

Датчик заряжался до напряжения 4000 в. С момента начала облучения он отключался от источника питания и включался секундомер.

Экспериментальная зависимость высоты подъема жидкого диэлектрика от времени при различных мощностях поглощенных доз приведена на рис. 1. Зависимость постоянной времени конденсатора от мощности поглощенной дозы показана на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что изменение постоянной времени конденсатора от мощности поглощенной дозы с ошибкой не более $\pm 15\%$ описывается эмпирической формулой:

$$\tau = \frac{\tau_0}{1 + 1,6P}, \quad (3)$$

где P — мощность поглощенной дозы, рад/мин; τ_0 — постоянная времени конденсатора при $P = 0$, сек.

Кривые, рассчитанные по уравнению (2) с учетом выражения (3), показаны на рис. 1 пунктиром. Из графиков рис. 1 видно, что расхождение между опытными и теоретическими зависимостями по абсолютной величине не превышает десятых долей миллиметра ($\Delta h_{\text{макс}} = 0,83 \text{ мм}$). Относительная погрешность составляет $\pm 40\%$. Такая большая погрешность объясняется малыми абсолютными значениями высоты столба жидкости в нижней части кривой.

Выполненная работа позволяет сделать вывод о принципиальной возможности использования пьезомоторных сил, возникающих в жидком диэлектрике для регистрации поглощенной дозы ионизирующих излучений.

Поступило в Редакцию 4/VII 1972 г.
В окончательной редакции 13/II 1973 г.

Исследование радиоактивности костей динозавра с помощью гамма-спектрометра высокого разрешения

Т. ГҮН-ААЖАВ*, Ш. ГЭРБИШ*, О. ОТГОНСУРЭН, Ж. СЭРЭЭТЭР*, Д. ЧУЛТЭМ

УДК 539.106

Спектр γ -квантов. За последние годы появилось несколько работ по исследованию отложений урана в костях ископаемых древних животных [1—5]. В работах [2, 3] методом диэлектрических детекторов была определена концентрация урана в древних костях непосредственно по делению U^{235} тепловыми нейтронами и показано, что кости динозавров содержат до 10^{-3} г/г U, т. е. 1 кг/т U, если принять отношение U^{238}/U^{235} равным ~ 140 . В работах [4, 5] методом сцинтилляционной спектрометрии содержание урана в таких же костях определялось по γ -излучению продуктов распада U^{238} . Сравнение спектров исследуемого образца и минерала с известной концентрацией урана показало, что концентрация урана в костях ископаемых динозавров также составляет десятые доли процента.

В настоящей работе изучался спектр γ -излучения древних костей с помощью Ge(Li)-спектрометра с высоким энергетическим разрешением (около 6 кэв для линии 662 кэв Cs^{137}).

Один из измеренных спектров порошкообразного образца кости динозавра показан на рисунке а, в таблице приведена идентификация линий образца.

Измеренные значения энергии γ -квантов с большой точностью совпадают с данными работ [6, 7], в которых исследовалось γ -излучение Ra^{226} и продуктов его распада с помощью Ge(Li)-спектрометра.

Наблюдаемый γ -спектр костей древних животных представляет собой спектр естественных радиоактивных рядов. Большинство из наблюдаемых линий относится к уран-радиевому ряду (в основном RaB и RaC). Среди линий спектра имеется четыре линии ториевого ряда (239, 910, 1595, 2615 кэв) и одна линия актиноурана (185 кэв). Хотя такое соотношение между γ -излучениями несколько напоминает спектр равновесных минералов урана и тория [8], однако из этих данных нельзя

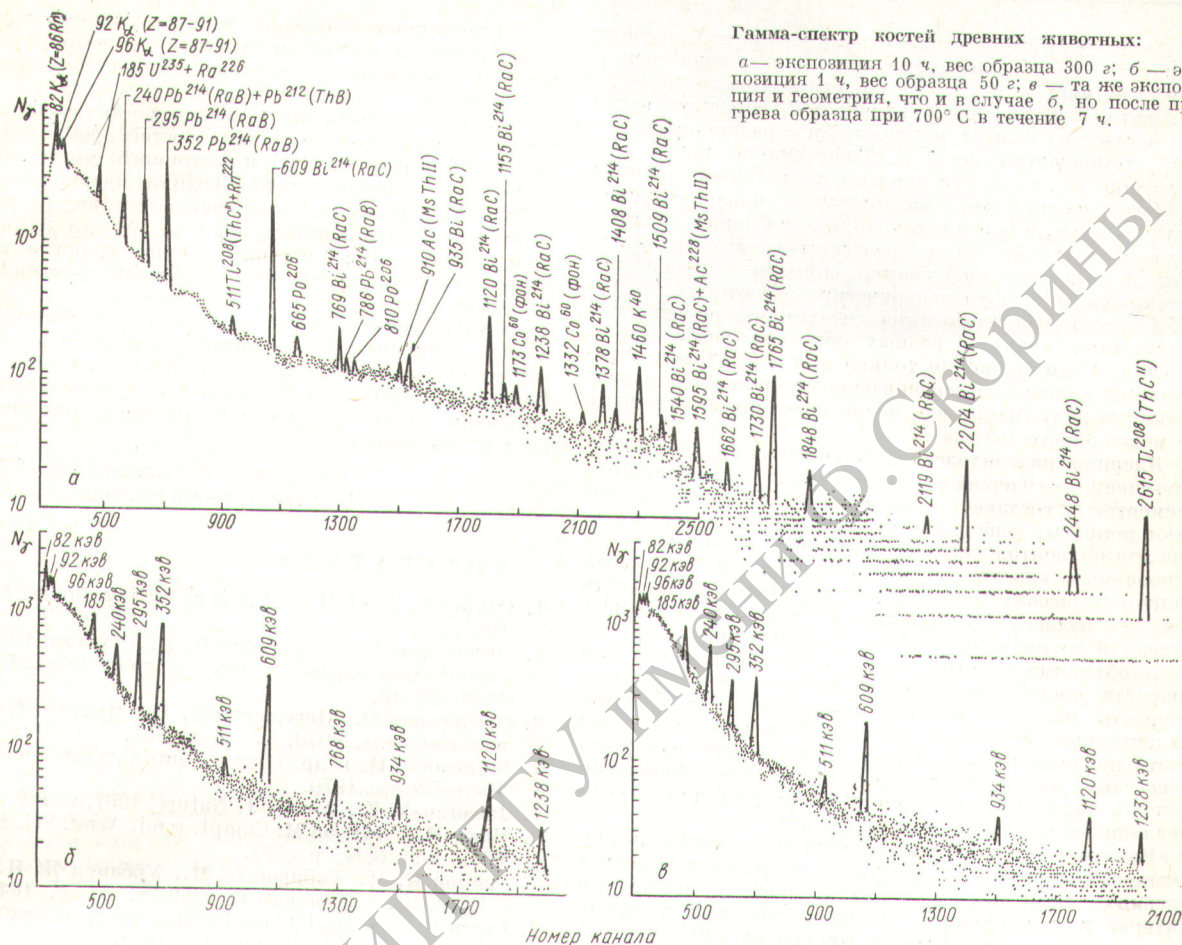
получить строго количественную информацию о содержании этих элементов в исследуемых образцах. Они позволяют сделать лишь качественный вывод о том, что в древней кости содержится довольно большое количество как урана [1—5], так и тория.

Нарушение радиоактивного равновесия. Трудность количественного определения урана и тория в костях по их γ -активностям связана с возможным отклонением от радиоактивного равновесия. Поскольку возраст исследуемых костей, по данным палеонтологического метода, составляет около 70 млн. лет, то с большой вероятностью можем считать, что прошло достаточно времени для того, чтобы наступило радиоактивное равновесие между ураном и его продуктами, причем независимо от того, находился ли в костях весь уран с самого начала (биохимическое происхождение) или он был накоплен в течение длительного геологического периода (геохимическое происхождение). Однако возможны и другие причины отклонения от радиоактивного равновесия, например нарушение этого равновесия в результате выноса урана из костей или миграции его продуктов распада (тория, радия, радона и пр.). Но с другой стороны, если процесс накопления урана в костях обусловлен поглощением его из водных растворов путем изоморфного замещения атомов кальция ионами UO_2 [2, 3], то поглощенный уран должен сохраняться в кости вследствие очень плохой растворимости фосфорнокислого кальция (гидрооксипатита) в воде.

Таким образом, по мнению авторов настоящей работы, основную роль в нарушении радиоактивного равновесия в древних костях должны играть не процессы выноса материнских элементов, а миграция дочерних элементов в геохимических процессах и эманирование газообразных продуктов распада (изотопов радона).

Для иллюстрации эффекта эманирования радона была исследована зависимость спектрального состава γ -квантов кости от условий диффузии. Костный порошок весом 50 г нагревался при температуре $700^\circ C$ в течение 7 ч в струе азота.

* Сотрудники Монгольского государственного университета, Улан-Батор.



Гамма-спектр костей древних животных:

а — экспозиция 10 ч, вес образца 300 г; б — экспозиция 1 ч, вес образца 50 г; в — та же экспозиция и геометрия, что и в случае б, но после прогрева образца при 700° С в течение 7 ч.

На рисунке б, в представлены γ-спектры этого образца, снятые до и после нагревания при совершенно одинаковых условиях (геометрии, продолжительности времени измерения и режиме работы спектрометра). Промежуток времени между концом нагревания и началом измерения спектра составлял 1 ч, а продолжительность времени измерения — 5 ч.

Действительно, как мы и предполагали, интенсивность линий, относящихся к радону и короткоживущим продуктам его распада, после нагревания оказалась значительно меньше, чем до нагревания. Например, рентгеновская линия 82 кэв ($Z \approx 86$), и линии 295 и 352 кэв (RaB), 609, 768, 934, 1238 кэв (RaC) уменьшились примерно в два раза. Как и ожидали, рентгеновская линия 96 кэв ($Z \approx 92$) и сложная линия 185 кэв ($U^{235} + Ra^{226}$) не изменились. Интенсивность линии 511 кэв ($ThC'' + Rn$) уменьшилась всего на 10%, а интенсивность линии 240 кэв (RaB + ThB), наоборот, увеличилась примерно на 10%. Последние два факта объясняются относительно большим периодом (10,6 ч) полураспада ThB (Pb^{212}).

Согласно общей теории диффузии, уход радона из урансодержащего вещества будет определяться структурой материала (размером частиц, пористостью и т. п.), коэффициентом диффузии (являющимся в свою очередь функцией от температуры и энергии активации) и временем.

Идентификация линий γ-спектра кости динозавра

Изотоп	Энергия γ-кванта, кэв
K_{α} (Rn)	82
K_{α} (U)	96
Th^{234} (UX_1)	92
$Ra^{226} + U^{235}$	185
Pb^{214} (RaB)	240*, 295, 352, 786
Bi^{214} (RaC)	609, 769, 935, 1120, 1155, 1238, 1378, 1408, 1509, 1540, 1595**, 1662, 1730, 1765, 1848, 2119, 2204, 2448
Ac^{228} (MsTh II)	910
Tl^{208} (ThC'')	2615
Tl^{208} (ThC'') + Rn^{222}	511
K^{40}	1460
Co^{60} (фон)	1173, 1332

* 239 кэв (ThB) + 242 кэв (RaB).

** 1595 кэв (RaC) + 1593 кэв (MsTh II).

Проведенный опыт показал, что для костей древних животных коэффициент эманирования радона велик, что объясняется их пористой структурой.

Поэтому различие γ -активностей образцов кости [5], взятых из разных местностей и в различное время года (температура песка в Гоби сильно колеблется в течение года), скорее связано с различием условий диффузии радона, чем с различным содержанием урана в этих костях, и, следовательно, оно не может характеризовать ураноносность соответствующих районов. Этот же вывод подтверждается данными, полученными с помощью метода диэлектрических детекторов.

Из всего сказанного выше следует, что определение содержания урана в разных образцах кости по их γ -активностям возможно только при соблюдении определенных условий, обеспечивающих равновесие в радиоактивном ряду (например, после хранения их в ампуле не менее одного месяца).

Ядерная палеонтология. В связи с обнаружением повышенного содержания естественных радиоактивных элементов в составе костей древних животных возникают вопросы, решение которых имеет большое значение для палеонтологии: оценка геологического возраста ископаемых животных, поиск скелетов этих животных радиометрическим методом, радиационная безопасность обслуживающего персонала в палеонтологических музеях и сотрудников лабораторий и т. д.

Необходимо отметить, что для правильной оценки возраста костей по урану и торью требуется знать скорость накопления этих элементов и количество радиогенных изотопов свинца. Этот вопрос должен стать предметом специальных исследований, а хорошо известные ядерно-физические методы геохронологии должны быть несколько модифицированы для случая медленного накопления материнских ядер.

Изучение процесса накопления и миграции радиоактивных элементов и продуктов их распада в костях древних животных может представлять косвенный интерес и для геологии (в частности, для геохимии урана и тория, фосфатных минералов типа апатит, в том числе фосфорита).

Представляет большой интерес также изучение содержания в костях и других элементов, прежде всего редкоземельных, которые обычно геохимически коррелируют с ураном и торием.

Следует отметить, что в исследованиях радиоактивности и вещественного состава костей древних животных (как элементного, так и изотопного) могут широко применяться методы ядерной физики: ядерная спектроскопия, радиохимия, масс-спектрометрия, различные варианты активационного анализа. А для исследования химической формы нахождения урана в костях может быть применен метод ядерной γ -резонансной спектроскопии.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить сотрудников палеонтологической лаборатории научно-исследовательского института геологии в Улан-Баторе Р. Барсболд и Д. Дацзэвэг за любезное предоставление для исследований ценного материала — костей динозавров.

Поступило в Редакцию 22/VIII 1972 г.
В окончательной редакции 19/I 1973 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oakley K. Analytic Methods of Dating Bones. Oxford, 1954.
2. Отгонсурэн О., Перельгин В. П., Чултэм Д. «Науч. сообщ. Монгольского гос. ун-та» (Улан-Батор), 1969, № 18.
3. Отгонсурэн О., Перельгин В. П., Чултэм Д. «Атомная энергия», 1970, т. 29, с. 301.
4. Чадраабал П. и др. Отчет Монгольского гос. ун-та, Улан-Батор, 1970.
5. Jaworowski Z., Pensko J. Nature, 1967, v. 214, p. 161.
6. Maria H., Ardisson M. Compt. rend. Acad. Sci. France, 1967, v. 265B, p. 787.
7. Громов К. Я., Сабиров Б. М., Урбанец Я. Я. «Изв. АН СССР. Серия физ.», 1969, т. 33, с. 1646.
8. Гусев Н. Г. и др. Радиоактивные изотопы как гамма-излучатели. М., Атомиздат, 1964.

Фотохимическое разделение изотопов водорода с помощью дейтериевых ламп

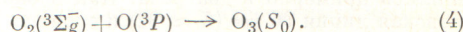
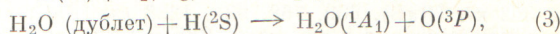
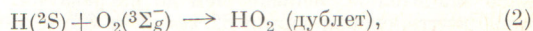
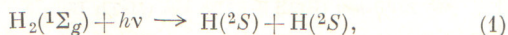
Ю. Г. БАСОВ, В. С. ГРЕБЕНЬКОВ, Е. А. ОГИНСКАЯ

УДК 621.039.335

В работах [1—3] отмечалось, что при наличии светового излучения, селективно возбуждающего молекулы изотопов, можно получить эффективное разделение в процессе фотохимической реакции. Таким способом были разделены изотопы ртути [1] при использовании ртутного источника света с моноизотопным наполнением.

В настоящей работе описаны эксперименты по разделению изотопов водорода протия и дейтерия при облучении кислородно-водородной газовой смеси дейтериевыми лампами.

Выбор кислорода для проведения реакции был обусловлен тем, что процесс взаимодействия H_2 с O_2 протекает через следующие стадии [4]:



Как видно из этой схемы, реакция происходит в том случае, когда излучение воздействует только на молекулы водорода. Атомы кислорода, образующиеся по стадии (3) или при фотодиссоциации O_2 , участвуют лишь в образовании озона. Если же в реакционном сосуде поддерживать температуру газа выше $90^\circ C$, то в продуктах реакции озон не будет образовываться. Для реакции, например, водорода с азотом, когда аммиак образуется как при взаимодействии атомов H с N_2 , так и при взаимодействии атомов N с H_2 [5], селективного разделения изотопов водорода может и не быть