

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

Поэтому различие  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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 торию 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 элементах, 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  $\mu$ -резонансной спектроскопии.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить сотрудников палеонтологической лаборатории научно-исследовательского института геологии в Улан-Баторе Р. Барсболд и Д. Данзвиг 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

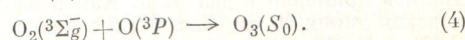
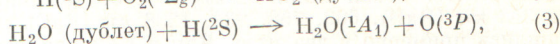
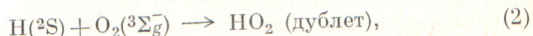
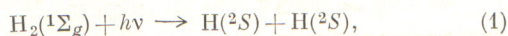
Ю. Г. БАСОВ, В. С. ГРЕБЕНЬКОВ, Е. А. ОГИНСКАЯ

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



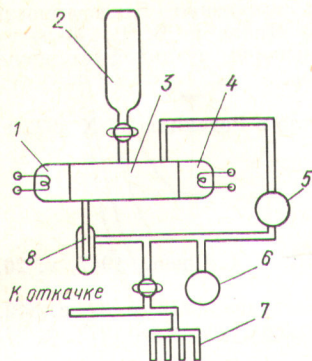


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

вследствие большого вклада в изотопный эффект стадии с участием N и H<sub>2</sub>.

В отличие от ртутной лампы низкого давления, имеющей линейчатый спектр излучения в ультрафиолетовой области, водородная и дейтериевая лампы характеризуются сплошным излучением в этой спектральной области, поэтому в проведенных экспериментах не ожидали получить селективное возбуждение дейтерия. Однако, поскольку интенсивность ультрафиолетового излучения дейтериевой лампы значительно выше, чем у водородной или ртутной лампы низкого давления в интервале длин волн, соответствующих энергиям диссоциации H<sub>2</sub> и D<sub>2</sub>, то можно было ожидать увеличение коэффициента разделения указанных изотопных молекул по сравнению с данными, полученными для ртутной лампы [3]. Поэтому для проведения фотохимической реакции с участием водорода, дейтерия и кислорода была выбрана дейтериевая лампа.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Две одинаковые по конструкции дейтериевые лампы [6] 1 и 4 с начальным давлением D<sub>2</sub>, равным 8 мм рт. ст., приваривались к цилиндрической реакционной трубке 3, которая имела три патрубка для соединения с баллоном 2, циркуляционным насосом 5 и ловушкой 8. Давление измеряли манометром 6, а пробы для газового и изотопного анализа на масс-спектрометре МХ-1302 отбирались в ампулы 7. Образующиеся в процессе фотохимического взаимодействия водорода с кислородом под действием светового излучения пары воды вымораживались в ловушке 8.

На рис. 2 показан экспериментальный реактор, использовавшийся в экспериментах. Фотохимический реактор сваривался со стеклянными деталями установки через переходные стекла.

Коэффициенты пропускания кварцевых окон дейтериевых ламп приведены в таблице, из которой видно,

Коэффициенты пропускания кварцевых окон дейтериевых ламп

Окно	$\lambda, \text{нм}$			
	160	186	220	270
Первое	0,79	0,85	0,90	0,92
Второе	0,78	0,83	0,88	0,92

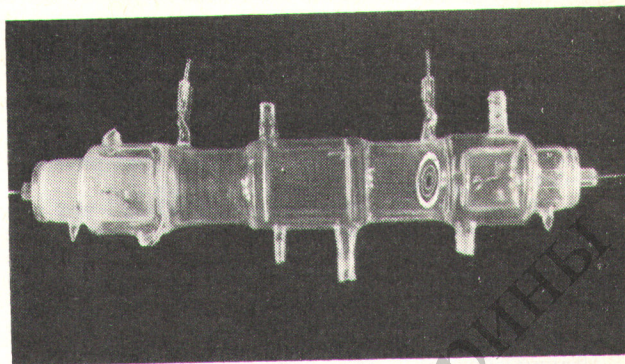


Рис. 2. Общий вид фотохимического реактора.

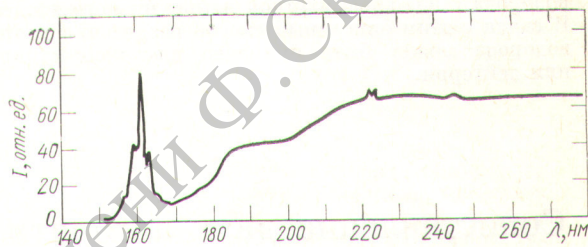


Рис. 3. Спектральное распределение излучения кварцевых капиллярных ламп, используемых в экспериментах.

что в исследуемой нами спектральной области ( $\lambda \approx 270 \text{ нм}$ ), соответствующей энергии диссоциации H<sub>2</sub> и D<sub>2</sub>, используемые окна практически полностью пропускали ультрафиолетовое излучение.

Спектральное распределение кварцевых капиллярных ламп, используемых в эксперименте, приведено на рис. 3. Из рисунка видно, что спектр дейтериевых ламп характеризуется мощными полосами испускания при  $\lambda \approx 160 \text{ нм}$  с уменьшением интенсивности излучения при  $\lambda = 165 \div 180 \text{ нм}$  и дальнейшим ростом сплошного излучения с увеличением длины волны. Следует заметить, что лампы, наполненные H<sub>2</sub>, имеют аналогичный вид спектрального распределения, но только с уменьшенной интенсивностью излучения на всех длинах волн.

Реакционная смесь D<sub>2</sub> : H<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> была составлена в отношении 4 : 1 : 48. Использовался дейтерий в соответствии с ТУ-6-02-628-71. Кислород и H<sub>2</sub> перед

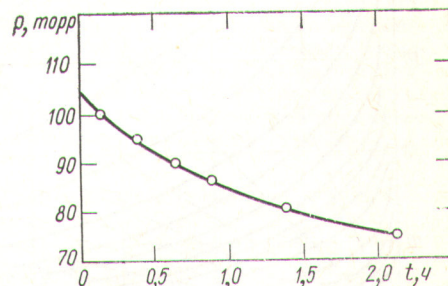


Рис. 4. Изменение давления в процессе работы установки.



приготовлением смеси очищали и осушали на специальной установке.

На рис. 4 приведена типичная временная зависимость изменения давления в процессе работы экспериментальной установки. Начальное давление в циркуляционной системе составляло 110 мм рт. ст. Суммарная мощность подводимой к лампам электрической энергии была равна 340 Вт.

В результате экспериментов выяснилось, что при фотохимическом взаимодействии водорода с кислородом с образованием воды дейтерий накапливается в остатке не полностью прореагировавшего газа с коэффициентом разделения  $2,3 \pm 0,4$ . При проведении опытов в течение 2—3 ч коэффициент обогащения увеличивался от 1,965 до 2,36.

Таким образом, в рассматриваемом случае коэффициент обогащения имеет существенно большие значения, чем при фотохимическом разделении изотопов водорода с помощью ртутной лампы низкого давления. В связи с этим описанный способ разделения изотопов водорода может быть применен для концентрирования дейтерия.

В заключение авторы выражают благодарность Т. В. Никольской, В. Н. Чибис и В. В. Бараеву за помощь в изготовлении экспериментальной установки и проведении экспериментов.

Поступило в Редакцию 17/X 1972 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Pertel R., Gunning H. Canad. J. Chem., 1947, v. 26, p. 219.
2. Басов Ю. Г. «Атомная энергия», 1972, т. 32, с. 842.
3. Утиров Б. У. и др. «Атомная энергия», 1972, т. 32, с. 169.
4. Басов Ю. Г. Кандидатская диссертация. МГУ, 1968.
5. Салимова К. М. Кандидатская диссертация. МГУ, 1969.
6. Шупенева А. М. и др. Газоразрядная спектральная лампа. «Бюл. изобрет.», 1970, № 36, с. 82.

## Сопоставление двух алгоритмов аварийной защиты реактора при возмущениях по реактивности

А. А. САРКИСОВ, В. Н. ПУЧКОВ

УДК 621.039.566.8

Различие сопоставляемых алгоритмов аварийной защиты (АЗ) заключается в том, что в одном случае ограничения накладываются на текущее значение относительной мощности реактора  $N/N_0 \leq (N/N_0)^*$ , а в другом — на относительную скорость увеличения плотности нейтронов  $n(t)$ , т. е. на период разгона реактора:

$$T = \left[ \frac{1}{n(t)} \cdot \frac{dn(t)}{dt} \right]^{-1} \geq T^*$$

Подобная задача ставилась в работе [1], однако там приближенно рассматривались только случаи скачкообразного введения реактивности, что позволило авторам воспользоваться для описания процесса элементарным кинетическим уравнением.

В настоящей работе исследовались аварийные режимы водо-водяного ядерного реактора с горючим на основе  $U^{235}$ . Возмущающие воздействия вводились путем изменения реактивности с некоторыми постоянными скоростями.

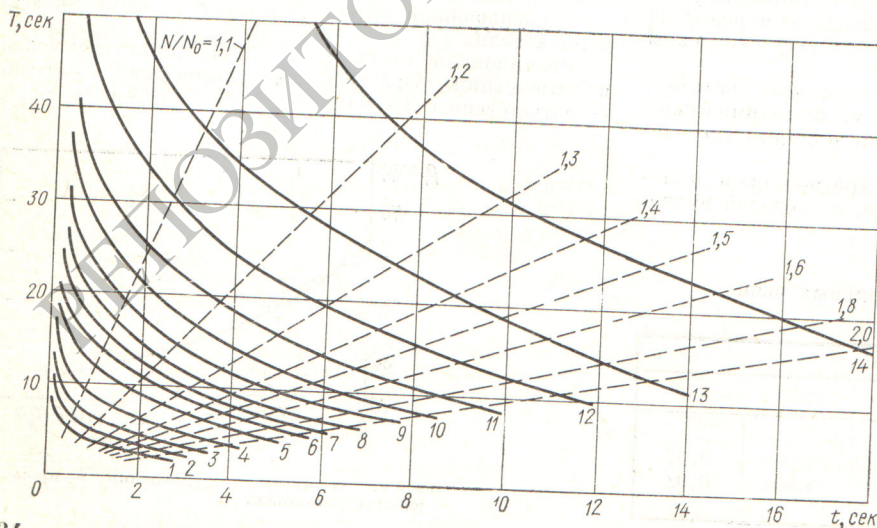


Рис. 1. Зависимость  $T$  и  $N/N_0$  от времени  $t$  при различных скоростях введения реактивности  $\rho$ :

1 —  $120 \cdot 10^{-5}$ ; 2 —  $100 \cdot 10^{-5}$ ; 3 —  $80 \cdot 10^{-5}$ ; 4 —  $60 \cdot 10^{-5}$ ; 5 —  $50 \cdot 10^{-5}$ ; 6 —  $40 \cdot 10^{-5}$ ; 7 —  $36 \cdot 10^{-5}$ ; 8 —  $32 \cdot 10^{-5}$ ; 9 —  $28 \cdot 10^{-5}$ ; 10 —  $24 \cdot 10^{-5}$ ; 11 —  $20 \cdot 10^{-5}$ ; 12 —  $16 \cdot 10^{-5}$ ; 13 —  $12 \cdot 10^{-5}$ ; 14 —  $8 \cdot 10^{-5}$  сек $^{-1}$ .