

Ответ на комментарий к статье “Анализ результатов эксперимента Нейтрино-4 по поиску стерильного нейтрино и сравнение с результатами других экспериментов” (Письма в ЖЭТФ 112(4), 211 (2020))

А. П. Серебров¹⁾, Р. М. Самойлов

Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт” Петербургский институт ядерной физики,
188300 Гатчина, Россия

Поступила в редакцию 25 августа 2020 г.

После переработки 31 августа 2020 г.

Принята к публикации 2 сентября 2020 г.

DOI: 10.31857/S1234567820190106

Ниже представлены ответы по пунктам комментария.

1. Текст этого раздела свидетельствует о неправильном понимании сути нашего метода. Дело в том, что энергетическое разрешение детектора не используется при построении экспериментальной зависимости $R_{ik}(L_i/E_k)$. Затухание осцилляционной кривой определяется конечным размером зоны реактора, размером секции детектора и в нашем случае, прежде всего энергетическим разрешением детектора. Процесс затухания осцилляционной кривой является характеристикой установки. Энергетическое разрешение требуется для построения расчетной Монте-Карло зависимости (красные точки). Частота и амплитуда осцилляций определяется на плоскости Δm_{14}^2 и $\sin^2 2\theta_{14}$, где энергетическое разрешение также не используется. При сравнении экспериментальной $R(L/E)$ зависимости и расчетной Монте-Карло зависимости (красные точки) уже используется энергетическое разрешение детектора. Оно входит в расчетную Монте-Карло зависимость (красные точки). Однако, требования на точность знания энергетического разрешения невысоки. Энергетическое разрешение влияет только на затухающий хвост кривой, где вклад этих точек не является значительным. Ниже приводится подгонка экспериментальной и расчетной кривой с энергетическим разрешением расчетной кривой 750 кэВ вместо 500 кэВ, которое даже несколько улучшает качество подгонки.

Можно видеть, что подгонка экспериментальной и расчетной кривой с энергетическим разрешением 750 кэВ вместо 500 кэВ даже несколько улучшает качество подгонки, так как $\chi^2/\text{DoF} = 19.86/17$ для энергетического разрешения 500 кэВ становить-

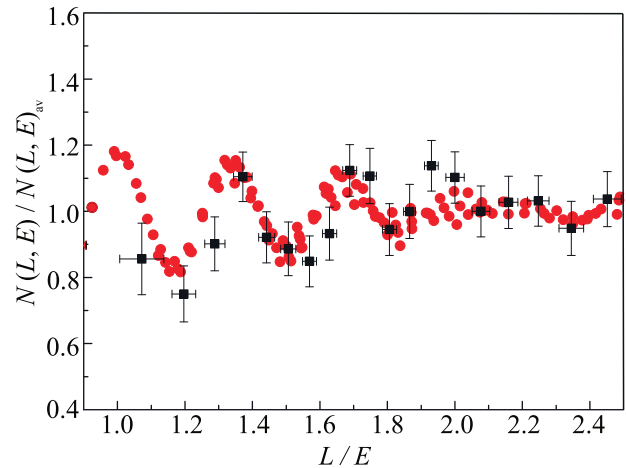


Рис. 1. (Цветной онлайн) Вариант подгонки экспериментальной и расчетной кривой с энергетическим разрешением 750 кэВ

ся $\chi^2/\text{DoF} = 19.32/17$ для энергетического разрешения 750 кэВ. Таким образом, беспокойство авторов комментария не подтверждается нашими конкретными расчетами.

Во-первых, период осцилляций не определяется энергетическим разрешением детектора (это уже отмечено выше). Период осцилляций определяется природой процесса осцилляций, а не свойствами экспериментальной установки! Нельзя не заметить, что даже в своей неправильной оценке авторы допускают ошибку, так как полупериод осцилляций составляет 0.17, а не 0.11, см. рис. 41 из [2].

2. Как было показано ранее, энергетическое разрешение здесь ни при чем. Здесь все тоже заблуждение, что энергетическое разрешение детектора нужно использовать при построении экспериментальной осцилляционной кривой $R(L/E)$. Усреднение проис-

¹⁾e-mail: serebrov_ap@pnpi.nrcki.ru

ходит с одинаковым интервалом по L/E , а не с “разным шагом гистограмм”. Как уже было сказано, задача состоит в том, чтобы избежать случайной флуктуации при фиксированной выборке. Все эти операции равноправны, они используют один и тот же экспериментальный материал, но выборки несколько отличаются. Равноправность операций является очевидной.

3. Авторы комментария правильно описывают преимущества схемы измерений с передвижным детектором, но в своей критике не используют преимуществ схемы передвижения. Почему-то авторы комментария ограничились рис. 47 из [2]. Это промежуточная стадия анализа до использования преимущества схемы передвижения. Ведь следующий рис. 48 (вверху) из [2] показывает, что среднеквадратичный разброс эффективности регистрации по расстояниям благодаря эффекту передвижения составляет 2.5%. “Наконец, рис. 48 (внизу) дает полный ответ, что проблемы нет. Разброс эффективности различных рядов детектора практически не влияет на форму осцилляционной кривой. Достаточно сравнить положения красных и синих точек на рис. 48. Разброс синих точек по отношению к красным заметен, но это не изменяет формы кривой”.

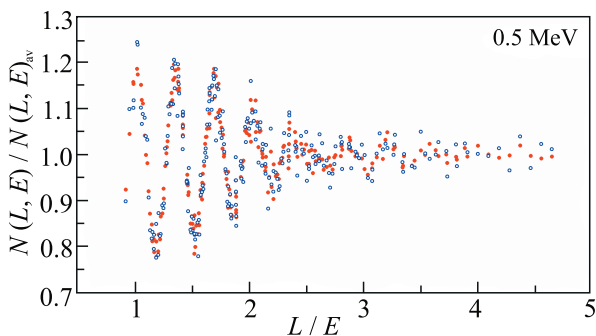


Рис. 48 из работы [2]. Монте-Карло моделирование эффекта осцилляций с учетом отклонений в эффективности регистрации коррелированных событий на разных расстояниях. Красные точки – осцилляционный эффект без учета влияния отклонений эффективности регистрации коррелированных событий на разных расстояниях; голубые точки – осцилляционный эффект с учетом этого влияния

Действительно, схема передвижного детектора решает проблему разброса эффективности различных секций детектора. Почему авторы комментария останавливаются на промежуточной стадии нашего анализа и пренебрегают окончательным выводом, трудно понять.

4. В нашей работе [1] этот вопрос обсуждается. Ваш анализ значимости результата только подтверждает правомерность наших действий, так как уменьшение значимости с 3.2σ до 3.0σ не является критичным.

5. Прежде всего не надо путать ширину энергетического интервала и энергетическое разрешение детектора, мы не утверждали того, что авторы комментария нам приписывают. В нашей статье сказано, “что энергетическое разрешение детектора определяет число наблюдаемых осцилляций, но не амплитуду наблюдаемых осцилляций”. В эксперименте DANSS совсем другая ситуация из-за большого размера активной зоны реактора – 3.7 м.

6. Отсутствие влияния обсуждаемой корреляции демонстрируется в расчете методом Монте-Карло, рис. 4 из [1]. Дело в том, что при диапазоне измерений 6 м и периоде осцилляций 1.4 м (для $E_\nu = 4$ МэВ) знаменатель в уравнении (2) является практически константой. В нашей работе [2] сделано замечание, что знаменатель в уравнении (2) является практически константой.

7. Здесь имеет место быть непонимание изложенного в наших статьях или недостаточно внимательное прочтение. Складывается впечатление, что эти части нашей статьи не изучались авторами комментария подробно, поэтому приводим необходимые пояснения.

Нами подробно изучалось поведение космического фона. Результаты этих исследований представлены на рис. 8 из работы [2]. Причиной тому являются колебания атмосферного давления. Вывод из этих исследований состоит в следующем. Статистическая точность измерения нейтринного сигнала при 5-ти суточных сериях измерений (с учетом того, что отношение сигнал-фон 0.5) составляет 6%. Колебания фона по отношению к нейтринному сигналу составляют 2%. Квадратичное сложение этих флуктуаций приводит к точности измерений 6.32%, т.е. распределение результатов измерений уширяется на 5% по отношению к статистическому распределению. Это означает, что RMS ошибки на кривой осцилляций будут на 5% больше по отношению к статистическим усам. Эти предсказания из изучения поведения космического фона могут быть проверены по результатам всех измерений. “Стабильность результатов измерений характеризуется распределением нормированных на свои статистические ошибки флуктуаций разности ON-OFF для измерений в течение одного периода. Данное распределение имеет гауссову форму, но ширина его на $(7 \pm 4)\%$ больше единицы, что говорит о дополнительном разбросе за счет колеба-

ний космического фона. Этот результат согласуется с оценкой уширения статистического распределения на 5%, приведенной в разделе VI о временных вариациях космического фона". Такие разъяснения представлены в наших работах [1, 2]. Итак, колебания космического фона уже учтены на осцилляционной кривой и повторного учета не требуется, как предлагают авторы комментария. Таким образом, все комментарии оказались несостоятельными.

В конце статьи авторы отмечают, что в работе [5] схожие вопросы обсуждались. Ответы

на эти вопросы даны в нашей работе [6]. Повышенное внимание к результатам нашей работы вполне понятно, потому что обнаружение стерильного нейтрино означает выход далеко за пределы Стандартной Модели. В таких случаях обычная реакция – этого не может быть, у Вас ошибка. Надеюсь, нам удалось развеять сомнения авторов комментария в правильности нашего эксперимента.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект # 20-12-00079).