

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

## Замечание к статье "О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах"<sup>1</sup>

А.В. Дербин, С.В. Бахланов, А.И. Егоров, В.Н. Муратова

*От редакционной коллегии. Статья С.Э. Шноля с соавторами "О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах" (УФН, 1998, т. 168, № 10, с. 1129–1139), как и ожидала редколлегия, в силу необычности утверждений авторов, вызвала отклики читателей. Редколлегия журнала сочла необходимым опубликовать их вместе с заключительной статьей авторского коллектива и тем самым завершить дискуссию.*

PACS numbers: 01.90.+g, 06.20.+f, 89.90.+n

В работе [1] утверждается, что для многих процессов разброс результатов измерений, представленный в виде гистограммы (по оси абсцисс — значение измеряемой величины, по оси ординат — частота появления данной величины), имеет "тонкую" структуру, которая к тому же флуктуирует во времени с некоторым "космофизическим" ритмом. Самое удивительное, что это явление наблюдалось при измерениях скоростей радиоактивного распада ядер. До сих пор считалось (и до появления работы [1] этому не было найдено экспериментального опровержения), что скорость радиоактивного распада описывается распределением Пуассона, которое дает вероятность наблюдения  $x$  событий в заданный промежуток времени при условии, что события независимы и возникают с постоянной скоростью. При  $x \rightarrow \infty$ , а реально при  $x > 10$ , распределение Пуассона хорошо аппроксимируется непрерывным гауссовским распределением. Авторы работы [1], в принципе, согласны, что скорость радиоактивного распада подчиняется распределению Пуассона, но считают, что "существующие критерии согласия гипотез не чувствительны к тонкой структуре распределений".

Как же выглядят результаты измерений скорости радиоактивного распада в работе [1]? На рисунке 1 [1] приведены четыре гистограммы, построенные "без сдви-

гов и без сглаживания" по результатам 1200 измерений активности препарата  $^{55}\text{Fe}$ . Средняя регистрируемая скорость счета составляла 31500 импульсов за серию в 36 с, следовательно, распределение должно было хорошо описываться гауссовским распределением

$$\eta(x) = S \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (1)$$

Для суммарной (верхней) гистограммы число последовательных измерений  $S = 1200$ , средняя скорость счета  $x_0 = 31500$  имп/36 с и дисперсия  $\sigma^2 = 31500$ . Учитывая, что величина шага гистограммы составляет 30 импульсов, а число событий в ячейке гистограммы подчиняется биномиальному закону, ожидаемое значение  $\eta(x_0)$  должно быть  $81 \pm 9$ . Однако на всех четырех гистограммах данное значение близко к 140, что практически невероятно (вероятность получить значение больше 140 составляет  $3,6 \times 10^{-10}$ ). Таким образом, приведенные в [1] на рис. 1 гистограммы с "тонкой" структурой не согласуются с распределением Пуассона при использовании  $\chi^2$ -критерия.

На рисунке 2 в работе [1] представлены результаты 15000 последовательных измерений ( $S = 15000$ ) активности  $^{239}\text{Pu}$  при средней скорости счета  $x_0 = 90$  имп/6 с. Из формулы (1) следует, что при шаге гистограммы, равном 1,  $\eta(x_0)$  должно быть равно 630, но на рис. 2 [1]  $\eta(x_0) = 340$ , в то же время полное число зарегистрированных событий равно 15000. Все дело в том, что полученное стандартное отклонение  $\sigma$  в 2 раза больше ожидаемого для гауссовского распределения — явление, достаточно обычное, оно означает, что существовал дополнительный источник нестатистических ошибок, который мог быть связан с источником  $^{239}\text{Pu}$ , с детектором, регистрирующим  $\alpha$ -распад, или с электроникой. Удивительно, как в таком случае могла сохраниться "тонкая" структура скорости радиоактивного распада.

<sup>1</sup> Авторы С.Э. Шноль, В.А. Коломбет, Э.В. Пожарский, Т.А. Зенченко, И.М. Зверева и А.А. Конрадов. Опубликовано в *УФН* 168 (10) 1998 [1].

**А.В. Дербин, С.В. Бахланов, А.И. Егоров, В.Н. Муратова.**  
Санкт-Петербургский институт ядерной физики  
им. Б.П. Константинова РАН  
188350 Ленинградская обл., г. Гатчина, Российская Федерация  
Тел. (812) 714-63-27. E-mail: derbin@hep486.pnpi.spb.ru

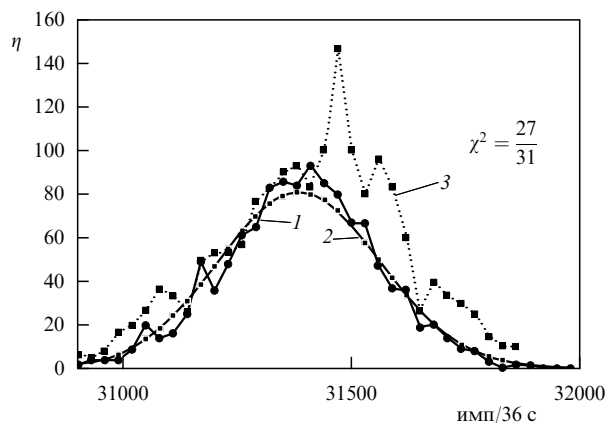
Статья поступила 4 июня 1999 г.

На рисунке 6 [1] приведено распределение временных интервалов между гистограммами "сходной" формы. Наблюдается максимум для гистограмм, измеренных через 24 ч. Если критерий "сходства" не изменяется, то обязательно должен быть еще один максимум через 48 ч; его нет совсем, что снова порождает скептическое отношение к результатам измерений.

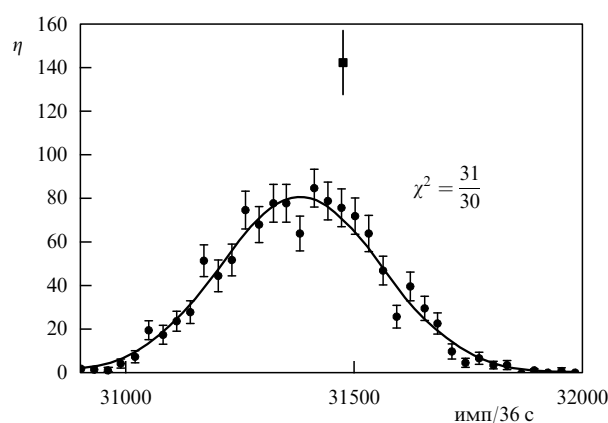
Работу [1] завершает призыв ко всем сомневающимся подтвердить или опровергнуть полученные результаты, поэтому мы решили повторить измерения в строгом соответствии с методикой работы [1], — многократно измерять число отсчетов детектора, регистрирующего распады ядер за определенный интервал времени, и строить гистограммы: по оси абсцисс — число отсчетов, по оси ординат — количество серий, в которых наблюдалось данное число отсчетов. По утверждению авторов [1], если такие измерения повторять многократно, то проявятся следующие новые явления: похожие гистограммы будут следовать друг за другом; два независимых детектора, даже разнесенные на большое расстояние, будут давать в одно время похожие гистограммы и, наконец, похожие гистограммы будут периодически повторяться, в первую очередь через 24 ч.

**Эксперимент.** Для регистрации рентгеновского излучения, сопровождающего  $K$ -захват у ядер  $^{55}\text{Fe}$ , и  $\gamma$ -квантов, сопровождающих  $\alpha$ -распад ядер  $^{241}\text{Am}$ , использовались одновременно два независимых  $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора. Детекторы находились в вакуумных криостатах при температуре жидкого азота и имели аналогичные спектрометрические каналы: предусилитель с непрерывной стоковой связью и охлаждаемым полевым транзистором, усилитель со временем формирования 2 мкс, схема отбора наложений с разрешающим временем 300 нс и 12-разрядный АЦП. Разрешение детекторов, измеренное по  $\gamma$ -линии  $^{241}\text{Am}$  59 кэВ, составляло 1,1 кэВ. Энергетические интервалы, в которых определялась скорость счета, составляли для  $^{55}\text{Fe}$  4,5–7,5 кэВ и для  $^{241}\text{Am}$  46–70 кэВ и были выбраны таким образом, чтобы при возможном изменении коэффициента преобразования энергии, выделившейся в детекторе, в номер канала, изменение скорости счета не превышало  $3 \times 10^{-4}$ . Для отмера интервалов времени использовался системный таймер компьютера. Приборы, кроме того, были разнесены в разные лабораторные помещения.

Средняя скорость счета распадов  $^{55}\text{Fe}$  была установлена такой же, как и в работе [1]:  $x_0 = 31430$  имп/36 с. В соответствии с [1] мы провели 4 серии измерений по 12 ч, записывая гистограммы скоростей счета через час. На рисунках 1–4 приведены полученные нами гистограммы в сравнении с ожидаемым распределением  $\eta(x)$ , причем ожидаемая кривая построена просто по формуле (1) без какого-либо фитирования. На рисунке 1 также показано распределение отсчетов, которое мы восстановили из журнальной статьи [1] с помощью линейки. Полученные нами значения нормированного  $\chi^2$  близки к 1, что свидетельствует о непротиворечии наших результатов измерения пуассоновскому распределению. Отметим, что вследствие сравнительно короткого периода полураспада  $^{55}\text{Fe}$  ( $T_{1/2} = 2,7$  лет) наблюдается смещение центра гауссиана  $x_0$  на величину  $7 \times 10^{-4}$  за сутки, что соответствует смещению почти на одну ячейку у гистограмм, разнесенных на 24 ч. Непонятно, как может сохраняться "тонкая" структура при измерениях, когда изменение средней скорости счета сравнимо с размером



**Рис. 1.** 1 — первая из четырех 12-часовых серий измерения скорости счета импульсов от распада  $^{55}\text{Fe}$  (следуя [1], сообщаем, что измерения были начаты в 00 ч 38 мин 5 декабря 1998 г. и закончены в 00 ч 38 мин 7 декабря 1998 г.); 2 — гауссовское распределение, вычисленное по формуле (1) для  $x_0 = 31430$  без какого-либо фитирования; 3 — аналогичная гистограмма из работы [1], перенесенная нами с рисунка в этой статье.



**Рис. 2.** Распределение скорости счета для второй серии измерений с  $^{55}\text{Fe}$ . Экспериментальные точки приведены вместе с ожидаемыми ошибками. Непрерывная кривая — гауссовское распределение. Вверху показана центральная точка распределения, полученного при таких же условиях в работе [1].

ячейки гистограммы. Проявления "тонкой" структуры гистограмм, подобной приведенной на рис. 1 в [1], в наших измерениях не наблюдалось.

Аналогичные измерения были проведены с  $\alpha$ -распадом  $^{241}\text{Am}$ . Скорость счета была выбрана близкой к скорости счета, измеренной в [1]:  $x_0 = 87$ . Как и в работе [1], было проведено 15000 последовательных измерений длительностью 6 с. Полученное распределение показано на рис. 5 в сравнении с результатами [1]. Снова наблюдалось соответствие результатов наших измерений ожидаемому гауссовскому распределению без какого-либо уширения. Таким образом, мы еще раз убедились, что распределение результатов измерений скоростей радиоактивного распада при данных условиях описывается распределением Пуассона.

После этого мы проверили предположение о схожести соседних гистограмм, о схожести одновременных гистограмм и о схожести гистограмм, смещенных во времени на 24 ч. Мы провели 88 часовых серий с двумя

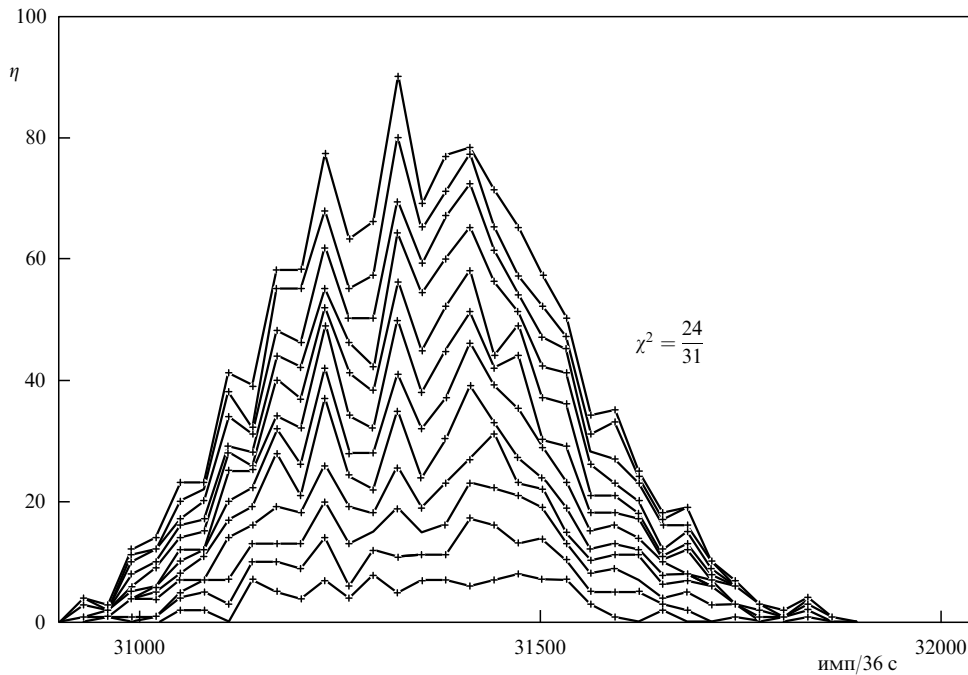


Рис. 3. Третья серия. Непрерывные линии, как и в работе [1], проведены через каждые 100 серий по 36 с. По нашему мнению, наблюдаемые локальные максимумы и минимумы есть результат "статистической инерции".

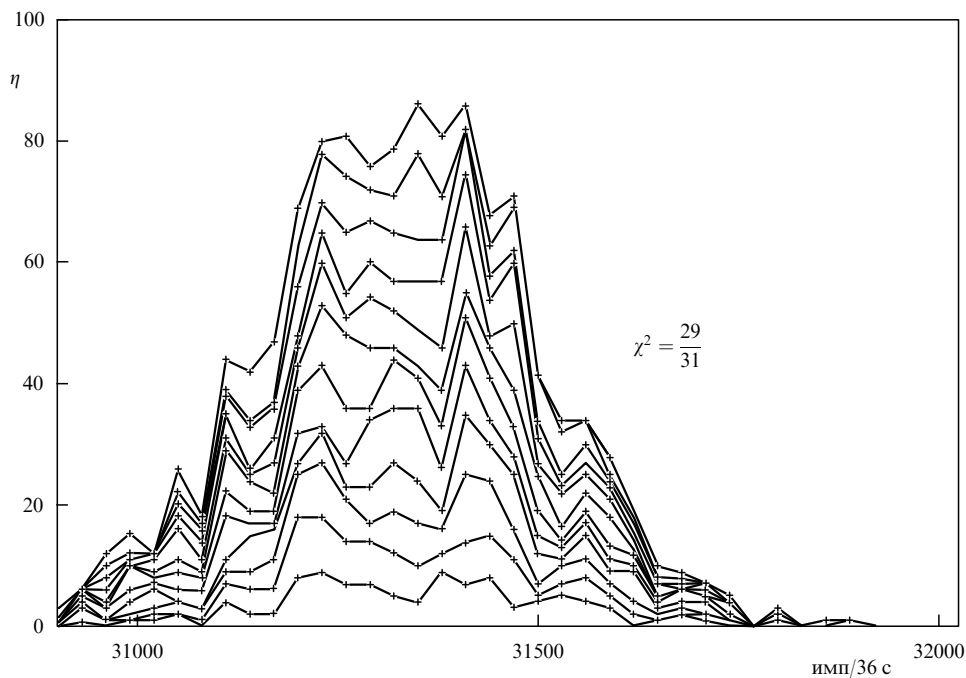


Рис. 4. Четвертая серия. Как и на рис. 3, непрерывные линии проведены через каждый час. Согласно [1] гистограмма должна иметь форму, схожую с предыдущей гистограммой.

вышеупомянутыми детекторами, один из которых измерял активность  $^{55}\text{Fe}$ , а другой — активность  $^{241}\text{Am}$ . Скорость счета обоих детекторов была установлена, как и в работе [1], практически равной 31500 имп/36 с, что позволяет определить схожесть одновременных гистограмм. Для проверки схожести соседних гистограмм и гистограмм, смещенных на 24 ч, использовались данные с детектора, измерявшего активность  $^{55}\text{Fe}$ .

В статье [1] не определен количественный критерий "схожести" гистограмм; мы в качестве такового выбрали

величину

$$\delta = \sum_i |X_i - Y_i|,$$

где  $X_i$ ,  $Y_i$  — число событий, зарегистрированных в  $i$ -м канале сравниваемых гистограмм  $X$  и  $Y$ . Для гистограмм, которые авторы работы [1] считают похожими (см. рис. 4, 5 в [1]), значение  $\delta$  должно быть меньше, чем для непохожих гистограмм, а также должно быть меньше среднего коэффициента "схожести" конкретной

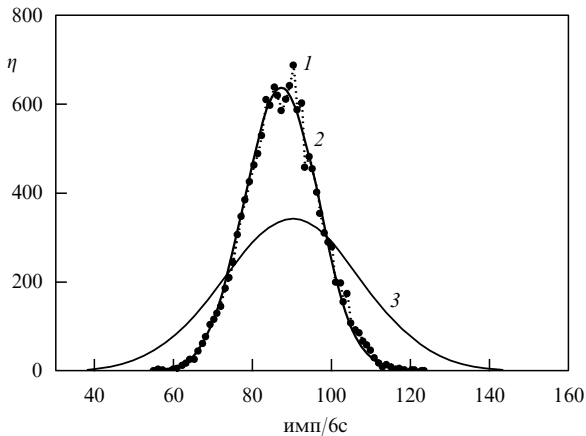


Рис. 5. 1 — распределение скорости счета от  $\alpha$ -распада  $^{241}\text{Am}$ , полученное нами для 15000 серий по 6 с; 2 — гауссовское распределение для  $x_0 = 87$ ; 3 — распределение, соответствующее распределению, приведенному на рис. 2 в [1] (без воспроизведения "тонкой" структуры).

гистограммы со всеми остальными  $N$  гистограммами:

$$\Delta = \frac{1}{N} \sum_k \sum_i |X_i - Y_i^k|.$$

Полученные усредненные значения  $\delta$  и  $\Delta$  приведены в таблице. Видно, что наибольшее превышение среднего  $\delta$  над средним  $\Delta$  получено для гистограмм, следующих друг за другом, и составляет около 3%. Стандартное отклонение  $\delta$  составило 9,5, и если принять, что стандартное отклонение среднего в  $\sqrt{87}$  раз меньше, получаем, что данное отклонение не является значимым. Превышение среднего  $\delta$  над средним  $\Delta$  для одновременных гистограмм меньше 1%, а для гистограмм, смещенных на 24 ч, наоборот, среднее  $\delta$  меньше среднего  $\Delta$ . Ожидаемые значения  $\delta$  были также смоделированы по методу Монте-Карло. Полученное значение для среднего  $\delta$  оказалось 55,7; стандартное отклонение для 10 смоделированных 88 часовых серий составило 0,91 в полном соответствии с экспериментальными результатами.

Гистограммы	Среднее $\Delta$	Среднее $\delta$
Соседние	55,7	57,3
Одновременные	56,7	57,2
Смещенные на 24 ч	56,9	56,5

Таким образом, полученные нами данные противоречат результатам, полученным в работе [1], в которой наблюдалась "тонкая" структура и временные флуктуации у гистограмм распределения результатов измерения скорости радиоактивного распада ядер. В то же время полученные данные не противоречат предположению, что скорость распада описывается пуассоновским распределением.

Мы благодарны К.Е. Кирьянову, О.И. Сумбаеву и В.В. Федорову за полезные обсуждения.

### Р.С. Примечание при корректуре

1. Нам понятны возможные причины несогласия рис. 2 [1] с распределением Пуассона — произошло уширение гауссовской кривой (почти в 2 раза) за счет

дополнительного источника помех. Это настораживает и становится непонятно, почему при этом не замывается тонкая структура первоначального распределения. Для объяснения необходимо вводить строгую корреляцию между основным и дополнительным распределениями, т.е. между скоростью радиоактивного распада и, например, нестабильностью порога, с которого ведется регистрация частиц.

2. Но нам непонятно, как можно объяснить несогласие рис. 1 [1] с распределением Пуассона. Ни в электронике, ни в детекторе, ни в источнике мы не смогли найти таких причин. Если это не артефакт, то это, на наш взгляд, и должно было стать, в первую очередь, предметом статьи [1].

3. Вопросы к новым рисункам (см. [2]) также имеются. Распределение числа сходных пар в зависимости от интервала времени между ними, приведенное на рис. 3 [2], не является симметричным — из 1390 схожих гистограмм, по нашим оценкам, 630 гистограмм лежат слева от центра и 760 — справа. Разница составляет 5 стандартных отклонений. На рисунке 3 [2] также показаны две линии, соответствующие 95-процентному доверительному интервалу. Однако за пределы данного интервала выходит лишь одна (не считая центральной) точка из 95 точек. Это означает, что полученные с помощью экспертных оценок распределения сходных гистограмм плохо согласуются с биномиальным распределением, и использовать биномиальное распределение для выводов о вероятности возникновения отклонений следует осторожно. Отметим также, что, хотя это не очень существенно увеличивает значение вероятности, следовало бы привести не вероятность появления пика с  $N = 64$ , а вероятность появления пика с  $N \geq 64$ .

4. На рисунке 3 и рис. 4 [2] отсутствует пик для гистограмм, смещенных на 24 ч. Видимо, как и пик, соответствующий 48 ч [1], он может быть, а может и не быть.

5. Численное сравнение форм гистограмм представляется нам необходимым условием. Нам осталось непонятно, почему для гистограмм, снятых в одинаковых шкалах, по оси  $X$  следует использовать сглаживание (причем в данном конкретном виде и несколько раз), подбирать степень линейного растяжения и смещения по оси  $X$ . Все это, казалось бы, должно приводить лишь к замыванию тонкой структуры, если она присутствует в первоначальном распределении. Нам также представляется, что экспертное определение схожести гистограмм существенно зависит от выбора метода сглаживания, и если эффект существует в широком временном диапазоне (от 6 с до 1 ч), то вместо сглаживания "для удобства сравнения" стоило бы использовать гистограммы с большей статистикой. Хотелось бы также знать значения  $\Delta S$  (и их ошибки) не для шести выборочных гистограмм (рис. 2 [2]), а определенные для полных массивов сходных и несходных гистограмм, чтобы действительно знать, какова эффективность данного критерия для сглаженных гистограмм.

### Список литературы

1. Шноль С Э и др. *УФН* 168 1129 (1998)
2. Шноль С Э и др. *УФН* 170 214 (2000)