародними терористичними організаціями. Однак більш детальні дослідження показали, що незвичайна уранова руда утворилася природним шляхом. Відкидаючи фантастичні гіпотези і маючи на увазі жорсткий міжнародний контроль за обігом радіоактивних речовин залишається для пояснення єдина гіпотеза – в далекому минулому в даній місцевості працював природний ядерний реактор.

Оцініть можливість існування природного ядерного реактора, визначте необхідні та достатні умови для цього».

Очевидно такий кейс повинен задаватись студенту за декілька днів до практичного заняття для детального збору інформації і ознайомлення з нею. Під час такої попередньої роботи студент повинен визначити всі необхідні фізичні, хімічні, географічні, тощо, параметри родовища Окло, викладач повинен лише звернути увагу студента на найважливіші з них, а саме: родовище Окло сформувалось $(1{,}81 \pm 0{,}05) \cdot 10^9$ років тому [4]. В дельті древньої річки утворився осадовий шар пісковику, збагаченого ураном, товщиною 6-10 *м* і шириною 600-900 *м*. Шар знаходився на базальтовому ложі, яке потім під дією тектонічних процесів опустилось на глибину 4 *км*. На цій глибині на нього діяв тиск близько 100 *МПа*, що привело до розтріскування уранової жили. Близько декількох десятків мільйонів років тому відбулось заключне підняття родовища до сучасного рівня (рис. 1 та 2).

Руда Окло має середнє збагачення – середня вагова концентрація урану становить 0,5%, але в ній є глинисті лінзи, в яких концентрація урану доходить до 20-40% і навіть більше, що надзвичайно багато. Два мільярди років тому ця концентрація доходила до 80%. Уран в руді зв'язаний в UO_2. За будовою лінза є компактним рудним тілом розміром від 10 до 20 *м* і товщиною біля 1 *м*.

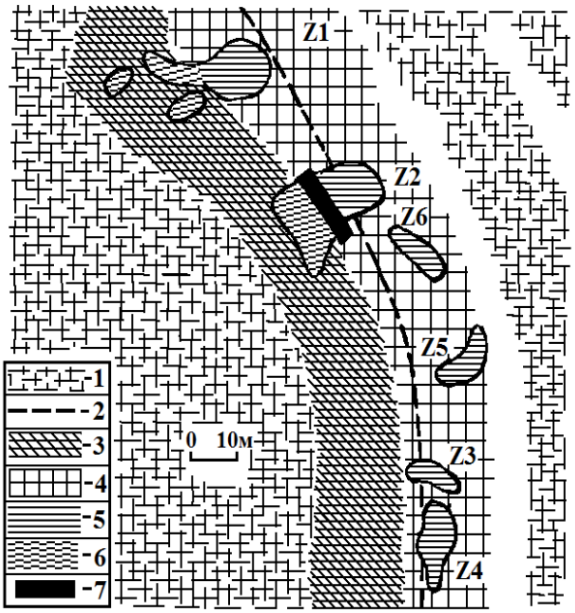

Рис. 1. Розміщення активних зон реактора Окло.
1 – пісковик, 2 – границя добутої руди, 3 – схил кар'єра, 4 – дно кар'єра, 5 – знищена частина реактора, 6 – розвідана частина реактора, 7 – ділянка, призначена для збереження

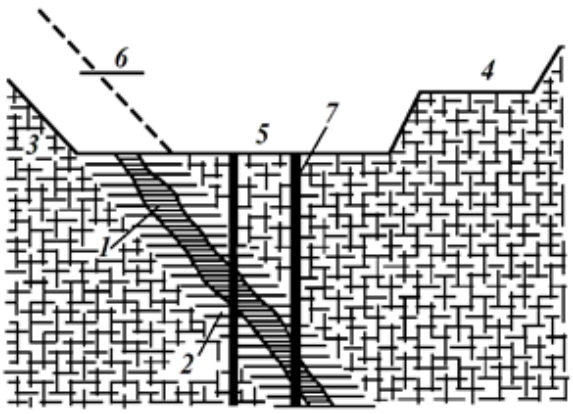

Рис. 2. Схематичний розріз кар'єру.
1 – багата на уран жила, 2 – рудне тіло, 3 – схил кар'єру, 4 – профіль кар'єру, 5 – дно кар'єру, 6 – добута руда, 7 – зондаж

На початку заняття з фізики необхідно пригадати умови роботи промислового ядерного реактора ВВЕР. За допомогою викладача студенти повинні розрахувати значення коефіцієнта розмноження нейтронів реактора (k), який працює на природній суміші урану – ${}^{238}_{92}U$ (99,27%), ${}^{235}_{92}U$ (0,72%) і ${}^{234}_{92}U$ (0,01%). Такі розрахунки показують, що реактор на теплових нейтронах з нескінченою активною зоною практично може працювати на природній суміші урану, а реактор на високоенергетичних нейтронах з нескінченою активною зоною не може працювати на природній суміші урану ні при яких умовах.

Після такого розрахунку необхідно студентів підвести до думки, що оскільки не можна створити активну зону нескінчених розмірів, то для функціонування реактора необхідно збагатити його паливо ураном-235. В реакторі ВВЕР таке збагачення становить 3,5%-4%.

Наступним завданням студентам є визначення часу в минулому, коли природна суміш урану була збагачена ураном-235 до 3,5%. Істинний вік реактора можна визначити знаючи кількість «спалених» ядер Урану-235 і кількості тих ядер Урану-235, які «дожили»

до нашого часу. Якщо відбувається ланцюгова реакція то є справедливим динамічне рівняння [5]

$$\frac{dN_{235_U}}{dt} = \lambda_5 \cdot N_{235_U} - \sigma_5^a \cdot \Phi + \lambda_9 \cdot N_{239_{Pu}}, \quad (1)$$

де N_{235_U} і $N_{239_{Pu}}$ – ядерні концентрації ядер Урану-235 і Плутонію-239 в природному реакторі, λ_5 і λ_9 – їх сталі розпаду, σ_5^a – переріз поглинання нейтронів ураном-235 (в $см^2$), Ф – потік теплових нейтронів.

Розрахунок (1) можна провести за допомогою пакету програм для чисельного аналізу даних і наукової інформації *"OriginPro 7.0"*. Такий розрахунок визначив наступну залежність C_{235_U} (визначену з рівняння 1) від часу, представлену на (рис. 3). З нього видно, що оскільки для функціонування реактора необхідна $C_{235_U} = (3-3{,}5)\%$, то природній реактор має вік t_0 приблизно 1,8-2 млрд. років.

Наступним завданням є визначення маси урану в реакторі. Приймаючи форму реактора у вигляді правильної двовипуклої лінзи з товщиною в центрі 1 *м* і діаметром 20 *м*, можна визначити її об'єм, який становить 158 $м^3$. Якщо частка руди (UO_2) в породі – 0,5; частка природного урану в руді – 0,5; частка урану-235 в руді – 0,035; густина $UO_2 \approx 8 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$, то маса урану в реакторі становить $m \approx 11\ т$. Значення маси можна вважати верхньою межею вмісту урану-235 в природному реакторі. За нижню межу можна брати значення в 1,5 рази менше, тобто можна вважати, що маса урану-255 в природному реакторі Окло складала від 7,3 до 11 *т*. На даний час виходячи з концентрації урану-235 (0,072%) в реакторі збереглося 2,3 *т* урану-235, тобто за час роботи реактора в ньому вигоріло від 5 до 8,7 *т* урану-235. В реакторі ВВЕР-440 завантаження реактора становить 66 *т*.

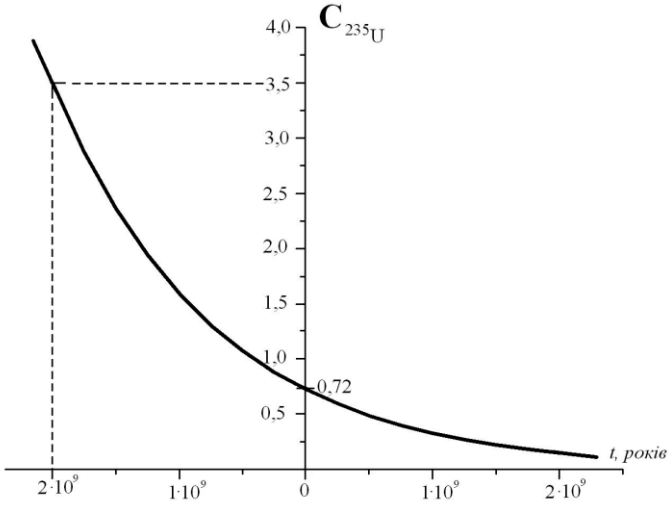

Рис. 3. Вік природного реактора

При вигорянні 1 *кг* Урану-235 утворюється 42 *г* Плутонію-239, отже, за час роботи природного реактора утворилось приблизно від 200 до 350 *кг* Плутонію-239.

Необхідно також поставити перед студентами завдання визначення величини нейтронного потоку природного реактора (кількість теплових нейтронів, які проходять через *1* $см^2$ поверхні за *1 сек*). В реакторі ВВЕР-440 він становить приблизно $Ф = 10^{13} \frac{нейтр}{см^2 \cdot с}$. Нейтронний потік

експоненціально залежить від маси палива в реакторі. В нашому випадку нейтронний потік природного реактора визначимо із [6]

$$\Phi_{пр} = \Phi \cdot e^{-0,8 \cdot m/m_{пр}} \approx 10^{13} \cdot e^{-0,8 \cdot 66/6} = 10^9 \frac{нейтр}{см^2 \cdot с}, \quad (2)$$

де Φ – нейтронний потік реактора ВВЕР-440 при масі палива 66 m, $m_{пр}$ – маса палива 6 m в цьому ж реакторі.

В якості додаткового завдання можна поставити перед студентами завдання визначення ядерних концентрацій в реакторі Урану-235 та Плутонію-239, а також поперечні перерізи поглинання і поділу Урану-235. Розрахунки показують, що вони ідентичні до відповідних параметрів реактора ВВЕР-440.

Наступним питанням поставленим перед студентами є питання про природу сповільнювача нейтронів природного реактора. Студенти шляхом аналізу можливих сповільнювачів (вода, важка вода, графіт, бор) самостійно мають встановити абсолютну перевагу в даній якості звичайної води за такими параметрами як природна поширеність, середній логарифм декремента енергії нейтрона на одне зіткнення з атомом сповільнювача, середня кількість зіткнень з атомами сповільнювача, транспортна довжина вільного пробігу нейтрона в реакторі, концентрація атомів сповільнювача та палива в реакторі. Оскільки транспортна довжина вільного пробігу $\lambda_{тр}$ нейтрона у воді становить 3,68 *см* [7], то мінімальні відстані, які повинен проходити у воді нейтрон для повного сповільнення

$$L = C \cdot \lambda_{тр} = 19 \cdot 3,68 \approx 70 см. \quad (3)$$

Студент повинен зробити самостійний висновок, що для існування природного ядерного реактора з точки зору вимог до сповільнювача необхідно, щоб в ньому, *по-перше*, була присутня вода, *по-друге*, лінійні розміри реактора зі сповільнювачем-водою повинні бути не меншими 70 *см*, *по-третє*, таке водне середовище повинне бути у вигляді деяких трубок, що пронизують ядерне паливо для ефективного сповільнення ним нейтронів. Саме такі умови склалися в Окло. Пісковик, збагачений ураном, під дією тектонічних зсувів опускався на деяку глибину і при цьому розтріскувався. Очевидно, в ньому утворилася низка тріщин, куди в сезон дощів просочувалася вода, повністю насичуючи собою тіло пісковику. Таким чином, реактор отримував сповільнювач.

Останнім завданням в кейсі є визначення тривалості роботи реактора та його теплової потужності. Термін роботи природного реактора d можна визначити за кількістю утвореного Плутонію-239 [8]. При $d >> \tau_9$ (τ_9 – період розпаду Плутонію-239) рівноважна концентрація плутонію визначається нейтронним потоком Ф [5]

$$N_{239_{Pu}} = \frac{\sigma_8^{\gamma} \cdot \Phi \cdot \tau_9 N_{238_U}}{1 + \sigma_9^a \cdot \Phi \cdot \tau_9}, \quad (4)$$

де σ_8^{γ} – переріз радіаційного захоплення нейтрона ураном-238, σ_9^a – переріз радіаційного захоплення нейтрона Плутонієм-239.

Якщо брати середню масу Плутонію-239 в руді Окло m = 250 *кг*, то така маса могла накопичитись при нейтронному потоці Ф = $10^9 \frac{нейтр}{см^2 \cdot с}$ приблизно за (600 000-800000) років [9].

Можна визначити енергію, яка виділилась в реакторі:

$$W = N \cdot E_0 = \frac{m}{M} \cdot N_A \cdot E_0 = \frac{6 \cdot 10^3}{235 \cdot 10^{-3}} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 200 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13} = 5 \cdot 10^{17}\, Дж, \qquad (5)$$

де m – маса Урану-235, витраченого в реакторі, M – його молярна маса, N_A – число Авогадро, E_0 – енергія, яка виділяється при поділі одного ядра Урану-235.

Значення W приблизно становить 25000 $МВт \cdot рік$. Хмельницька АЕС при 100% завантаженні виробляє таку кількість енергії приблизно за 2 роки.

Якщо брати середній час життя реактора 700000 років, то середня потужність природного реактора становила 41,7 $кВт$.

Відносно режиму роботи такого реактора, можна сказати, що він повинен був працювати періодично, аби уникнути ядерного вибуху [10]. Найбільш ймовірний механізм передбачає участь у цьому процесі ґрунтових вод, які википали після того, як температура досягала деякого критичного рівня. При випаровуванні води, що діяла як сповільнювач нейтронів, ланцюгові ядерні реакції тимчасово припинялись (k ставав меншим 1), а після того, як все остигало і в зону реакції знову проникала достатня кількість ґрунтових вод, розщеплення могло відновитися (k > 1).

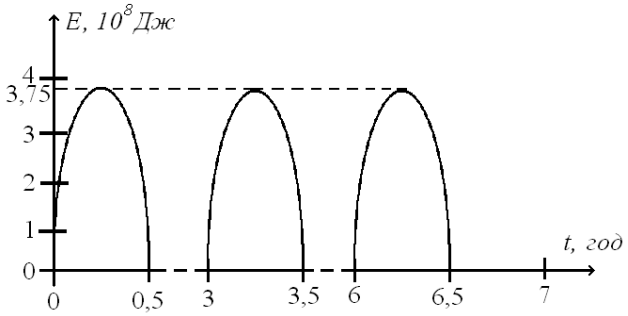

Рис. 4 Циклічна робота природного реактора

Реактор в Окло «включався» на 30 хвилин і «відключався» принаймні на 2,5 години (рис. 4). Подібним чином функціонують деякі гейзери: повільно нагріваються, закипають, викидаючи порцію ґрунтових вод. Такий цикл повторюється день за днем, рік за роком. Отже, ґрунтові води, що проходили через родовище в Окло, могли не тільки бути сповільнювачем нейтронів, але і «регулювати» роботу реактора. Це був надзвичайно ефективний механізм, який не дозволяє структурі ні розплавитися, ні вибухнути протягом сотень тисяч років.

Висновки. На прикладі приведеного кейсу з його допомогою можна засвоїти цілу низку фізичних знань. На жаль, застосування кейс-методу в навчанні фундаментальних дисциплін часто викликає труднощі у викладачів, тому що потребує від них створення специфічних різновидів кейсів. Це найчастіше пов’язане з відсутністю у них достатнього досвіду по створенню таких видів кейсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ломова Е. А. Кейс-метод в преподавании информатики как средство профессиональной ориентации и подготовки специалистов [Электронный ресурс] / Е. А. Ломова // Конгресс

конференций «Информационные технологии в образовании». – 2010. – Режим доступа : http://ito.edu.ru/2010/Troitsk/I/I-0-17.html.

2. R. Bodu, H. Buzigues, N. Morin, J.-P. Pfiffelman, C. R. Ac. Sci. D275, 1731 (1972).

3. G. A. Cowan, Scientific American 235 (1), 36 (1976).

4. R. Hagemann, M. Lucas, G. Nief, E. Roth, Earth Planet. Sci. Lett. 23, 170 (1974).

5. Петров Ю.В. Естественный ядерный реактор Окло – УФН, Т.123, вып. 3, 1977. – С. 473-486.

6. В.И. Бойко, Ф.П. Кошелев, И.В. Шаманин, Г.Н. Колпаков, О.В. Селиванова Физический расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах. - Томск.: Изд. Томского политехнического института, 2009. – 506 с.

7. Краткий справочник инженера-физика. Атомная физика. Ядерная физика. Под ред. А.Ф. Алябьева – М.: Высшая школа, 1961. – 508 с.

8. M. J. Maeck, F. W. Spraktes, R. L. Tromp, J. H. Keller, IAEA-SM-204/2, p. 361.

9. J. R. De Laeter, K. J. R. Rosman, IAEA-SM-204/7, p. 425.

10. R. Hagemann, C. Devillers, M. Lucas, T. Lecomte, IAEA-SM-204/28, p. 415.

O.O. Lebed

National University of Water Management and Natural Resources Use

V.O. Myslinchuk, I.V. Levchun

Rivne State Humanitarian University

THE CASE METHOD AS AN EFFECTIVE INTERACTIVE METHOD OF STUDYING PHYSICS

This work discusses the methodology of case method application to studying Physics interactively in the framework of university education. Besides, it delivers an example of its application to determining conditions that are either necessary or sufficient for existing on the part of natural nuclear reactor. The main physical characteristics of unique natural nuclear reactor Oklo (Gabon) discovered in 1972 such as Uranium-235 enrichment level, the mass of Uranium-235 in the reactor, the size of the active zone, the reactor age, the period of its activity, its thermal power, the material and the main characteristics of the neutron moderator, the value of the neutron flux, the effective cross sections of nuclear fission reaction and the neutron capture one, the concentration of Uranium-235 nuclei in the reactor and the one of Plutonium-239 nuclei are determined.

Solving problems formulated in the case consists of several stages. The first one assumes finding all necessary data on the part of a student. Initial class activities consist in reminding studied material needed for this case. On each stage, an instructor facilitates finding solutions on the part of a student.

The used case serves as an example for the claim that cases promote acquisition of knowledge in the field of Physics. Unfortunately, the use of the case method to study fundamental disciplines often results in experiencing difficulties with creating specific types of cases on the part of instructors since they frequently lack relevant experience.

The case method allows making students interested in studying, forms steady interest in specific discipline, as well as promotes active acquisition of knowledge and skills.

Key words: *knowledge acquisition, the case method, natural nuclear reactor, Oklo, Uranium-235, isotopes, the rate of neutron production.*

А.А. Лебедь

Национальный университет водного хозяйства и природопользования

В.А. Мислинчук, И.В. Левчун

Ровенский государственный гуманитарный университет

КЕЙС-МЕТОД КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНТЕРАКТИВНЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ

В статье рассмотрена методика применения кейс-метода как одного из эффективных интерактивных методов в процессе изучения физики в высшей школе. Приведен пример его использования в учебной работе по определению необходимых и достаточных условий существования природного ядерного реактора. Определены основные физические

характеристики природного реактора Окло (Габон): обогащение топлива, его масса, размеры активной зоны, возраст, период функционирования, тепловую мощность природного реактора, материал и основные характеристики замедлителя, величину нейтронного потока, а также эффективные сечения реакций деления, захвата нейтронов и ядерные концентрации урана-235 и плутония-239 в данном реакторе. Кейс-метод позволяет заинтересовать студентов процессом обучения, формирует устойчивый интерес к конкретной учебной дисциплине, способствует активному усвоению знаний и навыков.

Ключевые слова: *познавательная деятельность, кейс-метод, природный ядерный реактор, Окло, уран-235, изотопы, коэффициент размножения нейтронов.*

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Лебедь Олександр Олександрович – старший викладач кафедри фізики Національного університету водного господарства та природокористування

Коло наукових інтересів: ядерна фізика.

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

Коло наукових інтересів: фізика, астрономія.

Левчун Ірина Миколаївна – студентка ІІІ курсу Рівненського державного гуманітарного університету

УДК 378.162.33

П.І. Наумчик

Чернігівський національний технологічний університет

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА «ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ»

Розглянуто проблему організації лабораторного практикуму з фізики у вищих навчальних закладах, де вивчення фізики раніше не передбачалося. А саме - існування необхідності у проведенні лабораторного експерименту за умов коли вартість сучасного обладнання перевищує економічні можливості навчального закладу. Проблема розв'язується шляхом підбору лабораторних робіт, що не вимагають складного дорогого обладнання, у поєднанні з використанням віртуальної фізичної лабораторії. В статті наводиться приклад однієї з таких робіт - «Дослідження залежності вологості повітря від температури». Робота може бути корисна і для шкільного лабораторного практикуму з фізики в 10 – х класах.

Ключові слова: *лабораторний практикум, лабораторна робота, обладнання, прилад, вологість, дослідження.*

Постановка проблеми. Як вже говорилося [1], сьогодні існує проблема організації і проведення лабораторного практикуму з фізики під час підготовки фахівців з інформатики й обчислювальної техніки. Даний напрямок підготовки стає дедалі все більш популярним для багатьох вузів. Проте він передбачає вивчення студентами досить об'ємного курсу фізики, який неможливо засвоїти без використання лабораторних робіт. Практика навчання в Українсько – Російському інституті з підготовки бакалаврів за спеціальністю «Інформатика й обчислювальна техніка» показує, що використання тільки віртуальної фізичної лабораторії не приводить до бажаного результату. Найбільш ефективним є живий експеримент, якому слід завжди надавити перевагу під час навчання. У вищих навчальних закладах, де фізика викладається не один десяток років, вже існують фізичні