

## МІЖПРЕДМЕТНІ ЗВ'ЯЗКИ ФІЗИКИ, БІОЛОГІЇ ТА ПАЛЕОНТОЛОГІЇ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ РАДІОІЗОТОПНИХ МЕТОДІВ ДАТУВАННЯ

**Федачківський Віталій Дмитрович**

старший лаборант кафедри фізики та методики її навчання,  
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
[fedachkivskyy@gmail.com](mailto:fedachkivskyy@gmail.com)

**Дрогобицький Юрій Володимирович**

кандидат фізико-математичних наук, викладач кафедри фізики та методики її навчання,  
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
[daodrg@gmail.com](mailto:daodrg@gmail.com)

На жаль, як у шкільному курсі фізики, так і в шкільному курсі біології дуже мало уваги приділяється методам радіоізотопного датування. Якщо ж цим методам і приділяється увага, то пропускаються важливі нюанси з хімії та палеонтології. На наше переконання, цей недолік слід усунути, позаяк випускники шкіл повинні мати повністю сформовану наукову картину світу, зокрема, розуміти методи наукового пізнання. Своєю чергою, без належного вивчення радіоізотопних методів датування в учнів не може сформуватись цілісне уявлення про те, як науковці визначають вік гірських порід, вік скам'янілостей динозаврів, як датують порівняно недавні скам'янілості, тощо. Проблематика, пов'язана із вивченням теми радіоізотопного датування, є актуальною ще й тому, що широко висвітлюється у зарубіжних наукових журналах [1].

Чимало учнів мають хибне уявлення про те, ніби, науковці, знайшовши кістки динозаврів, проводять їхній аналіз радіоізотопними методами. Насправді ж, за мільйони років від органічних речовин може майже нічого не залишитись, оскільки органічні рештки тварин піддаються фосилізація – процесу заміщення органічних речовин мінеральними речовинами. Тому замість кісток динозаврів часто знаходять їхні «мінеральні копії» або відбитки в осадових породах. Однак, навіть, справжні кістки радіоізотопними методами не досліджують. Радіоізотопними методами досліджують лише скам'янілості тих тварин, які жили зовсім недавно (тисячі, до трьох десятків тисяч років тому), наприклад, кістки наших предків кроманьйонців чи мамонтів [2]. На наш погляд, це варто розповідати учням на уроках, оскільки одним із завдань шкільних курсів природничих дисциплін є корекція хибних уявлень та поширених псевдонаукових міфів.

Учні повинні знати, що радіоізотопними методами визначають не вік самих скам'янілостей динозаврів, а вік магматичних порід. Пояснити це учням можна, приміром, наступним чином. Нехай десятки мільйонів років тому у якійсь місцевості відбулось виверження вулкану. На певній глибині на цій території ми знаходимо затверділу лаву. Радіоізотопними методами науковці можуть доволі точно встановити дату виверження вулкану. Пізніше у цій місцевості жили динозаври і в осадових породах, що залягають вище цих магматичних порід,

науковці знаходять скам'янілості цих вимерлих архозаврів. Пізніше на цій же території відбулось ще одне виверження вулкану, застигла лава від якого знаходиться поверх знайдених скам'янілостей. Дату другого виверження науковці також можуть встановити радіоізотопними методами. Тому, визначивши, що вік перших магматичних порід становить, приміром, 110 мільйонів років, а других магматичних порід, наприклад, – 95 мільйонів років, вчені таким чином приходять до висновку, що на цій території динозаври жили у період між 110 та 95 мільйонів років назад, оскільки шар осадових порід, в яких знайшли їхні скам'янілості, знаходиться між двома шарами магматичних порід експериментально встановленого віку.

Потребує детального пояснення й те як саме науковці визначають дату виверження вулкану. Є десятки різних радіоізотопних методів. На наш погляд, найкраще учням пояснювати калій-аргоновий метод датування, оскільки він доволі простий та зрозумілий учням, які вивчають фізику та хімію на рівні стандарту чи вище. Коли відбувається виверження вулкану, то у розплавленій лаві можуть бути наявні ізотопи калій-40 та аргон-40 (калій-40 там наявний завжди). Зі шкільного курсу хімії учні знають, що аргон – це інертний газ, який не вступає у хімічні реакції з наявними у лаві речовинами та, як газ, безперешкодно дифундує, покидаючи рідку лаву. У зв'язку із цим, після кристалізації лави у ній буде певна кількість радіоактивного ізотопу калію-40, однак зовсім не буде аргону-40, що зокрема можна спостерігати у «свіжій» лаві від сучасних вивержень вулканів. Своєю чергою, з плином часу калій-40 зазнаватиме радіоактивного розпаду (період напіврозпаду  $T=1,26$  мільярдів років). У результаті такої ядерної реакції утворюється аргон-40. Проте, затверділу лаву атоми аргону-40 вже не можуть покинути, оскільки вони потрапляють у «пастку» кристалічної ґратки (розміри атома аргону-40 перевищують проміжки між атомами кристалічної ґратки). Як наслідок, у твердих магматичних породах залишається аргон-40, утворений в результаті розпаду калію-40. На початку ж кристалічної фази лави у ній аргон-40 відсутній, оскільки легко з неї дифундує ще до її кристалізації [2, 3, 4].

Далі з учнями варто пригадати закон радіоактивного розпаду. Нехай у момент кристалізації лави у ній було  $N_0$  атомів калію-40, а через  $t$  років кількість атомів калію-40 дорівнюватиме  $N$ . Оскільки, при цьому, розпадеться  $N_0 - N$  атомів калію-40, то через  $t$  років у магматичній породі буде  $N_0 - N$  атомів аргону-40. Взевши зразок лави, науковці експериментально визначають кількість атомів  $N_0 - N$  аргону-40 та кількість атомів  $N$  калію-40 у ній. Нехай  $e = (N_0 - N)/N$ . Далі, на основі закону радіоактивного розпаду, з учнями слід вивести формулу для обчислення дати виверження вулкану  $t = T \cdot \log_2(1 + e)$ .

Під час пояснення учням калій-аргонового методу, на наш погляд, варто окремо висвітлити питання про те чому цим методом не датують самі скам'янілості, а лише лаву (відтак, якщо поряд зі скам'янілостями не знайдено магматичних порід, то провести такий аналіз, на жаль, не вдасться). Таке

висвітлення надає змогу реалізувати міжпредметні зв'язки з палеонтологією. Пояснення може виглядати так. Скам'янілості переважно знаходяться в осадових породах, які утворюються з піску, мулу чи багна (у пісковіку чи вапняку). Однак, пісок з осадових порід, в яких знайшли скам'янілості, міг утворитися набагато раніше за скам'янілості, приміром, у результаті подрібнення магматичних порід. Саме тому на момент утворення скам'янілостей в осадових породах вже є деяка кількість атомів аргону-40, утвореного в результаті розпаду калію-40 (аргон не може дифундувати з піску). Іншими словами, виражаючись метафорично, на момент утворення скам'янілостей «радіоізотопний годинник» осадових порід не обнулюється (проте, цей «годинник» обнулюється на момент кристалізації лави, оскільки до моменту кристалізації весь наявний у ній аргон-40 покидає лаву). По цій причині радіоізотопний аналіз скам'янілостей показав би не вік самих скам'янілостей, а наприклад, дату кристалізації лави, з якої внаслідок подрібнення утворився пісок, що становить основу осадової породи, у якій знайшли ці скам'янілості. Тому, щоб встановити вік скам'янілостей динозаврів, науковці датують не самі скам'янілості, а шари лави, між якими їх знайшли (якщо такі шари наявні).

Зазначимо, що в підручниках, навчальних посібниках та науково-методичній літературі з фізики калій-аргоновий метод обговорюється вкрай рідко. Значно частіше згадується радіовуглецеве датування. При цьому під час висвітлення радіовуглецевого методу упускаються вкрай важливі нюанси, наприклад, не пояснюється яким саме чином «обнулюється радіоізотопний годинник», звідки ми знаємо яким було співвідношення вуглецю-12 та вуглецю-14 в атмосфері Землі кілька тисяч років тому, тощо. І, якщо перше питання (про «обнулення годинника») ще можна доволі коротко пояснити (живі організми припиняють споживати вуглець з їжою чи з атмосфери у момент своєї смерті), то друге питання про співвідношення ізотопів вуглецю в атмосфері потребує тривалого обговорення, зокрема знайомства учнів з методами дендрохронології [2, 5]. Учням слід пояснити як за річними кільцями та їхньою товщиною визначають вік скам'янілих дерев. Потім розповісти, що науковці радіовуглецевим методом визначають співвідношення ізотопів вуглецю в річних кільцях і таким чином можуть прослідкувати як з часом змінювалось співвідношення цих ізотопів вуглецю в атмосфері. І хоча це співвідношення є майже константою, на основі аналізу скам'янілих дерев, до цієї константи вносять доволі точні поправки. А далі, аналізуючи радіовуглецевим методом, наприклад, кістки мамонтів, використовують раніше отримані поправки.

Як можна переконатись, належне пояснення радіовуглецевого методу може бути доволі довгим та, навіть, складним для розуміння пересічним учням. Таке пояснення може зайняти цілий урок, а то і більше часу. Натомість, значно простішим для розуміння є калій-аргоновий метод, якому чомусь приділяється уваги значно менше. Пропонована нами методика висвітлення теми

радіоізотопних методів датування може застосовуватись як під час вивчення фізики на профільному рівні, так і на рівні стандарту.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Moran T.J. Teaching Radioisotope Dating Using the Geology of the Hawaiian Islands // Journal of Geoscience Education. – 2009. – vol. 57, № 2. – pp. 101-105.
2. Вагнер Г. А. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. – М. Техносфера, 2006.
3. Aronson J. L., Lee M. K/Ar systematics of bentonite and shale in a contact metamorphic zone // Clays and Clay Minerals. – 1986. – vol. 34, № 4. – pp. 483–487.
4. McDougall I., Harrison T. M. Geochronology and thermochronology by the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  method. – Oxford: Oxford University Press, 1999.
5. Kuzmin Y. Radiocarbon and Old World archeology: shaping a chronological framework // Radiocarbon. – 2009. – vol. 51, № 1. – pp. 149-172.

### НОВІ СЕНСИ В ЗМІСТІ СУЧАСНОЇ БІОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ

**Бак Вікторія Федорівна**

учитель біології, кандидат педагогічних наук,  
Бахмутський навчально-виховний комплекс № 11

[aro\\_net@ukr.net](mailto:aro_net@ukr.net)

Сучасний період в розвитку людства можна характеризувати як кризовий. Цивілізаційна система людства увійшла в протиріччя з біосферою. Протиріччя впливають з ціннісних орієнтацій людства, вірніше з їх відсутністю, або подвійних стандартів, за якими живе людство. В сучасному постмодерновому суспільстві загальнолюдські цінності, які по суті не протирічать цінностям природи, лише декларуються, а суспільство стає суспільством постправди, таким, в якому панує маніпулювання та фейки, а цінності підлаштовуються під інтереси панівних груп або корпоративних об'єднань. Такий стан цивілізації є нестійким і не може існувати довго, тому кризи, війни, стихійні лиха та техногенні катастрофи будуть і далі «підштовхувати» людство до нових сенсів, які по своїй суті є лише повернення до дійсних цінностей життя. Вже зараз в суспільстві з'являються люди, які відчувають, як це жити відповідно до нових сенсів, ціннісних орієнтирів, загальних для цивілізації та біосфери. Можемо стверджувати, що героїчний супротив народу України агресії РФ – це механізм саморегуляції цивілізаційної системи людства, спрямований на відновлення загальнолюдських цінностей, яким дамо назву біосферних, бо вони не протирічать загальним законам природи, а взаємопов'язані з ними. Таким поняттям як добро, любов, гідність, воля, милосердя, – потрібно повернути їхню первісну сутність через конкретні дії конкретних людей, а через це змінити катастрофічний напрямок розвитку цивілізації з постмодерну на метамодерн. Саме такий процес спостерігаємо в Україні з початку XXI ст. Глибинна єдність