

К. К. АГЛИНЦЕВ и Е. А. ХОЛЬНОВА

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТИ И ЧИСЛА γ -КВАНТОВ НА АКТ РАСПАДА

(Представлено академиком П. И. Лукирским 26 IV 1954)

Ниже приводится описание конструкции и данные по исследованию и применению калориметров двух типов, предназначенных для абсолютных измерений интенсивности β - и γ -излучений радиоактивных препаратов.

γ -Калориметр состоит из двух одинаковых свинцовых шаров, помещенных в термостатирующее устройство. Внутри каждого шара (см. рис. 1) имеется небольшая цилиндрическая полость для изучаемого препарата и градуировочная катушка, нагреваемая током. Препарат помещается поочередно в один из шаров калориметра. Разность температур между шарами измеряется при помощи термопар, укрепленных на поверхности шаров. Отсчет по гальванометру, включенному в цепь термопар, производится после наступления в калориметре теплового равновесия, когда температура поверхности шара определяется только количеством выделяющегося в нем тепла.

В калориметрах применялись шары различных диаметров: 3,5; 5,5; 7,0 и 10 см; поглощение γ -лучей в них, соответственно, происходило на пути 1,1; 2,1; 2,8 и 4,3 см. Чувствительность этих калориметров (отклонение по шкале гальванометра на 1 Вт мощности источника) равна $18,9 \cdot 10^3$; $10,1 \cdot 10^3$; $7,58 \cdot 10^3$ и $5,38 \cdot 10^3$ мм/Вт.

Указанные толщины поглотителя были недостаточны для полного поглощения жестких γ -лучей; увеличение же диаметра шаров привело бы к значительному увеличению их поверхности и к снижению чувствительности установки и точности измерений.

Вследствие неполного поглощения γ -лучей в калориметре необходимо было произвести расчет той части энергии γ -лучей, которая превращается в тепло.

Нами был развит предложенный П. И. Лукирским метод расчета, позволяющий определить с погрешностью, не превышающей 2—3%, долю энергии γ -лучей, которая поглощается в калориметре. Расчет поглощения γ -излучения, выходящего из источника, расположенного в центре шара, был выполнен численным интегрированием точного аналитического выражения для поглощающей компоненты однократно рассеянного излучения и приближенного — для двукратного рассеяния. Допущенное

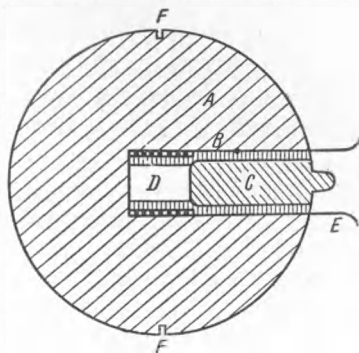


Рис. 1. Конструкция шаров γ -калориметра. А — корпус свинцового шара, В — свинцовая втулка с нагревательной катушкой, С — свинцовая пробка, D — цилиндрическая полость для препарата, E — концы нагревательной катушки, F — отверстия для спаев термопар

при расчете двукратно рассеянного излучения приближение не вносит существенной ошибки в результат расчета, так как в общем балансе энергии оно играет малую роль. На поглощение многократно рассеянного излучения вносится поправка.

На рис. 2 приведены результаты расчета поглощения γ -лучей различных энергий в калориметрах разной величины. Энергия W_γ , выделяемая препаратом в 1 сек. в калориметре, связана с числом актов распада в препарате N_0 и энергиями γ -квантов $h\nu_i$ соотношением:

$$W_\gamma = N_0 \left(\bar{E}_\beta + \sum_i h\nu_i \eta_i p_i \right), \quad (1)$$

где $\bar{E}_\beta$ — средняя энергия β -частиц, определяемая из спектроскопических данных; η_i — абсолютное число γ -квантов энергии $h\nu_i$, приходящееся на акт распада; p_i — коэффициент, учитывающий, какая доля

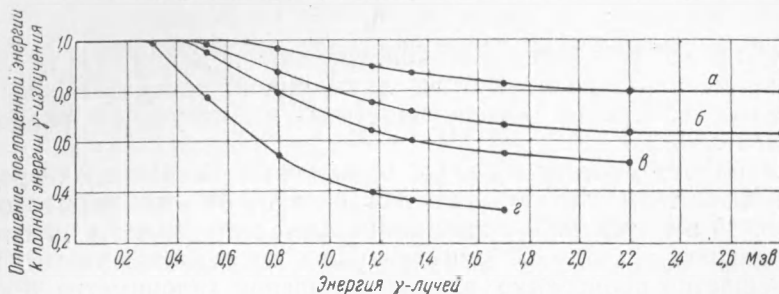


Рис. 2. Поглощение γ -лучей различных энергий в калориметрах. а — диаметр калориметра 10 см, б — 7 см, в — 5,5 см, г — 3,5 см

энергии γ -кванта $h\nu_i$ поглотилась в калориметре. Находя W_γ из эксперимента и пользуясь расчетными p_i , можно определить число распадов.

Для измерения интенсивности β -излучения нами был изготовлен изотермический калориметр типа (1) в несколько ином конструктивном оформлении.

β -Калориметр (см. рис. 3) представляет собой сосуд Дьюара, заполненный жидким азотом. В этот сосуд помещается изучаемый препарат. Тепло, выделяемое источником благодаря поглощению его β -частиц, испаряет жидкий азот. Объем выделяющегося газообразного азота, измеренный при некотором определенном давлении и комнатной температуре, является мерой количества тепла, выделенного препаратом в течение измерения. Для термоизоляции от окружающей среды β -калориметр помещался в два наружных сосуда Дьюара, также заполненных жидким азотом.

Градуировка β -калориметра производилась при помощи нагревательной катушки; установлено, что: а) скорость выделения газа пропорциональна мощности источника; б) количество тепла в 1 джоуль дает 4,01 см³ газообразного азота при 760 мм рт. ст. и 20°; в) чувствительность калориметра достаточна для измерения источников мощностью порядка 10^{-4} — 10^{-5} вт (примерно 10 μ при средней энергии излучения в 1 Мэв).

В случае чистых β -излучателей выделяемая в β -калориметре энергия связана с числом актов распада формулой:

$$W_\beta = N_0 \bar{E}_\beta. \quad (2)$$

Если препарат испускает и γ -лучи, то вводится поправка на их поглощение в препарате и в самом калориметре.

Как видно из уравнения (1), пользуясь γ -калориметрами, можно определять активность препарата в том случае, если для него известны абсолютные числа γ -квантов на акт распада. Однако, если производить измерения последовательно на β - и γ -калориметрах, то этих данных оказывается достаточно для одновременного определения активности и числа γ -квантов на распад. Для этого необходимо знать относительные интенсивности γ -линий и среднюю энергию β -спектра.

Относительные интенсивности $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ γ -квантов с энергиями $h\nu_1, h\nu_2, \dots$ связаны с абсолютными числами квантов на распад соотношением:

$$\eta_1 = k\alpha_1; \quad \eta_2 = k\alpha_2; \dots$$

Для определения величин $\eta_1, \eta_2, \dots$ достаточно определить значение коэффициента k .

Измерение препарата на γ -калориметре дает поглощенную энергию W_γ , связанную с k соотношением:

$$W_\gamma = N_0 \left(\bar{E}_\beta + k \sum_i h\nu_i \alpha_i p_i \right). \quad (1a)$$

В этом выражении неизвестны только N_0 и k . Другое уравнение для N_0 и k можно получить из измерений препарата в β -калориметре:

$$W_\beta = N_0 \left(\bar{E}_\beta + k \sum_i h\nu_i \alpha_i p_i^0 \right). \quad (2a)$$

Здесь p_i^0 — малая поправка, учитывающая поглощение γ -лучей в самом препарате и жидком азоте. Уравнения (1a) и (2a) позволяют получить как N_0 , так и k .

Указанный метод был применен для изучения Sb^{124} . Этот изотоп привлекает внимание ввиду сложного состава спектра и недостаточно точного знания схемы распада. Измерения производились на двух больших калориметрах (диаметры 10 и 7,0 см) и в β -калориметре.

Если принять энергию γ -лучей Sb^{124} по данным работ (2, 3), относительные интенсивности этих линий по данным (2), среднюю энергию β -спектра $\bar{E}_\beta = 380$ кэв, вычисленную по данным работы (4), то для коэффициента k получается значение:

$$k = 0,62 \pm 0,03.$$

Величина N_0 , определенная параллельно с коэффициентом k , была сверена с результатом измерения активности того же препарата Sb^{124}

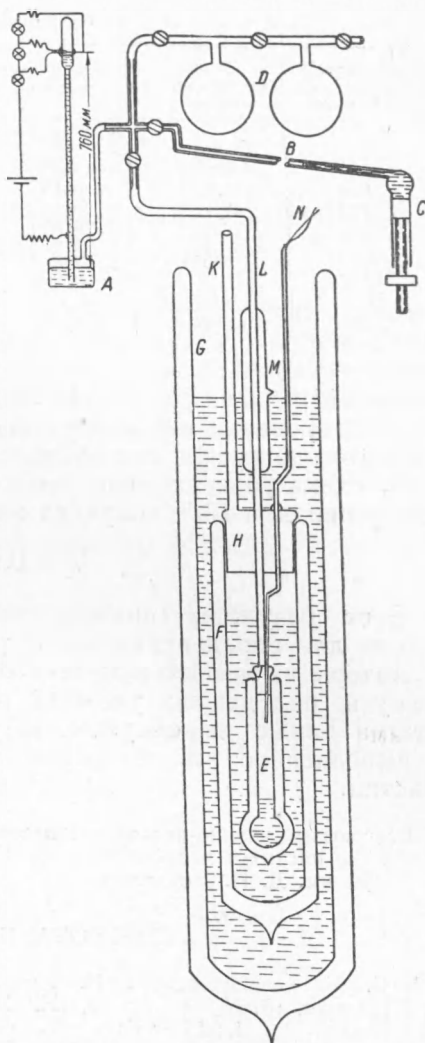


Рис. 3. β -Калориметрическая установка. E, F и G — сосуды Дьюара, I и H — пробки сосудов, L — трубка, соединяющая калориметр с измерительным устройством, M — вакуумный кожух, N — концы нагревательной катушки, A — манометр с сигнальным устройством, B — градуированная капиллярная трубка, C — поршневой насос, D — балластные колбы

на установке для абсолютного β -счета и оказалась совпадающей с ней в пределах ошибок измерений.

Зная относительные интенсивности γ -линий и принимая для коэффициента k полученное нами значение, находим для Sb^{124} абсолютные

Таблица 1

Энергия γ -лучей по данным ($^{\circ}$, $^{\circ}$) в кэв	Относит. интенсивн. по данным ($^{\circ}$)	Абсол. числа на распад
597	1,42	0,88
650	0,12	0,074
711	0,19	0,118
958	0,066	0,041
1052	0,044	0,027
1347	0,17	0,105
1691	1,00	0,62
2070	0,10	0,062

числа γ -квантов каждой энергии на один акт распада. Эти данные приведены в третьем столбце табл. 1.

К сожалению, полученные числа γ -квантов на распад имеют погрешность порядка 10%. Причиной столь большой ошибки является погрешность в знании относительных интенсивностей γ -линий (в лучшем случае они измеряются с точностью в 5%).

На основании полученных данных оказалось возможным подсчитать полную энергию β - и γ -излучения Sb^{124} .

Она равна 2,42 Мэв на один распад.

Для проверки правильности описанного метода определения числа γ -квантов на распад мы произвели измерение радиоактивного изотопа Co^{60} , схема распада которого хорошо известна ($k = 1$). В результате измерений для Co^{60} получено значение:

$$k = 0,974 \pm 0,030.$$

Этот результат подтверждает пригодность calorиметрического метода для определения чисел γ -квантов на акт распада.

Авторы выражают искреннюю признательность акад. П. И. Лукирскому за ряд ценных указаний по постановке работы, методике расчета, а также за обсуждение результатов и А. А. Константинову за выполненное им измерение активности препарата Sb^{124} по счету β -частиц.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт метрологии
им. Д. И. Менделеева

Поступило
5 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. V. Cannon, G. H. Jenks, Rev. Scient. Instr., **21**, 236 (1950).
- ² К. Громов, Б. Желепов, Н. Жуковский и др., ДАН, **86**, 255 (1952).
- ³ B. Kern, D. Laffarano, A. Mitchell, Phys. Rev., **73**, 1142 (1948).
- ⁴ C. S. Cook, L. M. Langer, Phys. Rev., **73**, 1149 (1948).