

# Краткие сообщения

## 12 Выбор амплитудного интервала для пропорционального счетчика в случае низкого уровня сигнала

© П.С. Анциферов

Институт спектроскопии РАН,  
142092 Троицк, Московская область, Россия

(Поступило в Редакцию 22 апреля 1996 г. В окончательной редакции 16 января 1997 г.)

Излагается методика выбора оптимального амплитудного интервала для импульсов пропорционального счетчика в условиях, когда уровень полезного сигнала сравним с уровнем собственного фона. Показано, что для случая гауссовой функции амплитудного распределения импульсов счетчика оптимальный интервал соответствует  $1.4\sigma$ . Применение методики демонстрируется на тестовом примере обработки рентгеновского спектра  $K_{\alpha}$  железа.

В настоящей работе рассматривается методика оптимальной обработки сигнала пропорционального счетчика рентгеновских квантов с точки зрения отношения сигнал/шум. Необходимость в такой методике возникает, например, в экспериментах по изучению рентгеновских спектров многозарядных ионов, получаемых в электронно-лучевой ловушке, где пропорциональный счетчик регистрирует сигнал на выходе рентгеновского монохроматора [1,2]. Если скорость счета сравнима с уровнем фоновой скорости счета счетчика, обусловленной, как правило, космическим излучением [3], то при сканировании монохроматором спектральной линии будет зарегистрирован дополнительный непрерывный спектральный фон. Этот фон будет изрезан пуассоновскими флуктуациями и в случае амплитуды линии сравнимой или меньшей величины таких флуктуаций спектральная информация будет теряться. Пусть  $i(E_0, A)$  — функция амплитудного отклика счетчика на кванты с энергией  $E_0$  ( $E_0$  определяется монохроматором,  $A$  — текущая амплитуда импульса счетчика). Рассматриваемая проблема заключается в следующем: как выбрать интервал амплитуд  $A_1 - A_2$ , в пределах которого следует "засчитывать" импульсы счетчика, чтобы в полученном спектре отношение сигнал/шум было максимальным?

Величина среднеквадратичной дисперсии шумового фона будет пропорциональна  $(N_n)^{1/2}$ , где  $N_n$  — среднее количество шумовых импульсов в спектральной точке. В случае, когда ширина распределения  $f(E_0, A)$  существенно меньше величины  $A_0$ , где  $f$  достигает максимума, можно принять, что  $N_n \sim |A_2 - A_1|$ . Количество же зарегистрированных импульсов счетчика, связанных с полезным сигналом, будет пропорционально величине  $S$

$$S = \int_{A_1}^{A_2} f(E_0, A) dA. \quad (1)$$

Таким образом, в случае  $S \leq N_n$  отношение сигнал/шум будет пропорционально величине  $R$

$$R = S / \sqrt{N_n}. \quad (2)$$

Условие максимума  $R$  приводит к системе уравнений

$$2f(E_0, A_2)(A_2 - A_1) = \int_{A_1}^{A_2} f(E_0, A) dA,$$

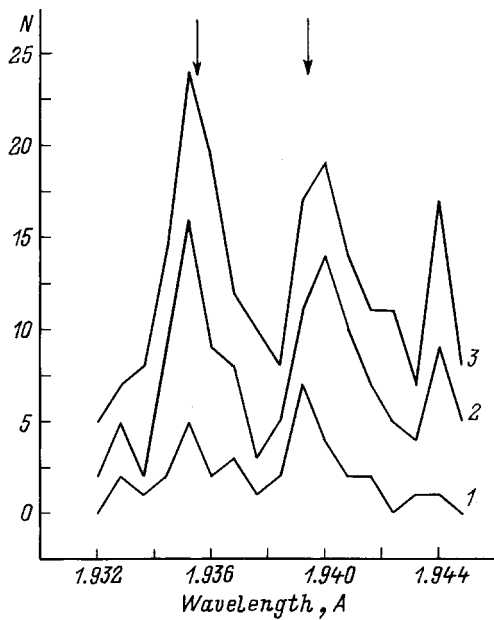
$$2f(E_0, A_1)(A_2 - A_1) = \int_{A_1}^{A_2} f(E_0, A) dA. \quad (3)$$

Если функция амплитудного отклика является симметричной с максимумом  $A_0 \sim E_0$  (что реализуется обычно при  $E_0 > 1 \text{ keV}$ ), то речь будет идти о выборе симметричного интервала  $A_0 \pm \Delta A$ , где  $\Delta A$  определяется из уравнения

$$4f(E_0, A_0 + \Delta A) = \int_{A_0 - \Delta A}^{A_0 + \Delta A} f(E_0, A) dA. \quad (4)$$

Численные расчеты для  $f$ , имеющей гауссову форму со средним  $A_0$  и дисперсией  $\sigma$ , дают результат  $\Delta A = 1.4\sigma$ .

Амплитудный интервал		$\Delta A = 0.5\sigma$	$\Delta A = 1.4\sigma$	$\Delta A = 3\sigma$
	Уровень фона, квант/дел.	0.4	3.7	7.5
$K_{\alpha 1}$	$\sigma_L/L$	0.94	0.79	0.82
$K_{\alpha 1}$	$\sigma_W/W$	0.6	0.47	0.57
$K_{\alpha 2}$	$\sigma_L/L$	0.83	0.79	0.97
$K_{\alpha 2}$	$\sigma_W/W$	0.58	0.48	0.55



Спектрограммы дублета  $K_{\alpha 1,2}$  железа, полученные в условиях низкого уровня сигнала. Амплитудные интервалы для импульсов счетчика выбраны следующим образом: 1 —  $\Delta A = 0.5\sigma$ , 2 —  $\Delta A = 1.4\sigma$ , 3 —  $\Delta A = 3\sigma$ .

Для иллюстрации данной методики был выполнен тестовый эксперимент, в котором с помощью рентгеновского монохроматора [2] регистрировался спектр дублета  $K_{\alpha 1,2}$  железа ( $\lambda \cong 1.94 \text{ \AA}$ ), возбуждаемый в рентгеновской трубке. Интенсивность излучения трубки была специально уменьшена, чтобы скорость счета, применяемого в монохроматоре рентгеновского пропорционального счетчика СРМ 19, стала одного порядка с его шумовым уровнем. Функция амплитудного отклика счетчика на энергии кванта  $K_{\alpha}$  железа была получена в отдельном калибровочном измерении, при этом отношение  $\sigma/A_0$  составило величину 0.12. На рисунке приведены спектрограммы, соответствующие выбору амплитуд импульсов счетчика при сканировании монохроматора из интервалов  $\Delta A = 0.5\sigma$ ,  $\Delta A = 1.4\sigma$  и  $\Delta A = 3\sigma$ . Видно, что увеличение  $\Delta A$  от  $1.4\sigma$  до  $3\sigma$  приводит к увеличению фона, не изменяя величины сигнала в самих линиях. Спектрограммы были обработаны методом максимального правдоподобия [4], с помощью которого экспериментальные данные аппроксимировались суммой двух лоренцевских контуров  $L/((\lambda - \lambda_0)^2 + (W/2)^2)$ . Определялась величина фона, положения центров, величины максимумов  $L$  и ширины  $W$  обеих линий вместе с среднеквадратичными дисперсиями этих параметров. Показательными для наших целей являются относительные среднеквадратичные дисперсии  $\sigma_L/L$  и  $\sigma_W/W$ , которые даны в таблице вместе с измеренным уровнем фона. Величины относительных дисперсий минимальны для  $\Delta A = 1.4\sigma$ , что демонстрирует адекватность данной методики выбора амплитудного интервала импульсов пропорционального счетчика рентгеновских квантов.

Автор выражает благодарность К.Н. Кошелеву за ценные обсуждения и помощь в настоящей работе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 95-02-05810а.

## Список литературы

- [1] Antsiferov P.S., Movshev V.G. // Suppl. Z. Phys. D. Atoms, Molecules and Clusters. 1991. Vol. 21. P. 317–318.
- [2] Анциферов П.С. // ЖТФ. 1995. Т. 65. С. 168–173.
- [3] Фюнцфер Э., Нейерт Г. Счетчики излучений. М.: Государственное издательство литературы в области атомной науки и техники. 1961.
- [4] Яноши Л. Теория и практика обработки результатов измерений. М.: Мир, 1965.