

определять содержание полония начиная с 10—12 мкюри/л. Измерения концентрации полония по выходу нейтронов контролировались калориметри-

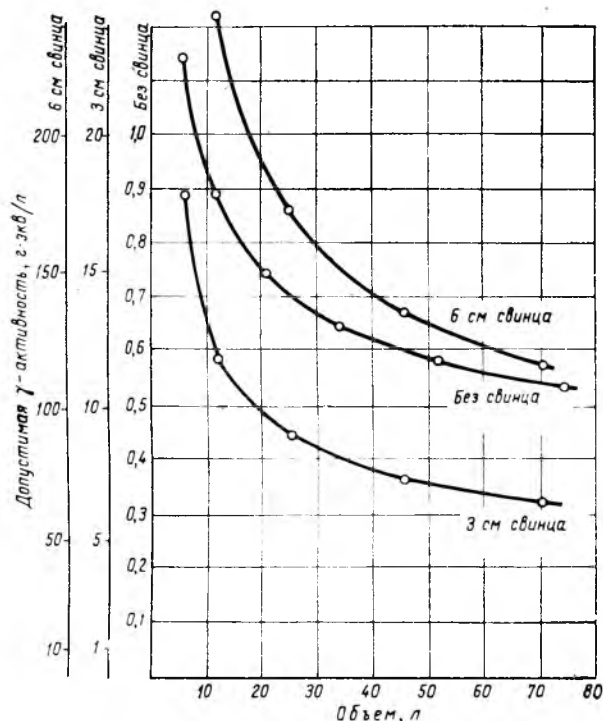


Рис. 3. Зависимость предельно допустимых концентраций γ -активных веществ от объема раствора для различной толщины свинцового экрана.

ческим методом. Во всех случаях расхождения не превышали 4%. Первое калориметрическое измерение использовалось как калибровочное.

Выход нейтронов из раствора объемом 0,5 л измерялся сцинтилляционным счетчиком быстрых нейтронов. Сцинтиллятор приготавливался из парафина и сернистого цинка. При содержании в растворе 1 мкюри полония регистрировалось 10 имп/мин. Эти измерения также контролировались калориметрическим методом: расхождения не превышали 8%.

Если концентрацию α -активного вещества необходимо определять в растворе, содержащем значительные количества γ -излучающих элементов, то удобно использовать счетчики СНМ-9, которые могут работать в γ -полях 1000 р/ч. Параллельное включение нескольких таких счетчиков с обогащенным бором позволяет повысить чувствительность в 20—30 раз. При этом можно измерять концентрацию плутония в растворе начиная с 20—30 мг/л при допустимой концентрации γ -активных примесей 0,6 г экв/л. При использовании свинцовых экранов предельно допустимая концентрация γ -активных веществ может быть значительно увеличена. На рис. 3 показана зависимость предельно допустимых концентраций γ -активных веществ от объема раствора для различной толщины экрана.

Таким образом, описанный метод позволяет определять содержание α -активных веществ в растворе дистанционно, без нарушения герметичности. Этим методом можно измерять концентрации начиная с 1—2 мкюри/л, причем различные примеси в растворе мало влияют на результаты измерений. Использование свинцовых экранов дает возможность вести измерения при концентрации γ -активных веществ в растворе ~150 г экв/л.

Поступило в Редакцию 24/1 1959 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Сердюкова, А. Г. Хабашпашев, Э. М. Центер. Изв. АН СССР, серия физ., XXI, № 7, 1017 (1957).
2. А. Б. Дмитриев. Приборы и техника эксперимента, № 2, 3 (1957).

Гамма-излучение осколков U^{235} и Pu^{239}

Ю. И. Петров

С помощью воздушноэквивалентных ионизационных камер и счетчика Гейгера исследовалось γ -излучение осколков U^{235} и Pu^{239} в широком интервале времени (0,6 сек—11 ч) после импульсного облучения мишеней в потоке тепловых нейтронов тяжеловодного ядерного реактора АН СССР [1]. Кратковременное облучение мишеней (1 сек) осуществлялось пневматическим устройством. Ионизационные измерения выполнялись на различных расстояниях от мишеней в воздухе и воде. Использовались плоские толстостенные (1—2 см) герметичные камеры из плексигласа с электродами из алюминиевой фольги толщиной 13 мк. Ионизационные токи после усиления сбалансированным усилителем постоянного тока записывались на шлейфовом осциллографе. Применение в усилителе полной отрицательной обрат-

ной связи [2, 3] позволило уменьшить реально действующую входную постоянную времени усилителя $RC=1,5$ сек до значения $(RC)_{эфф}=0,01$ сек. Число делений в мишенях определялось по β -активности облучаемых вместе с мишенью медных индикаторов, прокалиброванных с помощью камеры деления, содержащей известные навески U^{235} или Pu^{239} (методика разработана в 1952 г. О. И. Лейпунским, П. А. Ямпольским и В. Н. Сахаровым). Вес U^{235} и Pu^{239} в мишенях определялся сравнением γ -активностей совместно облученных мишеней и эталонных образцов природного урана или Pu^{239} . Сравнение проводилось в стандартных условиях с помощью счетчика Гейгера. Было показано, что в пределах экспериментальных погрешностей (10%) γ -излучение осколков U^{235} и Pu^{239} обладает одина-

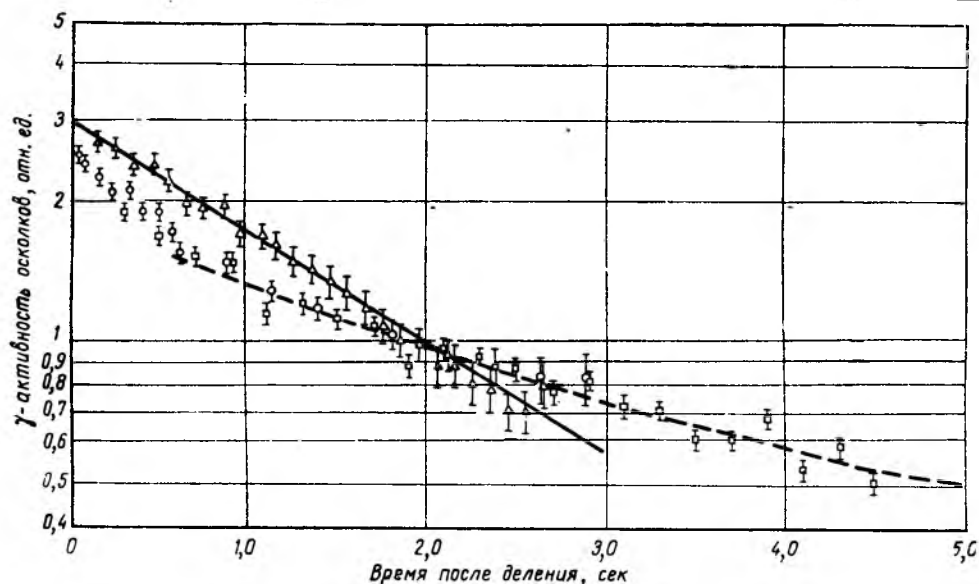


Рис. 1. Кинетика короткопериодного γ -излучения осколков U^{235} :

— — — данные настоящей работы; $\circ$ — данные И. И. Левинтова и В. Н. Шамшева; $\triangle$ — данные работы [4];
 $\square$ — данные О. И. Лейпунского с сотрудниками для деления природного урана нейтронами с энергией 14 Мэв.

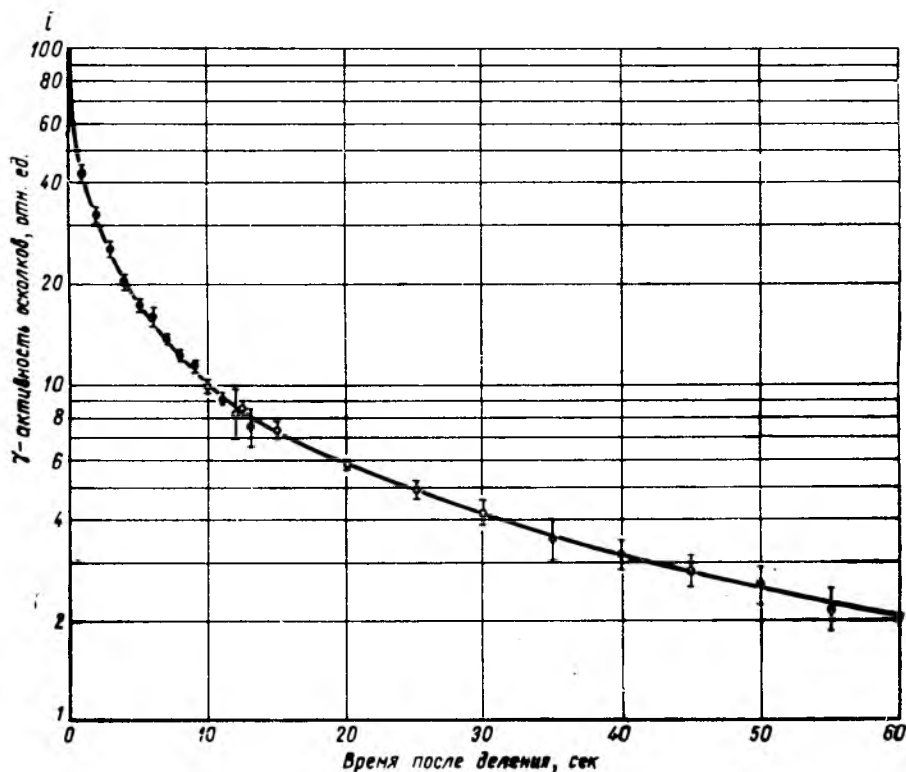


Рис. 2. Кинетика γ -излучения осколков U^{235} по данным ионизационных измерений в воздухе.

ковой кинетикой распада, одинаковой средней энергией γ -квантов и одинаковым выходом полной энергии γ -излучения на одно деление. Поэтому ниже приводятся результаты главным образом для U^{235} .

После введения поправок на распад продуктов деления за время облучения мишеней в реакторе наши результаты экстраполировались к моменту времени $t=0,05$ сек после деления путем сопряжения с данными И. И. Левинтова и В. Н. Шамшева. Эти

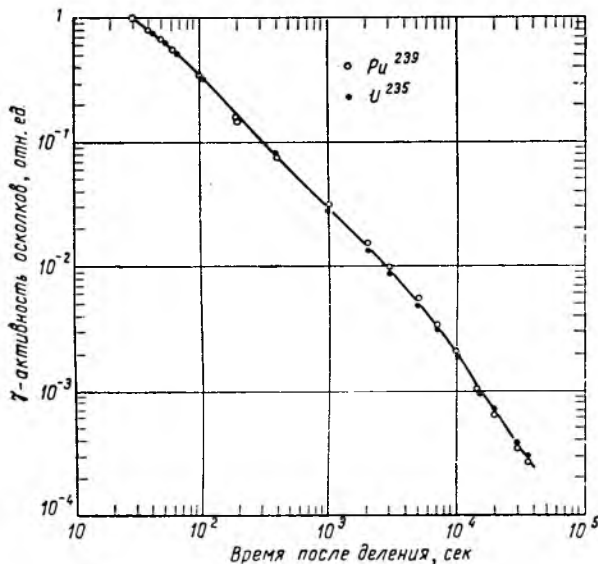


Рис. 3. Кинетика γ -излучения осколков U^{235} и Pu^{239} по данным алюминиевого счетчика Гейгера.

авторы измерили в 1952 г. с помощью счетчика Гейгера кинетику γ -излучения осколков U^{235} и Pu^{239} в интервале времени $0,05 \div 3$ сек и $0,05 \div 0,7$ сек соответственно после импульсного (10^{-2} сек) облучения образцов медленными нейтронами и не нашли заметного различия между данными для U^{235} и Pu^{239} . Результаты измерения ионизационных токов в воде хорошо аппроксимируются формулой $i(r, t) = 1,16 \cdot 10^{-23} [10,73 \exp(-0,238 r) + \exp(-0,0775 r)] \times \times [1,78 \exp(-3,14 t) + 1,825 \exp(-0,545 t) + \exp(-0,091 t)] \frac{a}{\text{см}^3 \cdot \text{деление}}$, (1)

где $0,05 \leq t \leq 14$ сек; $8,2 \leq r \leq 70$ см и токи отнесены к 1 см^3 объема камеры и одному делению U^{235} .

Данные разных работ по кинетике короткопериодного γ -излучения осколков представлены на рис. 1. Кривые совмещены при $t=2$ сек. Интересно отметить, что данные по делению U^{235} тепловыми нейтронами и делению природного урана нейтронами с энергией 14 Мэв (опыты О. И. Лейпунского с сотрудниками в 1952 г.) совпадают.

На рис. 2 приведена кинетика γ -излучения осколков U^{235} по данным ионизационных измерений в воздухе. В пределах погрешности измерений (10%) начальный участок кривой описывается формулой (1). При измерениях с помощью счетчика Гейгера [5] для интервала времени $1,25 \div 17$ сек получен гораздо более резкий спад ($t^{-0,8}$) γ -активности

осколков, чем следует из наших данных. Измерение γ -активности осколков в интервале времени $24 \text{ сек} \div 11 \text{ ч}$ проводилось нами совместно с Г. Г. Петровым в 1953 г. с помощью свинцового счетчика Гейгера (толщина стенок 1 мм) и алюминиевого счетчика Гейгера (толщина стенок 4 мм). На перекрывающихся участках ($5 \div 10 \text{ ч}$) кривые распада для обоих счетчиков описываются одинаковой формулой. Результаты измерений с алюминиевым счетчиком показаны на рис. 3.

Отдельные компоненты суммарного γ -излучения продуктов деления по-разному ослабляются при прохождении через рассеивающую среду, в результате чего кривые распада, измеренные на разных расстояниях от мишеней, могут различаться между собой. Справедливость формулы (1) для интервала расстояний $8,2 \div 70 \text{ см}$ и согласие кривых распада при измерениях в воде и воздухе указы-

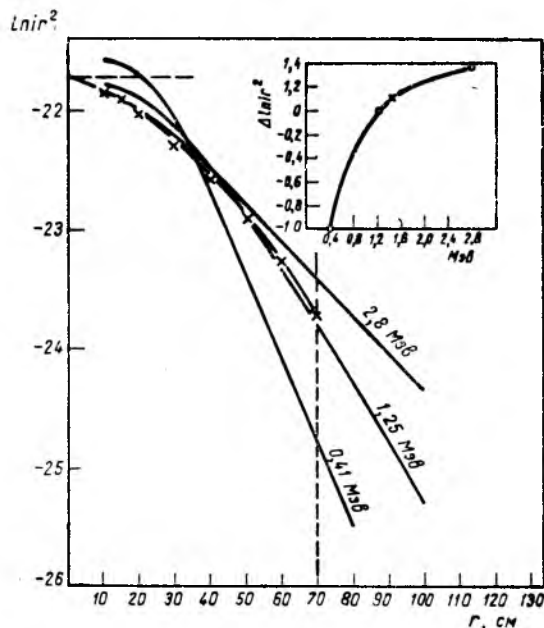


Рис. 4. Пространственное распределение γ -излучения:

— данные работы [7] для γ -излучения в воде;
 —X— данные для γ -излучения осколков в воде по формуле (1) при $t=1$ сек; — — — данные для γ -излучения осколков в воздухе при $t=1$ сек.

вают на приблизительную однородность компонентов и приблизительное постоянство средней энергии γ -квантов осколков в течение первых секунд распада. Постоянство средней энергии γ -излучения осколков U^{235} в течение 5 мин после деления экспериментально установлено в работе [6].

На рис. 4 представлено пространственное распределение γ -излучения в воде для γ -квантов с энергией $0,41$; $1,25$ и $2,8 \text{ Мэв}$ [7]. Крестиками и пунктиром отмечены данные для излучения осколков по измерениям в воде (формула (1)) и воздухе при $t=1$ сек. Вверху дана разность $\Delta \ln i r^2$ как функция энергии γ -квантов при $r=70 \text{ см}$. Видно, что средняя

энергия γ -излучения осколков $h\nu_{\text{ср}}=1,5$ Мэв. Эта оценка энергии γ -излучения осколков является достаточно корректной, так как она автоматически учитывает эффект многократного рассеяния γ -квантов в плотной среде. Опыты с поглощением коллимированного пучка фильтрами из меди и алюминия дали значение $h\nu_{\text{ср}}=1,6\pm 0,3$ Мэв для первых секунд распада [5].

Суммарный выход энергии γ -излучения в 1 сек на один акт деления $E_{\gamma}(t)$ определялся нами тремя независимыми способами: 1) интегрированием пространственного распределения доз в воде; 2) по данным ионизационных измерений в воздухе в предположении, что $h\nu_{\text{ср}}=1,5$ Мэв, 3) сравнением γ -активностей мишеней из U^{235} , Pu^{239} и эталонных образцов Na^{23} , совместно облученных тепловыми нейтронами. Сравнение проводилось с помощью толстоственного алюминиевого счетчика Гейгера, у которого зависимость эффективности регистрации от энергии β -квантов в интервале энергий 0,2–3 Мэв близка к прямолинейной [10] и, следовательно, скорость счета пропорциональна потоку энергии γ -излучения. Результаты измерений первым и вторым способами совпадают с точностью до 5%. На перекрывающихся участках кривых распада (25–60 сек) результаты измерений третьим способом совпадают с данными ионизационных измерений в воде в пределах экспериментальных ошибок (~10%).

Аппроксимация кривой $E_{\gamma}(t)$ для различных интервалов времени распада приведена в таблице.

Аппроксимация кривой $E_{\gamma}(t)$

Интервал времени после деления	$E_{\gamma}(t) \cdot \frac{\text{Мэв}}{\text{сек} \cdot \text{деление}}$
0,05–14 сек	0,18 [1,78 exp(–3,14 t) + 1,825 exp(–0,545 t) + exp(–0,091 t)]
10–60 сек	$6,26 \cdot 10^{-2}$ [2,18 exp(–0,459 t) + exp(–0,0239 t)]
60–7200 сек	$1,145 t^{-1,05}$
1,5–11 ч	$2,97 \cdot 10^{-4} t^{-1,45}$

Сводка результатов для $E_{\gamma}(t)$ показана на рис. 5. Кривая 2 дает теоретические значения суммарной энергии радиаций (β -, γ -излучения и нейтрино), полученные на основе рассмотрения совокупности продуктов деления как единого статистического коллектива [8]. Данные неопубликованных работ Ферми и Кинга, а также Муна и Гоффмана заимствованы из обзора [8]. Результаты работы [6] занижены, по-видимому, более чем в 1,5 раза вследствие неточной калибровки аппаратуры. Причина расхождения наших данных с данными работы [9] неясна.

Автор благодарит проф. О. И. Лейпунского за предложение темы и научное руководство.

Поступило в Редакцию 27/III 1959 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. И. Петров. Диссертация. Институт химической физики АН СССР, 1953.

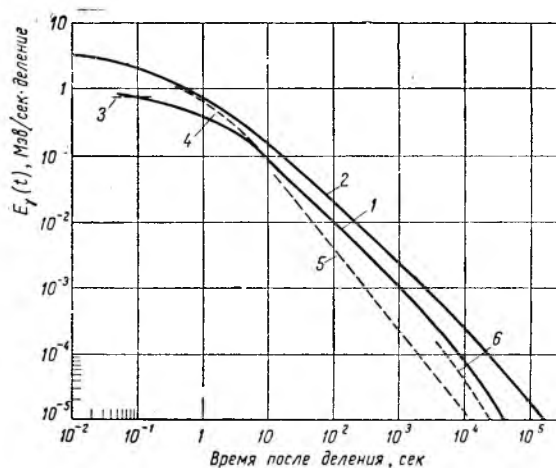


Рис. 5. Выход энергии γ -излучения осколков на одно деление U^{235} или Pu^{239} :

1—данные настоящей работы; 2—суммарная энергия β -, γ -излучения и нейтрино [8]; 3—данные Ферми и Кинга [8]; 4—данные Муна и Гоффмана [8]; 5—данные работы [6]; 6—данные работы [9].

2. Г. С. Цыкин. Отрицательная обратная связь и ее применение. Связьтехиздат, 1940.
3. H. T h o m a s. Electronics, 19, 130 (1946).

4. J. Brolley, D. Cooper, Wm. Hall, M. Livingston, L. Schlacks. Phys. Rev., 83, 990 (1951).
5. О. И. Лейпунский, В. Н. Сахаров, В. П. Терещенко. Атомная энергия, II, № 3, 278 (1957).
6. N. Sugarman, S. Katcoff, B. Finkle, N. Elliot, J. Knight. Radiochemical Studies: The Fission Products, Book I. N. Y., McGraw-Hill Co., 1951, p. 371.
7. В. Н. Сахаров. Атомная энергия, III, № 7, 5 (1957).
8. K. Way, E. Wigner. Phys. Rev., 73, 1318 (1948).
9. В. Н. Сахаров, А. И. Малофеев. Атомная энергия, III, № 10, 334 (1957).
10. H. Bradt, P. Gugelot, O. Huber, H. Medicus, P. Preiswerk, P. Scherrer. Helv. phys. acta, 19, 77 (1946).