

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ КВАРЦЕВОГО СЧЕТЧИКА

краткий технический отчет
Троицк, ИЯИ РАН, февраль 2015
Абдурашитов Д.Н.

Цель работы

Исследование долговременной нестабильности счетных и спектрометрических свойств цельнопаяных кварцевых пропорциональных счетчиков с точки зрения возможности их использования для поиска примеси стерильных нейтрино в распадах трития.

Счетчик и оборудование

Исследовался кварцевый счетчик YL1, изготовленный В.Янцем (обозначение условное внутреннее). В качестве источника использовался остаток ^{37}Ag , наработанного в НИИЯФ МГУ в 2014 г. Длина счетчика - 200 мм, внутренний диаметр 4 мм. Анод – вольфрамовая нить $\varnothing 12$ мкм, катодом служит тонкий (~ 1 мкм) слой пиролитического углерода, нанесенный на внутреннюю поверхность кварцевой трубки (основы счетчика). Рабочая смесь - CO_2 (1 атм); счетчик заполнен 12.09.14 после очистки на вакуумной системе Е.Яновича в 115 корпусе ИЯИ. Счетчик установлен в штатную экранирующую коробку из медного листа, оборудованную зарядочувствительным предусилителем производства А.Шихина. Источник HV – отдельный блок HARSHAW NV-25A, подаваемое напряжение 1350 В. Сигнал ЗЧПУ подается на спектрометрический усилитель ORTEC 673; значение основных регулировок $\tau=0.25$ мкс, CoarseGain=50, FineGain=(0.5+0.25). С выхода на тыльной панели усиленный сигнал подается на усилитель-формирователь SCA ORTEC 4890 с регулируемым порогом. С выхода перед-

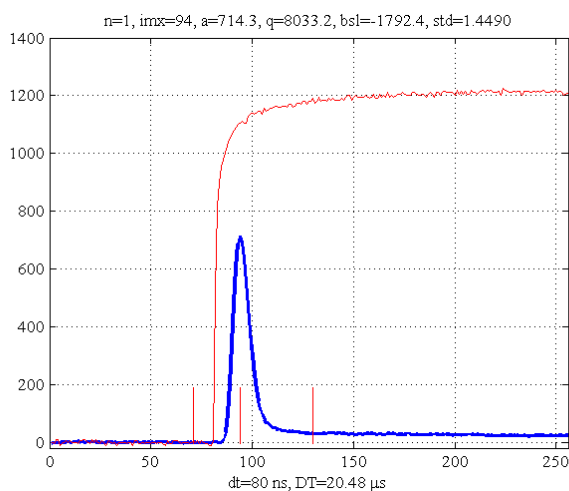


Рис. 1 Сигнал ЗЧПУ (красная линия) $\times 10$, синяя линия - сформированный сигнал ORTEC 673; оси: x – время (точка – 80 нс), y – каналы АЦП

ней панели усиленный сигнал заводится на канал «0» 12-битного регистратора Lan12-PCI, работающим на частоте оцифровки 12.5 МГц. В качестве триггера Lan12-PCI используется TTL-выход SCA ORTEC 4890, подаваемый через нагрузку 50 Ом на вход канала «1» регистратора, либо на вход его внешней синхронизации. Регистратор Lan12-PCI управляется программным обеспечением (автор В.Чернов) в многозадачной системе Windows 7. Каждый импульсный сигнал от счетчика, оцифрованный в кадре размером 256 точек, записывается в файл; обработка кадров проводится в оффлайне в среде Matlab 7. Пример оцифрованного кадра показан на Рис. 1, где представлен исходный сигнал ЗЧПУ и соответствующий ему сформированный сигнал на выходе усилителя ORTEC 673. Вертикальные красные линии показывают заранее задаваемые границы поиска максимума импульса и найденное положение максимума.

Максимум амплитуды сигнала определяется как среднее значение амплитуды в каналах АЦП по 5-ти точкам (1 центральная точка ± 2 точки вокруг); для данной формы сигнала такое определение систематически занижает значение максимума примерно на 5%. В процессе набора данных со счетчика проводился также мониторинг температуры воздуха в к. 152 и основных узлов счетной системы – блока HV и спектрометрического усилителя ORTEC 673. В качестве монитора использовалась система на базе USB-контроллера MB110-8A производства «Овен» с датчиками Pt1000 и софт, любезно предоставленные С.Задорожным.

Измерения и результаты

Интенсивность распадов порции ^{37}Ag в счетчике на начало измерений оценивается примерно в 25 Бк. При распаде ^{37}Ag энергия выделяется в виде Оже-электронов и характеристического рентгена дочернего ^{37}Cl . Спектр энергovyделений соответствует следующей схеме распада:

Суммарная энергия Оже-электронов, кэВ	Энергия рентгеновского излучения, кэВ	Доля распадов, %	Тип электронного захвата
2.823	0.0	81.5	K
0.270	0.0	8.9	L
0.202	2.621	2.7	K
0.201	2.622	5.5	K
0.018	0.0	0.9	M
0.007	2.816	0.5	K

Табл. 1. Излучение, испускаемое при распаде ^{37}Ar (без учета нейтрино и тормозного излучения)

Основной пик в спектре энерговыделений формируется в процессе К-захвата и соответствует энергии 2.82 кэВ. Положение К-пика, выраженное в каналах АЦП регистратора, принято за меру стабильности. Набор кадров данных осуществляется непрерывно в течение длительного времени. Каждый час записывается отдельный файл, содержащий записи кадров и момент старта набора. По каждому файлу строится амплитудный спектр, в котором проводится поиск положения К-пика. Найденное положение пика привязывается к моменту старта, тем самым формируется последовательный по времени набор значений положения пика. Среднее по файлам значение числа событий под пиком (включая подложку) составляет около 30000.

Измерения проводились в несколько этапов (эпизодов).

Эпизод 1. Набор данных проводился с 24.01.15 13:20 по 27.01.15 10:30, общее количество набранных файлов 70. Порог срабатывания SCA выставлен 0.10 (~5 мВ). В этом эпизоде температура окружающей среды не фиксировалась. На Рис. 2 представлен амплитудный спектр сигналов от счетчика, суммированный по всем файлам; общая статистика составляет более 4×10^6 . Динамика положения К-пика, найденного в каждом файле, показана на Рис. 3. Значение положения пика, усредненное по всем файлам эпизода, составляет 801.8 ± 0.6 каналов АЦП, что составляет 400 мВ по амплитуде.

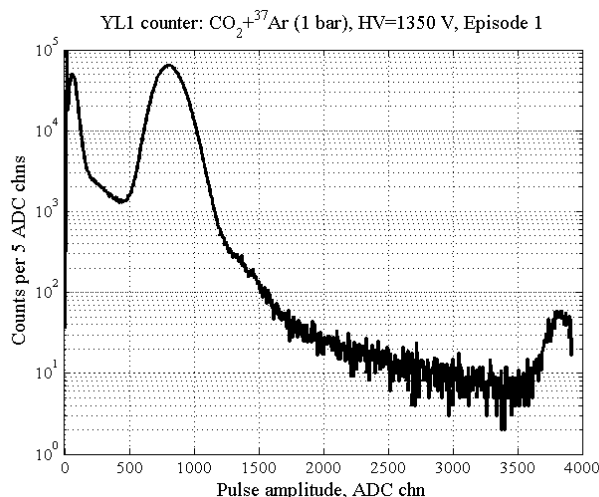


Рис. 2 Амплитудный спектр сигналов по всем файлам эпизода 1

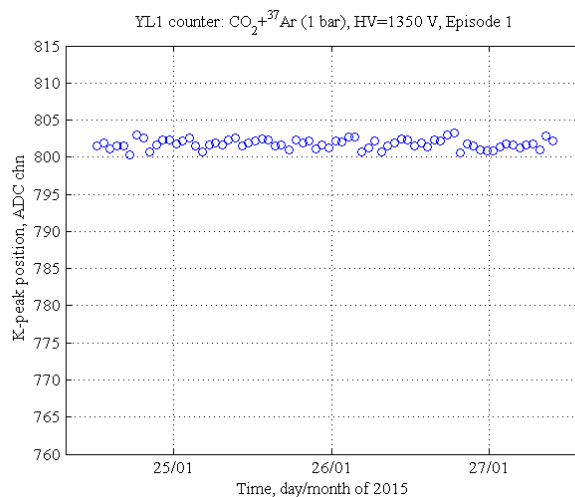


Рис. 3 Динамика положения К-пика ^{37}Ar по всем файлам эпизода 1

Эпизод 2. Набор данных проводился с 30.01.15 11:10 по 05.02.15 16:40, общее количество набранных файлов 149. Перед измерениями система регистрации вместе со счетчиком была перемещена в другую стойку в том же помещении. В этом эпизоде одновременно с набором спектров фиксировалась текущая температура в помещении и на узлах счетной системы. Датчик №1 был установлен на верхней панели блока источника HV, датчик №2 – на боковой панели спектрометрического усилителя, датчик №3 – помещен вовнутрь экранирующей коробки со счетчиком, датчик №4 – оставлен на воздухе. Порог срабатывания SCA выставлен 0.10 (~5 мВ). Однако, по всей видимости, шумы питания в новой стойке оказались интенсивнее, чем в эпизоде 1. Это привело к завышенной скорости счета, и

поэтому было принято решение о повышении порога срабатывания. Порог SCA повышен 31.01.15 в 10:00, начиная с файла 24, до значения 0.20 (~10 мВ). Тем не менее, этого оказалось недостаточно – к

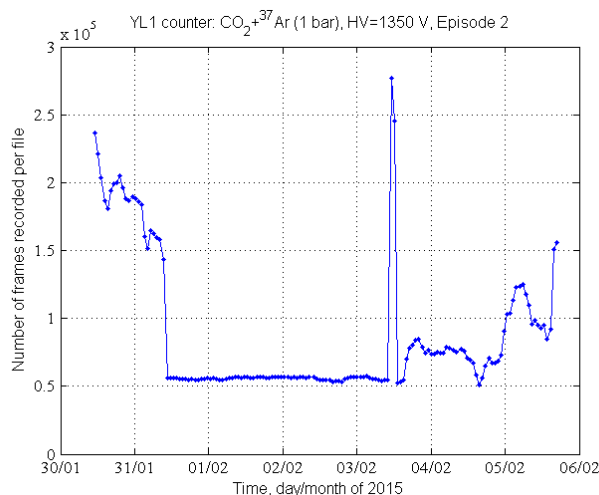


Рис. 4 Поведение числа записанных кадров в файлах эпизода 2

к концу измерений опять наблюдалась повышенная скорость счета. На Рис. 4 представлен временной ход числа кадров в каждом файле эпизода. Из этого рисунка видно, что только часть данных характеризуется низким уровнем шумов и, как следствие, стабильностью набора. К этой части относятся файлы 24-95 включительно, набранные в период с утра 31.01.15 до утра 03.02.15. На Рис. 5 представлен амплитудный спектр сигналов от счетчика, суммированный по всем файлам; включая нестабильный набор. Динамика положения К-пика, найденного в каждом файле, показана на Рис. 6 вместе с температурными кривыми. Обозначения на рисунке следующие: синие пустые круги – положение пика в файле, заполненные круги показывают период стабильного набора (файлы 24-95); черные точки – поминутные показания датчика температуры №1 (блок высокого напряжения),

красные точки – показания датчика №2 (усилитель); синие точки – датчик №3 (коробка со счетчиком), лиловые точки – датчик №4 (воздух). Нерегулярные изменения показаний датчиков обусловлены периодами открытой двери в помещение №152; при открытой двери температура понижается.

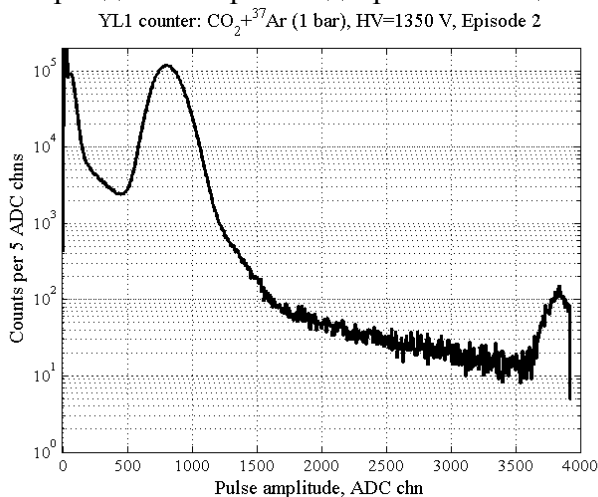


Рис. 5 Амплитудный спектр сигналов по всем файлам эпизода 2

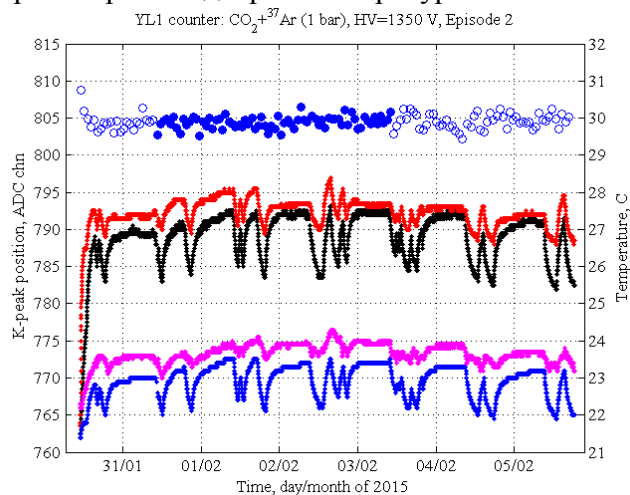


Рис. 6 Динамика положения К-пика ^{37}Ar вместе с изменением температуры

Значение положения пика, усредненное по всем файлам эпизода, составляет 804.5 ± 0.9 каналов АЦП. Это значение отличается от значения, полученного в эпизоде 1. такое отличие связано с неточностью выставления высокого напряжения после физического переноса системы сбора в другое место с выключением источника и последующим его включением.

Эпизод 3. Набор данных проводился с 05.02.15 18:50 по 13.02.15 07:50, общее количество набранных файлов 174. Набор производился с небольшими изменениями условий по сравнению с предыдущим эпизодом. Главное отличие – повышение порога SCA до 0.50 (~20 мВ) с целью уверенного отрыва от шумов. Кроме того, в дополнение к основному набору данных от счетчика примерно раз в сутки проводился получасовой набор от прецизионного генератора ORTEC 419, сигнал с которого подавался на спектрометрический усилитель вместо ЗЧПУ счетчика. Настройки блока: выход с аттенюатором (2x 2x 5x 10x), амплитуда максимальная, Risetime – минимальный. Далее, температурные датчики, укрепленные на блоках усилителя и источника HV, были дополнительно теплоизолированы, с целью подавления паразитного теплообмена с окружающим воздухом; датчик №2 перемещен с боковой панели спектрометрического усилителя на верхнюю панель. В процессе измерений дверь в помещение №152 практически постоянно оставалась закрытой. Наконец, программа сбора была пе-

реведена на режим записи кадров только по одному из каналов; триггерный сигнал подавался на вход внешней синхронизации. На Рис. 7 представлен амплитудный спектр сигналов от счетчика,

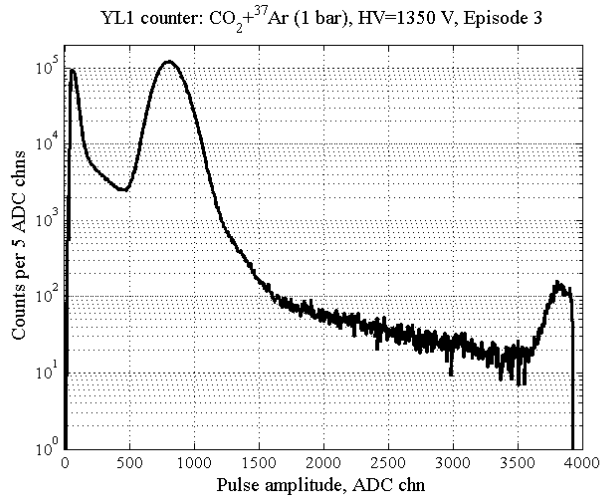


Рис. 7 Амплитудный спектр сигналов по всем файлам эпизода 3

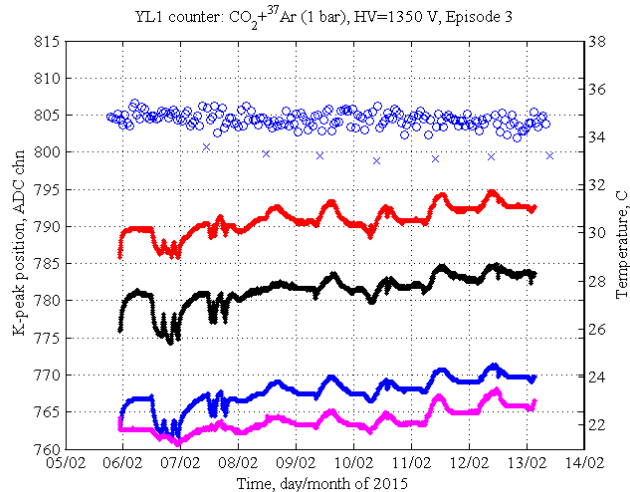


Рис. 8 Динамика положения К-пика ^{37}Ar и пика генератора вместе с изменением температуры

суммированный по всем файлам; статистика спектра составляет 7.7×10^6 событий. Динамика положения К-пика, найденного в каждом файле, показана Рис. 8 вместе с температурными кривыми и точками от генератора сигналов. Обозначения на рисунке, как и прежде: синие пустые круги - положение пика в файле; черные точки – поминутные показания датчика температуры №1 (блок высокого напряжения), красные точки – показания датчика №2 (усилитель); синие точки – датчик №3 (коробка со счетчиком), лиловые точки – датчик №4 (воздух). Красные крестики показывают положение амплитуды сигнала от генератора. Значение положения пика, усредненное по всем файлам эпизода, составляет 804.4 ± 0.9 каналов АЦП. Значение положения пика от генератора, усредненное по всем 7-ми калибровочным файлам, составляет 799.5 ± 0.6 каналов АЦП.

Поведение ширины К-пика и скорости счета в пике

Источником сигналов в пропорциональном счетчике служит ^{37}Ar , период полураспада которого составляет 35 дней. За 20 суток измерений с 24.01 по 13.02 скорость счета в К-пике должна упасть в 1.5

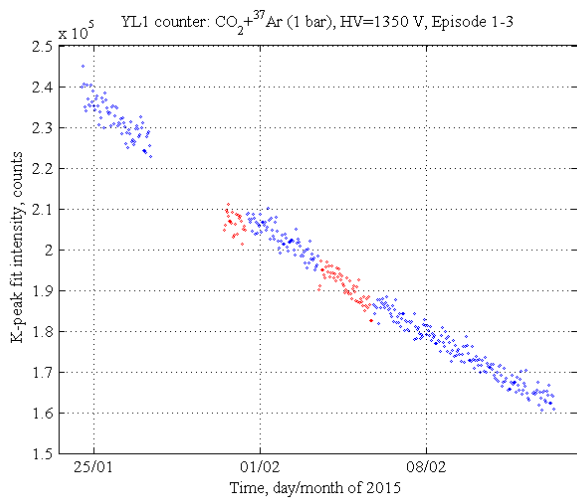


Рис. 9 Оцененная площадь под К-пиком по всем файлам эпизодов 1,2 и 3

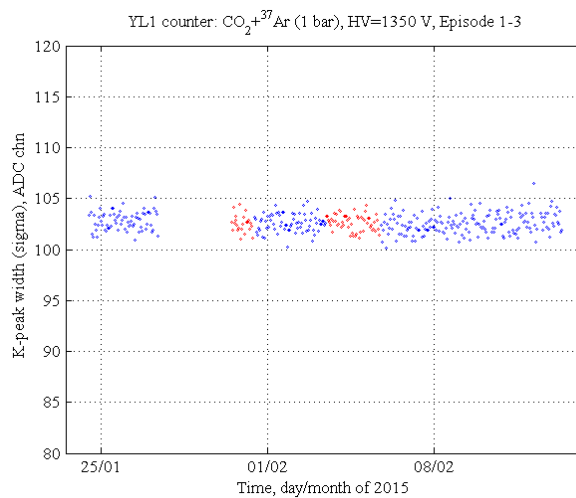


Рис. 9 Динамика оцененной ширины (σ) К-пика по всем файлам эпизодов 1,2 и 3

раза; такое падение можно увидеть невооруженным глазом. На Рис. 9 показано поведение оценки площади под К-пиком в отдельных часовых спектрах по всем файлам эпизодов 1,2 и 3 (включая периоды нестабильного набора, которые на рисунке выделены красным цветом). Действительно, наблюдается падение интенсивности в 1.5 раза, с 2.4×10^5 до 1.6×10^5 . Кроме того, об общей нестабильности счета можно судить также по поведению энергетического разрешения. На Рис. 9 показано по-

-ведение по времени оцененной гауссовой ширины (σ) К-пика ^{37}Ar по всем файлам эпизодов 1,2 и 3, включая периоды нестабильности, выделенные красным цветом. Средние значения ширины составляют $[102.8 \pm 0.9]$, $[102.6 \pm 0.8]$ и $[102.5 \pm 1.0]$ каналов АЦП для эпизодов 1,2 и 3 соответственно.

Выводы

Качество проведенных измерений, несмотря на периоды нестабильности, находится на хорошем уровне – об этом свидетельствует наблюдаемое падение скорости счета в К-пике в соответствии с временем жизни ^{37}Ar , а также устойчивое постоянство оцененной гауссовой ширины пика.

Качественный анализ, выполненный «на глаз», показывает, что долговременная нестабильность положения К-пика ^{37}Ar , измеряемого в кварцевом пропорциональном счетчике, укладывается в статистическую неопределенность. Для непериодических колебаний температуры окружающего воздуха и ключевых узлов счетной системы в пределах ± 1.5 градуса заметной корреляции с положением пика не наблюдается. Возможно, более точный статистический анализ выявит такую корреляцию.

Тем не менее, представляется возможным сделать предварительный вывод о стабильности энергетической шкалы кварцевого счетчика на уровне $\sim 0.1\%$ в течение всего периода набора данных, по крайней мере, для диапазона энергий до 3 кэВ. По всей видимости, можно также ожидать, что применение мер по термостабилизации счетной системы вместе со счетчиком, как минимум, не ухудшит приведенную оценку.

16 февраля 2015 г.

Абдурашитов Д.Н.