

УДК 373.5016:53(07)

Остапчук М.В.

МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ АТОМНИХ ЯДЕР В КЛАСАХ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНОГО ПРОФІЛЮ

У статті розглядається методика вивчення перетворення атомних ядер в класах природничо-математичного профілю. Характерною особливістю даної методики є збільшення числа задач-запитань якісно-теоретичного, світоглядно-пізнавального й культурологічного змісту, які використовуються як в процесі пояснення так і закріплення вивченого матеріалу.

Ключові слова: методика, теоретичне мислення, перетворення атомних ядер, природничо-математичний профіль.

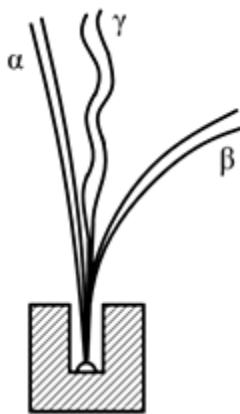
Постановка проблеми. У проекті нового базового Закону України "Про освіту" визначено ключові компетентності нової української школи. До основних компетентностей у природничих науках і технологіях належать: наукове розуміння природи і сучасних технологій, а також здатність застосовувати його в практичній діяльності. Уміння застосовувати науковий метод: спостерігати, аналізувати, формулювати гіпотези, збирати дані, проводити експерименти, аналізувати результат тощо [6]. Буде розроблено новий стандарт профільної освіти, зокрема й природничої, у якому залишиться змістова складова фізики. Тому необхідні методичні розробки для вивчення фізики в профільній школі на академічному і професійному рівнях.

Аналіз досліджень і публікацій. Науково-теоретичне мислення, характерне для сучасника XXI ст., не може обмежуватися лише емпіричним рівнем пізнання фізики (С. Гончаренко, О. Ляшенко, В. Розумовський, А. Павленко) [2, с. 11]. Фізична наука, не сповільнюючи темпів розвитку прикладних застосувань, усе більше теоретизується. Теоретичний рівень пізнання фізики не обмежується законами, хоча й надає їм важливого значення. Внаслідок послідовного вивчення шкільного курсу фізики учень повинен дістати таку систему фізичного знання, яка б відповідала (хоча б в якісному викладі) рівню цілісної фізичної теорії, природничо-наукової картини світу.

Теоретичний результат у фізиці – це той, що здобутий шляхом логічних операцій або математичних розрахунків. Повсякчасна праця фізика осяюється світлом теорії, збагачується теоретичним мисленням. *Теоретичне мислення – це вирішення проблем на основі наявних знань у вигляді понять, суджень і логічних висновків. Усе це відбувається з допомогою внутрішнього мовлення, подумки* [1, с. 142-143].

Мета статті – розкрити методику теоретичного вивчення перетворення атомних ядер в класах природничо-математичного профілю.

Виклад основного матеріалу. 1. Природна радіоактивність. Французький фізик А. А. Беккерель, досліджуючи солі Урану (1896 р.) помітив, що вони є джерелом якогось невидимого проміння. Згодом Марія і П'єр Кюрі виявили, що такі самі властивості випромінювання має Торій та відкриті ними Радій і Полоній. Явище беккерелевого випромінювання вони назвали радіоактивністю. За це відкриття всі вчені були нагороджені Нобелівською премією в 1903 році. На сьогодні відомо близько 40 радіоактивних елементів.



Мал. 1

Випромінювання радіоактивних речовин у сильному магнітному полі розпадається на три складові: α , β , γ . (мал. 1). Природа цих складових така: **β -випромінювання** – це потік швидких електронів (середня швидкість $160 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$). Воно для будь-якого радіоактивного елемента утворює неперервний спектр енергії. Цю особливість нелегко було з'ясувати. Оскільки ядро є квантовою енергетичною системою, переходи його з одних станів у інші в β -розпадах мають супроводжуватися лінійчатим енергетичним спектром β -частинок. Можна було б гадати, що вслід за розпадом енергія β -частинок довільно розсіюється на атомах радіоактивної речовини, тоді остання сама себе розігрівала б. Досліди не підтверджують цього. Була ще одна неузгодженість. Як відомо, спин електрона дорівнює $\frac{1}{2} \hbar$. Тому при β -розпаді спин нового ядра має відрізнятись від спіну початкового ядра на $\frac{1}{2} \hbar$. Досліди показували, що при β -розпаді спин ядра не змінюється.

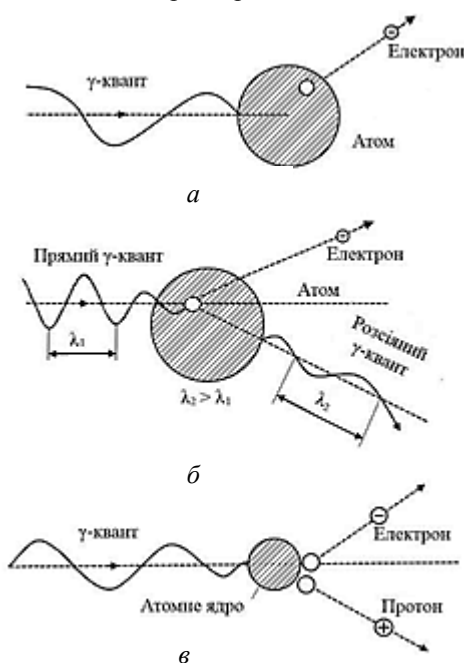
Труднощі в поясненні β -розпаду було усунуто гіпотезою швейцарського фізика В. Паулі в 1931 році. За цією гіпотезою при β -розпаді одночасно з β -частинкою випромінюється ще одна дуже легка незаряджена частинка. Її за почином італійського фізика Е. Фермі назвали нейтрино. Маса цієї частинки дорівнює близько 0,0005 маси електрона, її спин $-\frac{1}{2}\hbar$.

α -випромінювання – це потік ядер He зі швидкостями руху $(15...20) \cdot 10^6 \frac{m}{c}$. Чим менший період піврозпаду речовини, тим більша швидкість α -частинок. Маючи позитивний заряд, удвічі більший від заряду β -частинки, α -частинка на своєму шляху іонізує речовини і сильно поглинається: кожна α -частинка може утворювати до 20000 пар іонів, а пластинка алюмінію 0,06 мм завтовшки повністю поглинає навіть найшвидші з них.

Важливу роль для розуміння механізму α -випромінювання відіграють дослідження англійським фізиком Е. Резерфордом взаємодії α -частинок з ядрами Урану. Він виявив оригінальні факти: α -частинки, які випромінює ThC з енергією 8,8 MeV, відштовхувались від ядра Урану згідно із законом Кулона. Це свідчить про те, що ядро Урану обмежене потенціальним бар'єром понад 8,8 MeV, а точніше

$$P_{\alpha} = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_{\alpha}}, \text{ де } Ze - \text{заряд ядра, } r_{\alpha} = 7,7 \cdot 10^{-15} \text{ м} - \text{ефективний радіус ядра.}$$

Поряд із цим дослідження показали, що α -частинки, які випромінюються самими ядрами Урану, мають енергію лише 4,1 MeV, тобто значно меншу від енергії потенціального бар'єра ядра. Вихід α -частинки з ядра є прикладом квантового тунельного ефекту.



Мал. 2

γ -кванти зовсім не зазнають відхилень в магнітному полі, вони є електромагнітними хвилями дуже короткої довжини – від 0,04 до 0,0001 мкм. Їхня дифракція виявляється тільки при переході крізь кристали: γ -кванти – мають велику проникну здатність можуть проходити крізь шар Свинцю до 5 см завтовшки, наскрізь пронизувати тіло людини. Поглинання γ -квантів речовиною зумовлено переважно трьома процесами: фотоелектом, комптонівським розсіюванням та явищем утворення електронно-позитронних пар (мал. 2).

При енергії фотонів близько 0,1 MeV поглинання γ -квантів відбувається переважно внаслідок фотоелекту (мал. 2а), причому електрони вириваються із внутрішніх електронних шарів K, L, M атома. Тому наступне заповнення цих вакантних місць супроводить випромінювання характерне рентгенівському промінню. При поглинанні γ -квантів з енергією фотонів 0,5...2 MeV істотну роль відіграє вже комптонівське розсіювання (мал. 2б). Поглинання γ -квантів з енергією, більшою від 1,1 MeV під впливом сильного поля ядра атомів з великим зарядовим числом Z , супроводиться утворенням пар електрон-позитрон (мал. 2в).

Дослідним шляхом доведено, що γ -випромінювання самостійно не існує, воно супроводжує процеси α - і β -розпадів. Після виділення названих частинок ядро

перебуває у збудженому стані. Перехід його в нормальний стан зумовлює випромінювання γ -кванта.

У 1908 році Е. Резерфорд спектроскопічним способом виявив, що в ампулі, в якій була деяка кількість солі Радію $RaCl_2$, з'явилися два нових газу, один з них – Гелій, а інший – тоді ще невідомий радіоактивний елемент, який назвали Радонем.

З'ясували, що в закритій ампулі кількість Радону спочатку швидко зростає, тоді настає рівновага, тобто кількість Радону залишається незмінною. Це означало, що кількість Радону, який утворюється з Радію, дорівнює кількості Радону, що розпадається. Помістивши деяку кількість Радону в окрему ампулу, виявили, що кількість його неперервно зменшується, а саме: через 3,8 доби Радону залишається $\frac{1}{2}$, ще через 3,8 доби $-\frac{1}{4}$ і т. д. Так було з'ясовано, що радіоактивна речовина розпадається за експоненціальним законом.

Вираз закону радіоактивного розпаду можна записати, виходячи з таких міркувань. Кількість атомів ($-dN$), які розпадаються за час dt , пропорційна до кількості наявних атомів N : $-dN = \lambda N dt$, звідки

$$\int \frac{dN}{N} = - \int \lambda dt, \ln N = - \lambda t + C, \quad (1)$$

де C – стала інтегрування.

При $t = 0$ маємо $C = \ln N_0$, де N_0 – початкове число атомів радіоактивної речовини. Підставивши у вираз (1) значення C , знайдемо кількість атомів, які ще не розпалися:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

де λ – стала розпаду, що залежить від роду речовини.

Перебіг радіоактивного розпаду характеризується **періодом піврозпаду, тобто проміжком часу, за який розпадається половина всіх атомів радіоактивної речовини.**

Період піврозпаду τ перебуває в певному співвідношенні зі сталою розпаду λ , а саме: покладаючи $t = \tau$ та $N = \frac{1}{2} N_0$, згідно з формулою (2) знаходимо $\frac{1}{2} = e^{-\lambda \tau}$, звідки

$$\tau = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (3)$$

Період піврозпаду може бути дуже великим і дуже малим залежно від речовини та її атомної маси. Так, для Урану-238 – це $4,5 \cdot 10^9$ років, Радію-226 – це 1590 років, Радону-222 – це 3,82 доби, Радію-214 – це 10^{-6} с.

Щоб визначити сталу розпаду λ , а за нею й період піврозпаду τ для тих речовин, що розпадаються занадто повільно або занадто швидко, використовують стан рівноваги, який настає між радіоактивною речовиною B (що утворюється внаслідок розпаду речовини A) та речовиною A . При цьому кількість розпадів атомів за час dt для обох речовин однакова: $-dN = \lambda N dt$; $-dN' = \lambda' N' dt$, звідки

$$\lambda N = \lambda' N', \quad (4)$$

де N, N' – кількість атомів речовини, що перебувають у рівновазі. Співвідношення (4) дає змогу знаходити сталу розпаду одного елемента за сталою розпаду іншого.

Щоб визначити період піврозпаду, використовують також формулу для атомів, які ще не розпалися, $N = N_0 e^{-\lambda t}$, та формулу для атомів, які розпалися за час t

$$N_1 = N_0 (1 - e^{-\lambda t}), \quad (5)$$

в останньому випадку кількість розпадів визначають за спеціальними лічильниками.

У формулу (5) замість λ вводять період піврозпаду τ . Тоді:

$$N_1 = N_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right).$$

Задача 1. Маса препарату радіоактивного Магнію Mg^{27} дорівнює 0,2 мг. Визначити початкову активність препарату і його активність через 1 год. Припускається, що всі атоми препарату радіоактивні.

Розв'язання. Початкова активність препарату $a_0 = \lambda N_0$, де $\lambda = \frac{\ln 2}{\tau}$, а кількість атомів у препараті в початковий момент $N_0 = \frac{m_0}{M} N_A$. Замінивши у формулі для a_0 , λ і N_0 їхніми виразами, матимемо $a_0 = \frac{\ln 2}{\tau} \frac{m_0}{M} N_A$. Позаяк молярні маси нуклідів виражаються числами, що дуже близькі до цілих чисел, то масу моля нукліда можна прийняти чисельно рівною $\approx 7 \cdot 10^{-3}$ кг. Період піврозпаду Mg^{27} $\tau = 10$ хв.

Зробивши підстановку числових значень, отримаємо $a_0 = \frac{0,693 \cdot 0,2 \cdot 10^{-9} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{600 \cdot 27 \cdot 10^{-3}} = 5,15 \cdot 10^{12}$ розп./с.

Активність препарату зменшується з часом за тим самим законом, що й число атомів, які ще не розпалися: $a = a_0 e^{-\lambda t} = a_0 e^{-\frac{\ln 2}{\tau} t}$, або $a = a_0 e^{\ln 2 \left(-\frac{t}{\tau}\right)} = \frac{a_0}{2^{\frac{t}{\tau}}}$. Зробивши підстановку числових значень, отримаємо:

$$a = \frac{5,15 \cdot 10^{12}}{2^{60/10}} = 8,0 \cdot 10^{10} \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

2. Активність препарату. Доза опромінення. Активністю препарату називають величину, що дорівнює загальній кількості розпадів радіоактивних ядер препарату за одиницю часу: $A = \frac{dN}{dt}$.

За одиницю радіоактивності беруть активність препарату, в якому відбувається один розпад за секунду. Цю одиницю називають Беккерель (Bk).

У практиці використовується позасистемна одиниця активності препарату – Кюрі (Ki): $1 Ki = 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Таку активність має 1 г Радію-226. Забрудненість радіоактивним пилом малих

предметів виражають у Беккерелях на квадратний дециметр ($\frac{\text{Бк}}{\text{дм}^2}$), географічних поверхонь – у Кюрі на квадратний кілометр ($\frac{\text{Ки}}{\text{км}^2}$).

Еман – одиниця концентрації радіоактивних ізотопів у рідинах або газах. Наприклад, концентрація Радону у воді $1\text{Е} = 10^{-10} \frac{\text{Ки}}{\text{л}} = 3,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3}$.

Активність з часом зменшується, і на це треба робити поправку. Активність вимірюється відповідними лічильниками.

Дозою опромінення називають міру дії рентгенівського та радіоактивного випромінювань на речовину. Розрізняють дози: **поглинуту** й **експозиційну**.

Поглинута доза – це енергія випромінювання, яку поглинає одиниця маси опромінюваного середовища: $D = \frac{\Delta W}{\Delta m}$. Одиницею поглинутої дози є грей. $1\text{Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Використовується також позасистемна одиниця – рад: $1\text{рад} = 0,01\text{Гр}$. Енергія поглинання спричиняє нагрівання речовини, а також її хімічні та фізичні перетворення. Поглинута доза залежить від інтенсивності потоку енергії падаючого проміння і тривалості опромінювання. Тому результат дії останнього оцінюють потужністю поглинутої дози – дозою віднесеною до одиниці часу, її одиницею є грей за секунду ($\frac{\text{Гр}}{\text{с}}$).

Експозиційна доза – це міра іонізаційної дії рентгенівського і γ -випромінювань на повітря за нормальних умов (різним тілам властива різна робота іонізації частинок, тому для визначення дії проміння за еталон взято повітря за нормальних умов). Чисельно ця доза визначається відношенням сумарного заряду всіх іонів одного знаку, які утворилися в певному об'ємі повітря, до його маси в цьому об'ємі: $X = \frac{\sum q}{\Delta m}$.

Експозиційну дозу виражають в кулонах на кілограм ($\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$). На практиці користуються також позасистемною одиницею експозиційної дози – рентгеном ($1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$), відповідно до неї в 1 м^3 повітря за нормальних умов утворюється $2,08 \cdot 10^{15}$ пар іонів. На їхнє утворення витрачається енергія, що дорівнює $88 \cdot 10^{-4}\text{ Дж}$. Енергетичний еквівалент Рентгена – $88 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Виявлено, що біологічна дія різних видів випромінювання при тій самій дозі поглинання різна. Біологічно небезпечні ефекти різного іонізуючого проміння характеризують порівняльним коефіцієнтом якості K за дією рентгенівського і γ -випромінювань (для них $K = 1$). Наприклад, для теплових нейтронів $K = 3$, з енергією 5 Мев цей коефіцієнт $K = 7$. Еквівалентна доза визначається добутком поглинутої дози на коефіцієнт якості проміння: $H = DK$. Її виражають в одиницях поглинутої дози – греяни, позасистемною одиницею еквівалентної дози є бер, що відповідає поглинутій дозі в $0,01\text{ Гр}$ при $K = 1$. У СІ за одиницю еквівалентної дози прийнято зіверт: $1\text{Зв} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 10^2\text{ бер}$.

Задача 2. Маса радіоактивного нукліду Натрію-25 дорівнює $0,246 \cdot 10^{-6}\text{ кг}$. Період піврозпаду $\tau = 62\text{ с}$. Якими будуть початкова активність препарату і його активність через 10 хв ?

Розв'язання. Згідно з означенням активності препарату $A = \frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$. Враховуючи $t = 0$, дістанемо початкову активність $A_0 = \lambda N_0$. Узявши до уваги, що $\lambda = \frac{\ln 2}{\tau}$ та $N = \frac{m_0}{M} N_A$, де N_A – стала Авогадро, дістанемо $A_0 = \frac{\ln 2}{\tau} = \frac{m_0}{M} N_A$. Підставивши сюди числові значення величин, знайдемо $A_0 = 66,5 \cdot 10^{17} = 16,3\text{ Ки}$. З часом активність препарату зменшується за законом $A = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 2^{-\frac{t}{\tau}}$. За цим виразом можна визначити активність препарату через 10 хв .

Задачі для самостійного розв'язування

1. Яка ймовірність того, що даний атом у зразку радіоактивного йоду $^{131}_{53}\text{I}$ розпадеться впродовж найближчої секунди? 2. Яка частина початкової кількості атомів розпадеться за один рік в радіоактивному ізотопі Торію $^{239}_{90}\text{Th}$? 3. Скільки відсотків початкової кількості атомів радіоактивного нукліду розпадеться за час, що дорівнює середній тривалості життя цього нукліду? 4. Ядра ізотопу $^{232}_{92}\text{Tl}$ зазнають α -розпад, два β -розпади і ще один α -розпад. Які ядра після цього утворилися? 5. Скільки розпадів ядер за хвилину відбувається в препараті, активність якого $2,8\text{ мКи}$? 6. У камері знаходиться $0,15\text{ моля } ^{239}_{94}\text{Pu}$. Визначити активність цього ізотопу, якщо його період напіврозпаду $2,44 \cdot 10^4$ років. 7. В яких випадках активність препарату можна вважати постійною величиною? 8. Визначити активність 1 мг фосфору $^{32}_{15}\text{P}$. Період напіврозпаду $^{32}_{15}\text{P}$ $1,24 \cdot 10^6\text{ с}$.

Відповіді 1. 10^{-8} . 2. 10^{-4} . 3. 63,3%. 4. ${}^{224}_{88}\text{Ra}$. 5. $6,2 \cdot 10^9$. 6. 2,2 Ki. 7. Коли час спостереження малий порівняно з періодом напіврозпаду. 8. 285 Ki.

Висновки. У статті наведений приклад методики теоретичного вивчення теми з фізики "Перетворення атомних ядер" в класах природничо-математичного профілю.

Теоретичні знання на відміну конкретно-практичних не можуть подаватися інформаційним способом, у готовому вигляді. Тут конче потрібно шукати власні розробки у викладанні фізики на ґрунті принципів проблемності та методів засвоєння нових знань. Тому важливе значення має формування в учнів теоретичного мислення шляхом певної організації пізнавальної діяльності, розширенню можливостей оволодіння універсальними науковими поняттями, які відображають загальні властивості і відношення об'єктивної дійсності та пізнання, побудованими теоретичним чином.

Характерною особливістю даної методики є збільшення числа задач-запитань якісно-теоретичного, світоглядно-пізнавального й культурологічного змісту. Перед учнями ставляться узагальнені питання-проблеми, відповідь на які вимагає не переоповідання готових міркувань і висновків підручника або оголошених учителем, а творчих пошуків і зусиль, глибокого розуміння суті явищ і вміння застосовувати знання на практиці. Попрацювавши із задачами й питаннями самостійно, учень має можливість порівняти свої результати й висновки із відповідями наведеними в кінці теми. Задачі-запитання даються також безпосередньо під час пояснення вчителем основних положень, законів відповідної теми фізики.

Використані джерела

1. Дубровська Д. М. Основи психології: навч. посіб. / Д. М. Дубровська. – Львів: Світ, 2001. – 280 с.
2. Розв'язування навчальних задач з фізики: питання теорії і методики / С. У. Гончаренко, Є. В. Коршак, А. І. Павленко і інші; за заг. ред. Є. В. Коршака. – К.: НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2004. – 185 с.
3. Коршак Є. В. Фізика: підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: рів. стандарту / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К.: Генеза, 2011. – 256 с.
4. Новак О. Ф. Ідеї теоретичного пошуку в курсі фізики середньої школи / О. Ф. Новак, М. В. Остапчук // Фізика. – 2000. – № 25(73). – С. 2-3.
5. Остапчук М. В. Методика теоретичного вивчення електростатики в класах природничо-математичного профілю / М. В. Остапчук, В. М. Остапчук / Вісник Чернігівського національного університету імені Т. Г. Шевченка [Текст]. Вип. 138 / ЧНПУ ім. Т. Г. Шевченка; гол. ред. Носко М.О. – Чернігів: ЧНПУ, 2016. – С. 122-129.
6. Веб-сайт "Нова українська школа." [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mon.gov.ua/activity/education/zagalna-serednya/ua-sch-2016>. – (Міністерство освіти і науки України).

Ostapchuk M. V.

METHODS OF THEORETICAL STUDY TRANSFORMATION OF ATOMIC NUCLEI IN CLASSROOMS NATURAL MATHEMATICAL STRUCTURE

The article is an example of methods of theoretical study of topics in physics "transformation of atomic nuclei" in the classes of natural mathematical structure.

Modern content of physics at secondary schools is stable. Thus, the problem concerns not the textbooks themselves but the methods of teaching and comprehending the learning material.

Theoretical knowledge is different to concrete and practical and cannot be introduced by informative way of teaching, in a prepared form. It is necessary to look for own approaches in teaching physics on the basis of principles of problem range and methods of obtaining new knowledge.

That is why it is important to form theoretical way of thinking organizing mental activity, broadening possibilities for mastering universal scientific notions that reflect common features and relationships of objective reality and comprehension built in theoretical way. It is necessary to broaden the methods of theoretical comprehension from abstract to concrete. Here the knowledge broadens together with the methods of theoretical comprehension.

A characteristic feature of this method is to increase the number of quality problems, questions and theoretical, ideological and cultural and educational logical sense. Students are asked questions, problems, the answer to which requires finished reasoning and conclusions of the textbook or teacher announced by and creative research and effort, a deep understanding of the phenomena and the ability to apply knowledge in practice. After working with the tasks and issues independently, the student has the opportunity to compare their results and conclusions with the answers given at the end of the topic. Problems, questions are given directly as a teacher while explaining the main principles and laws of relevant topics in physics.

Key words: *methods, theoretical thinking, transformation of atomic nuclei, Natural Sciences and Mathematics profile.*

Стаття надійшла до редакції 15.04.2017