

Международные сличения удельной активности растворов P^{32} , Co^{60} , Tl^{204} и активности «твердых» источников Co^{60}

А. А. Константинов, В. В. Перепелкин, А. Е. Кочин

Международные сличения по определению активности различных радиоактивных препаратов, проводимые по программе Международного бюро мер и весов, были рекомендованы Международной комиссией по радиологическим единицам и измерениям национальным метрологическим лабораториям, применяющим радиоактивные эталоны.

Сопоставление данных по международным сличениям позволяет установить надежность применяемых методов для эталонирования, проверить точность и распространенность различных методов. Кроме того, международные сличения дают возможность сравнить условия (например, γ - и β -фон) и параметры применяемой аппаратуры в различных национальных лабораториях. Международные сличения являются объективной проверкой работы национальных лабораторий по эталонированию различных радиоактивных препаратов.

Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ) впервые принял участие в международных сличениях радиоактивных препаратов в январе 1961 г. и по май 1963 г. участвовал в четырех международных сличениях по определению удельной активности растворов P^{32} , Co^{60} , Tl^{204} и Co^{60} . В этом же институте было проведено международное сличение активности «твердых» источников Co^{60} , т. е. специально приготовленных источников Co^{60} на тонких пленках. При определении удельной активности растворов P^{32} и Tl^{204} применялся метод абсолютного счета β -частиц с помощью пропорционального 4л-счетчика. При определении удельной активности растворов Co^{60} применялись методы 4л-счета и 4л β - γ -совпадений. При определении активности «твердых» источников Co^{60} использовались методы 4л β - γ и β - γ -совпадений.

В международном сличении, которое проводилось в январе 1961 г., приняли участие 12 стран; некоторые страны, такие, как Англия, Канада, Франция и ФРГ, были представлены двумя лабораториями [1]. Все национальные лаборатории применяли для сличений метод 4л-счета; при этом во многих лабораториях использовали пропорциональный 4л-счетчик и только в лабораториях Франции — 4л-счетчик Гейгера—Мюллера. Ведущие национальные лаборатории NPL (Англия) и PTB (ФРГ) кроме пропорционального 4л-счетчика применяли также ионизационную камеру. Некоторые национальные лаборатории для дублирования 4л-счетчика использовали жидкостные и пластмассовые сцинтилляционные счетчики.

Во время проведения этого сличения был проверен применяемый во ВНИИМ пропорциональный 4л-счетчик с фиксированным давлением газа [2]. Так как P^{32} имеет «жесткий» β -спектр с граничной энергией 1,7 Мэв, то поправки на самопоглощение и поглощение β -частиц в пленке очень малы и не вносят существенной ошибки в полученный результат измерений. Определенная нами удельная активность раствора P^{32} , равная $10,79 \text{ мккюри} \times \text{г}^{-1}$, почти совпадает со средним значением всех стран

($10,76 \text{ мккюри} \cdot \text{г}^{-1}$) и хорошо согласуется с результатами ведущих национальных лабораторий [1]. Отклонение нашего результата от среднего составляет 0,03% (рис. 1).

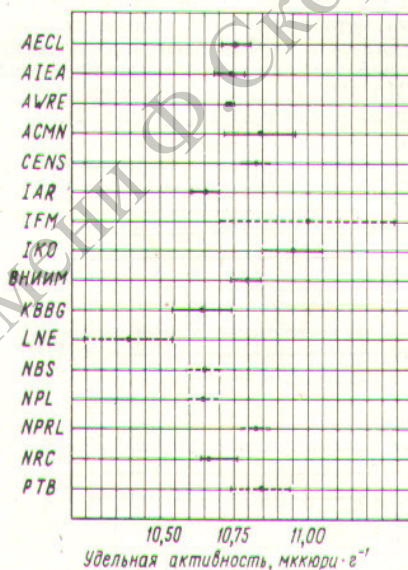


Рис. 1. Результаты международных сличений удельной активности раствора P^{32} (январь 1961 г.).

Следующее международное сличение, в котором участвовал ВНИИМ, было проведено в январе 1962 г. В нем приняла участие 21 лаборатория от 18 стран. В качестве нуклида, удельную активность раствора которого нужно было определить, был выбран Co^{60} . Измерение этого β -излучателя методом 4л-счета с высокой точностью связано с большими трудностями вследствие низкой граничной энергии β -спектра ($0,306 \text{ Мэв}$). В связи с трудностью точного определения самопоглощения β -частиц Co^{60} метод 4л-счета применили только шесть национальных лабораторий [3]. Из-за удобной схемы распада этот нуклид может быть измерен очень точно методом совпадений. Результат $4,700 \text{ мккюри} \cdot \text{г}^{-1}$, полученный во ВНИИМ методом 4л-счета, полностью совпадает с результатом, полученным методом 4л β - γ -совпадений, и хорошо согласуется с общим средним значением результатов всех национальных лабораторий ($4,699 \text{ мккюри} \cdot \text{г}^{-1}$ [3]). Отклонение нашего результата от среднего составляет 0,02%.

В мае 1962 г. ВНИИМ участвовал в международных сличениях по определению удельной активности раствора Tl^{204} [4]. В этих сличениях принимала участие

21 лаборатория от 18 стран. Определенная нами удельная активность раствора Tl^{204} дала несколько различных результаты для двух ампул: 100,4 и 101,3 мккюри·г⁻¹. Однако среднее значение 100,9 мккюри·г⁻¹ хорошо согласуется с общим средним значением всех лабораторий (101,4 мккюри·г⁻¹ [4]); отклонение нашего результата от среднего составляет 0,5%.

Учитывая особую заинтересованность национальных метрологических лабораторий в точном измерении активности источников Co^{60} , Международное бюро мер и весов провело в начале 1963 г. еще два сличения. Для исключения ошибок, которые могли возникнуть при изготовлении источников из раствора, сличения проводились не только на растворах Co^{60} , но и на «твердых» источниках Co^{60} , приготовленных на подложках из металлизированной тонкой пленки. В этих сличениях участвовало 20 лабораторий от 17 стран [5]. Активность источников Co^{60} измерялась во ВНИИМ методами $4\pi\beta\text{-}\gamma$ и $\beta\text{-}\gamma$ совпадений. Отклонение значения удельной активности раствора Co^{60} , полученного во ВНИИМ в 1963 г., от среднего результата всех лабораторий было равно 0,23% [5] (рис. 2).

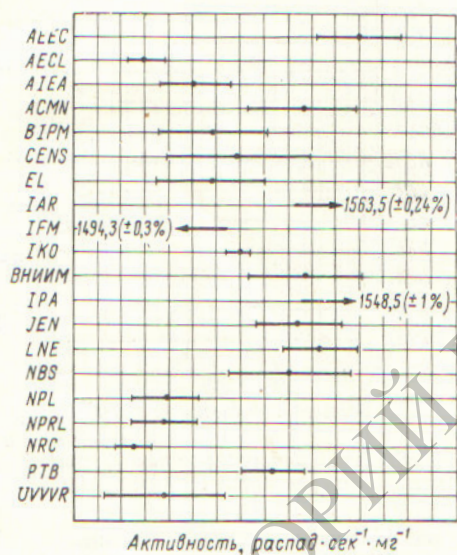


Рис. 2. Результаты международных сличений удельной активности раствора Co^{60} (март — апрель 1963 г.).

Для твердых источников Co^{60} отклонение составило (рис. 3): 0,02% для источника 1 (№ 51811, большой активности, закрытый с двух сторон пленкой); 0,15% для источника 2 (№ 5203, средней активности) и 0,5% для источника 4 (№ 5173, слабой активности). Видно, что отклонение наших результатов не превышает 0,25%. Исключение составляет источник 4; отклонение его результатов, равное 0,5%, объясняется большим γ -фоном в помещении лаборатории ВНИИМ, где проводились международные сличения, а точность определения активности для слабых источников сильно зависит от величины γ -фона.

Сопоставление результатов международных сличений, а также сравнение результатов определения активности одних и тех же источников двумя независимыми методами (методом 4π -счета [6] и методом совпаде-

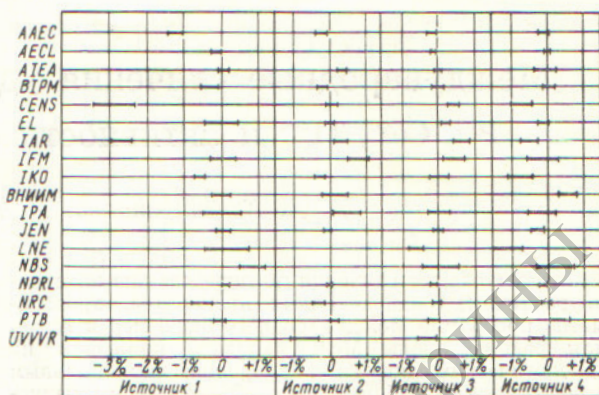


Рис. 3. Результаты международных сличений активности «твердых» источников Co^{60} (март — апрель 1963 г.).

ний) дает возможность оценить систематическую ошибку каждого метода, которая для измерительных установок ВНИИМ им. Д. И. Менделеева не превышает 0,1%.

Поступило в Редакцию 9/VII 1964 г.

В окончательной редакции 21/I 1965 г.

Список лабораторий, принимавших участие в международных сличениях

- AAEC — Австралийская компания по атомной энергии, Лукас Хайтс, Австралия.
- AECL — Компания атомной энергии, Чок-Ривер, Онтарио, Канада.
- AEE — Управление атомной энергии, Бомбей, Индия.
- IAEA — Международное агентство по атомной энергии, Вена, Австрия.
- AWRE — Научно-исследовательское учреждение по атомным средствам, Олдермастон, Англия.
- BCMN — Центральное бюро ядерных исследований, Геел, Бельгия.
- BIPM — Международное бюро мер и весов, Севр, Франция.
- CENS — Центр ядерных исследований, Сакле, Франция.
- CFN — Центр ядерной физики, Лиссабон, Португалия.
- DAECRE — Исследовательский институт комиссии по атомной энергии, Рисо, Дания.
- EL — Электротехническая лаборатория, Токио, Япония.
- GWJ — Институт радиохимии Густава Вернера, Уппсала, Швеция.
- IAR — Институт прикладной радиоактивности, Лейпциг, ГДР.
- IFM — Институт физики и математики, Сантьяго, Чили.
- IKO — Научно-исследовательский институт ядерной физики, Амстердам, Голландия.
- ВНИИМ — Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, Ленинград, СССР.

ЛИТЕРАТУРА

- IPA — Институт атомной физики, Бухарест, Румыния.
 IR — Радиевый институт, Вена, Австрия.
 IRK — Институт радиоактивности и ядерной физики, Вена, Австрия.
 IRPAR — Институт исследования, производства и применения радиоактивных изотопов, Прага, Чехословакия.
 JEN — Совет по ядерной энергии, Мадрид, Испания.
 KVBG — Общество по строительству и эксплуатации ядерных реакторов, Карлсруэ, ФРГ.
 LNE — Национальная лаборатория Эссе, Париж, Франция.
 NBS — Национальное бюро эталонов, Вашингтон, США.
 NPL — Национальная физическая лаборатория, Теддингтон, Англия.
 NPRL — Национальная физическая исследовательская лаборатория, Претория, ЮАР.
 NRC — Национальный исследовательский совет, Онтарио, Канада.
 PTB — Федеральный физико-технический институт, Брауншвейг, ФРГ.
 VVVVR — см. IRPAR.

1. Bureau International des Poids et Mesures. Resultats de la Comparaison du Phosphore 32. Comité International des Poids et Mesures. Paris, Gauthier — Villars, 1963.
2. А. А. Константинов. «Труды ВНИИМ», 30, 90 (1957).
3. A. K o t c h i n e. Rapport sur la comparaison internationale du cobalt 60. Comité international des poids et mesures. Paris, 1963.
4. I. R o y, L. C a v a l l o. Rapport sur la Comparaison internationale du thallium 204. Comité international der poids et mesures. Paris, 1963.
5. A. R y t z, I. R o y. Rapport Preliminaire sur la comparaison internationale de la methode $4\pi\beta_\gamma$ (PC) au moyen du ^{60}Co . Pavillon de Breteuil Sevres, France, 1963.
6. А. А. Константинов, А. Е. Кочин. Труды институтов Госстандарта стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР. Вып. 69 (129). М., Стандартиз, 1962, стр. 13.

УДК 539.421.7

Асимптотика закона рассеяния медленных нейтронов

Л. В. Майоров

Асимптотическое поведение закона рассеяния медленных нейтронов [1] $S(\alpha, \beta)$ при больших α исследовалось в работах [1—3]. В работе [2] получена асимптотическая формула, которая не удовлетворяет принципу детального равновесия, однако имеет ясный физический смысл (рассеяние на свободном газе). Асимптотическая формула, полученная в работе [1], напротив, удовлетворяет принципу детального равновесия, но, как отмечалось в работе [4], не имеет такого ясного физического смысла. Обе формулы, естественно, отличаются друг от друга, а также от асимптотического разложения, полученного в работе [3] с помощью метода «перевала».

Так как в опубликованной литературе не разбирался вопрос о том, в какой области плоскости α, β справедливы эти разложения и в каком смысле они отличаются друг от друга, выведем общую асимптотическую формулу закона рассеяния медленных нейтронов, справедливую во всей плоскости α, β и применимую для ряда других физических задач, обзор которых можно найти, например, в работе [2]. При этом все известные разложения [1—3] можно получить как частные случаи общей асимптотической формулы. Приводятся также оценки остаточных членов разложения, которые ранее либо не приводились, либо были неверными [2].

Общая асимптотическая формула закона рассеяния. В некогерентном гауссовом приближении закон рассеяния медленных нейтронов можно записать в виде интеграла

$$S(\alpha, \beta) = \frac{1}{2\pi} e^{-a\Delta\left(-\frac{i}{2}\right)} \int_{-\infty}^{\infty} e^{a\Delta(t)} e^{i\beta t} dt. \quad (1)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$\alpha = \frac{E_0 + E - 2 \cos \theta \sqrt{EE_0}}{MT}; \quad \beta = \frac{E_0 - E}{T};$$

T — температура среды; M — масса рассеивающего атома; E_0 и E — начальная и конечная энергии нейтрона; $\Delta(t)$ выражается через функцию $p(\beta)$, введенную в работе [1] и характеризующую динамические свойства рассеивающей среды с помощью соотношения

$$\Delta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\beta) e^{i\beta t} dt. \quad (2)$$

При этом

$$f(\beta) = \frac{p(\beta)}{\beta^2}; \quad \Delta^{(n)}(i\tau) = (-i)^n \int_{-\infty}^{\infty} f(\beta) e^{\beta\tau} d\beta \equiv (-i)^n f_n(\tau). \quad (2')$$

Следуя [3], сместим контур интегрирования в (1) параллельно оси t на расстояние τ (в дальнейшем τ будет рассматриваться как произвольный параметр). Приняв во внимание (2), (2') и сделав очевидные преобразования, получим

$$S(\alpha, \beta) = \frac{e^{-\beta\tau}}{\sqrt{\alpha f_2(\tau)}} e^{-a\left[\Delta\left(-\frac{i}{2}\right) - \Delta(i\tau)\right]} \Psi_\tau(\alpha, x), \quad (3)$$