

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**ОПТИМИЗАЦИЯ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ
ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЙ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Учебно-методическое пособие для вузов

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2012

Судьба, Удача, Случай,
Изменчивость и Время?
Им Подвластно все...

П.Б. Шелли. Освобожденный Прометей

Оптимизация интервалов времени измерения интенсивности потоков излучений

1. В экспериментальных исследованиях, когда изучаются такие характеристики потоков излучений, как интенсивность I или число частиц в заданном интервале времени $N(t)$, практически всегда имеется постороннее, т. е. фоновое излучение (для краткости – фон).

Часто измерительная система не идентифицирует фоновое излучение и регистрирует его так же, как и изучаемое. Это вызывает искажение информации о характеристиках изучаемого излучения.

Чтобы учесть воздействие (вклад) фона, необходимо знать характеристики этого излучения.

В большинстве экспериментов характеристики потоков излучений являются случайными величинами. Одной из важнейших характеристик потока является его интенсивность I , которую можно определить как число частиц потока в единицу времени:

$$I = N(t)/t,$$

где $N(t)$ – число частиц, зарегистрированных за время t .

При наличии фонового излучения результат измерения $N(t)$ представляет собой сумму числа частиц двух потоков излучения: изучаемого $N_x(t)$ и фонового $N_\phi(t)$.

$$N(t) = N_x(t) + N_\phi(t).$$

Каждая из составляющих суммы в простом случае является независимой случайной величиной, подчиняющейся обычно распределению Пуассона. Поэтому величина $N(t)$ также является случайной и подчиняется распределению Пуассона.

Одной из главных задач экспериментальных исследований является определение значений $N_x(t)$ и I_x . В качестве статистической оценки значения $N_x(t)$ при многократных измерениях принимают разность среднеарифметических значений

$$\bar{N}_x(t) = \bar{N}(t) - \bar{N}_\phi(t),$$

если время измерения t каждой составляющей одно и то же. Такая оценка основана на свойстве сумм (разностей) независимых случайных величин.

В общем случае интервалы времени измерения величин $N(t)$ и $N_\phi(t)$ различны, и тогда справедливо соотношение для интенсивностей потоков излучений

$$I_x = \frac{N(t)}{t} - \frac{N_\phi(t_\phi)}{t_\phi} = I_N - I_\phi.$$

2. Во многих экспериментальных исследованиях интенсивностей потоков излучений задача сводится к определению отношения двух интенсивностей в виде отношения скоростей счета частиц при двух различных условиях измерений. Например, в исследованиях ослабления потока излучения слоем вещества толщиной d ослабление интенсивности потока I можно представить моделью

$$I_1(d) = I_0 \cdot e^{-\mu d},$$

где μ – важнейшая характеристика ослабления (полный линейный коэффициент ослабления)

$$e^{\mu d} = \frac{I_0}{I_1(d)}.$$

При подобных условиях справедливо соотношение для относительных погрешностей интенсивностей и их отношения

$$\delta^2 = \delta_0^2 + \delta_1^2,$$

где

$$\delta_0 = \frac{\sigma_{I_0}}{I_0}; \quad \delta_1 = \frac{\sigma_{I_1}}{I_1}.$$

Среднеквадратичные флуктуации интенсивностей (скоростей счета) равны

$$\sigma(I_0) = \sqrt{I_0}/t_0, \quad \sigma(I_1) = \sqrt{I_1}/t_1, \quad I_0 = N_0/t_0, \quad I_1 = N_1/t_1,$$

где N_0 и N_1 – число частиц, зарегистрированных за время t_0 и t_1 соответственно.

Тогда

$$\delta^2 = \frac{1}{I_0 t_0} + \frac{1}{I_1 t_1}.$$

Если задано полное время измерения $T = t_0 + t_1$, то минимальная погрешность будет получена из соотношений:

$$\delta^2 = \frac{1}{I_0 t_0} + \frac{1}{I_1 \cdot (T - t_0)},$$

$$\frac{\partial \delta^2}{\partial t_0} = -\frac{1}{I_0 t_0^2} + \frac{1}{I_1 \cdot (T - t_0)^2} = \frac{1}{I_0 t_0^2} + \frac{1}{I_1 t_1^2} = 0.$$

Отсюда следует

$$\frac{t_0}{t_1} = \sqrt{\frac{I_1}{I_0}}.$$

Поэтому минимальная погрешность при определении отношения интенсивностей для заданного значения $t_0 + t_1 = T$ будет при значениях t_0 и t_1 , рассчитанных по формулам

$$t_0 = \frac{T}{1 + \sqrt{I_0/I_1}}, \quad t_1 = \frac{T}{1 + \sqrt{I_1/I_0}}.$$

Следовательно, при определении отношения двух интенсивностей необходимо измерять в течение большего времени меньшую интенсивность.

Для определения значений t_0 и t_1 при решении конкретной задачи необходимо выполнить предварительные оценочные измерения N_0 и N_1 (при $N_0 > N_1$) длительностью $t_0 \approx t_1 \approx 1$ минута соответственно. Затем, используя предварительные оценки интенсивностей $I_0 \approx N_0/t_0$ и $I_1 \approx N_1/t_1$, необходимо, задав полное время измерения T , определить оптимальные значения t_0 и t_1 .

В рассмотренной выше задаче определения полного линейного коэффициента ослабления излучения (μ) при прохождении через вещество оптимальное отношение интервалов времени измерения составляет

$$t_1/t_0 \approx 3,6.$$

Это следует из условия минимума дисперсии величины μ :

$$D_\mu = \frac{1}{d^2} \left(\frac{1}{I_0 \cdot t_0} + \frac{1}{I_1 \cdot t_1} \right),$$

$$\delta_\mu^2 = \frac{D_\mu}{\mu^2} = \frac{1}{I_0 \cdot T} \left(\frac{1 + \sqrt{I_0/I_1}}{\ln(I_0/I_1)} \right)^2.$$

Минимум достигается при отношении интенсивностей $I_0/I_1 \approx 13$, и соответствующее оптимальное отношение интервалов времени измерений будет

$$\frac{t_1}{t_0} = \sqrt{\frac{I_0}{I_1}} \approx 3,6.$$

При заданном полном времени измерения $T = t_0 + t_1$ оптимальные значения величин t_0 и t_1 вычисляются как

$$t_0 = 0,217 \cdot T; \quad t_1 = 0,783 \cdot T.$$

Рассмотренное условие оптимизации справедливо и при решении задачи определения постоянной радиоактивного распада λ на основе известного соотношения

$$I_1 = I_0 e^{-\lambda t}.$$

Литература

1. Сборник лабораторных работ по ядерной физике / под ред. К.Н. Мухина. – М. : Атомиздат, 1979. – 2-е изд. – 272 с.
2. Коробков В.И. Методы приготовления препаратов и обработка результатов измерений радиоактивности / В.И. Коробков, В.Б. Лукьянов. – М. : Атомиздат, 1973. – 216 с.
3. Гольданский В.И. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц / В.И. Гольданский, А.В. Куценко, М.И. Подгорецкий. – М. : ФМ, 1959. – 412 с.
4. Яноши Л. Теория и практика обработки результатов измерений / Л. Яноши. – М. : Мир, 1968. – 462 с.
5. Коршунов И.А. Лабораторные работы по радиохимии / И.А. Коршунов. – М. : Высшая школа, 1970. – 264 с.
6. Ципенюк Ю.М. Лабораторный практикум по общей физике / Ю.М. Ципенюк, Ф.Ф. Игошин, Ю.А. Самарский. – М. : Физматкнига, 2005. – 432 с.