

Лабораторная работа 5

Основы валидации данных нейтринного детектора Борексина

Методическое пособие

Литвинович Е.А.

Цель работы:

Знакомство с принципами первичной обработки данных нейтринного детектора Борексина, принятие решений о качестве набранных данных и их пригодности для последующего высокоуровневого анализа.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. На предназначенном для выполнения работы компьютере вызовите терминал и зайдите по ssh на удаленный сервер 172.20.8.3 (имя пользователя student, пароль сообщит преподаватель).
2. Перейдите в директорию ~student/labwork5/ и запустите ROOT.
3. Наберите в командной строке ROOT: `fadc_validation("12345")`, где 12345 – номер серии сбора данных, которую необходимо провалидировать. Список серий для валидации содержится в таблице бланка для выполнения лабораторной работы. Для каждой серии в таблице необходимо отметить Y (yes) – если на ваш взгляд серия подходит для анализа, N (no) – если не подходит, T (truncate) – если следует провалидировать только часть серии.

ХОД РАБОТЫ

В результате запуска программы валидации на экран выводится ряд гистограмм и параметров серии, на основании которых учащиеся принимают решение о ее валидации. На рис. 1 представлен текстовый вывод программы валидации. Следует обращать внимание на следующую аналитическую информацию по данной серии (см. рис. 1):

1. Заголовочные данные обрабатываемой серии.
2. Проверка скорости счета космических мюонов.
3. Проверка работоспособности и равномерности загрузки каналов дискриминатора.
4. Число событий с переполнением буферов АЦП.
5. Число событий, связанных с шумами электроники.
6. Скорость счета выше 1 МэВ.

1. Заголовочные данные обрабатываемой серии

Выводится полное число событий в серии, время ее начала и окончания, ее длительность. Длительность стандартной серии составляет 6 часов. К анализу не принимаются серии, короче 900 с (0.25 ч), ввиду слишком малой в этих случаях статистики.

2. MUON'S RATE CHECK: проверка скорости счета космических мюонов

Программа валидации отбирает зарегистрированные детектором космические мюоны и вычисляет их среднесуточную скорость счета. Скорость счета мюонов в Борексино хорошо известна и составляет ~ 4300 сут⁻¹. Таким образом, по этому параметру можно судить о стабильности работы детектора: если измеренная скорость счета оказалась слишком малой или слишком большой (за пределами 5σ от среднего ожидаемого значения), то это может говорить о возникновении проблем с регистрацией мюонов в обрабатываемой серии сбора данных.

Помимо среднесуточной скорости счета программа выводит число событий, которые были идентифицированы как мюоны в условиях отсутствия триггера внешнего детектора Борексино. Такой отбор проводится по форме импульса события во внутреннем детекторе. Обычно регистрируется несколько таких мюонов за стандартную 6-часовую серию. Если же это число близко к полному числу зарегистрированных в серии мюонов, то это с большой вероятностью говорит о том, что внешний детектор не работал. В этом случае эффективность отбора мюонов может быть ниже.

```

ROOT>
ROOT>fadc_validation("22400")

Run Number: 22400
Events: 15041
Run started: 2/6/2014 11:6 GMT
Run ended: 2/6/2014 17:7 GMT
Run duration: 6.011111 hours OK

===== MUON'S RATE CHECK =====
4579.5 mu/day (2800 to 5800 expected) OK
4 (0.3%) muons without OD trigger (identified by its pulse shape)

DISCRIMINATOR CHANNELS (8th may contain 1.0, 14th and 16th - 0.0):
 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13 14 15 16
0.6 0.8 0.6 0.7 0.6 0.6 0.5 1.0 0.7 0.8 0.7 0.6 0.7 0.0 0.6 0.0 hits/event

N memory overflows: 0 OK

Noise events: 869 (5.8%) OK

Rate above 1 MeV: 0.013725 Hz OK
ROOT>save()
Type 0 if you want to validate all events, or N events being validated
0
Run 22400 validated.
ROOT>

```

Рис. 1. Текстовый вывод программы валидации.

3. DISCRIMINATOR CHANNELS: проверка работоспособности и равномерности загрузки каналов дискриминатора

Как уже отмечалось, выработка триггеров КЭИК основана на дискриминации аналоговых сумм сигналов от ФЭУ, поэтому необходимо следить за работоспособностью каждого из каналов дискриминатора. В системе используется 16-канальный дискриминатор со следящим порогом, в котором задействованы 13 каналов. Для каждого канала программа валидации определяет число срабатываний, отнесенное к числу зарегистрированных в серии триггеров. Необходимо, чтобы во всех каналах дискриминатора кроме 8-го, 14-го и 16-го содержались ненулевые значения (8-й канал всегда содержит 1, а 14-й и 16-й не используются и поэтому содержат нули).

4. N memory overflows: число событий с переполнением буферов АЦП

Если скорость счета слишком высокая, управляющий компьютер может не успевать считывать информацию из буферов АЦП, и они, таким образом, оказываются переполнены. В этом случае у системы появляется мертвое время вплоть до очистки буферов, и часть событий может быть потеряна. Возможно резкое и кратковременное возрастание скорости счета вплоть до ~ 500 МГц, которое является, как правило, результатом шумов электроники. В серии сбора данных не должно быть более одного события переполнения буферов АЦП.

5. *Noise events: число событий, связанных с шумами электроники*

В разные периоды сбора данных число событий, связанных с шумами электроники (высокочастотные наводки), может варьироваться. Такие события часто выглядят как синусоидальный шум, иногда с большими амплитудами (до 50 отсчетов АЦП по оцифрованной аналоговой сумме). На рис. 2 приведен пример такого события. Несмотря на то, что при анализе данных каждое событие проходит проверку качества формы импульса (нормальное сцинтилляционное событие имеет быстрый фронт нарастания и медленный спад), число связанных с шумами событий в серии не должно превышать 50%.

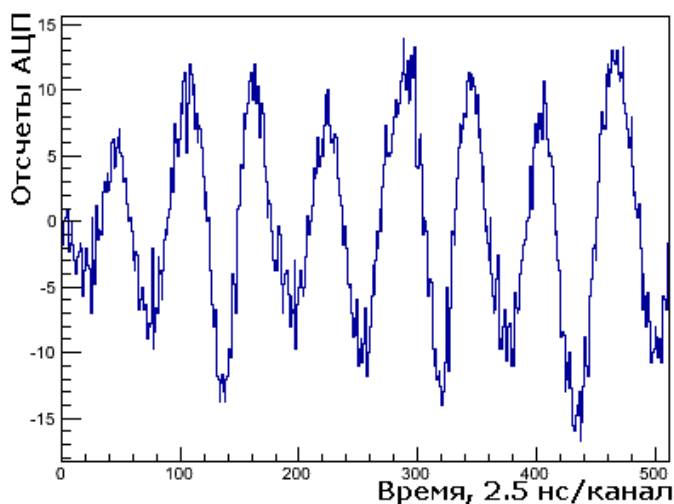


Рис. 2. Пример события, связанного с высокочастотной наводкой.

6. *Rate above 1 MeV: скорость счета выше 1 МэВ*

Скорость счета с порога 1 МэВ должна находиться на уровне 0.02 Гц. Следует помнить, что в коротких ранах с малой статистикой это значение может отличаться от ожидаемого. При скорости счета меньше 0.01 Гц или больше 0.04 Гц выводится предупреждение. В этом случае, принятие решения о валидации данной серии зависит от ее длительности.

ГИСТОГРАММЫ

Помимо текстового вывода, на экран выводятся следующие гистограммы:

1. Скорость счета космических мюонов (Muons counting rate, Hz).
2. Полная скорость счета (FADC counting rate, Hz).
3. Номер события как функция времени (evnum vs. unix_time).
4. Номер события основной системы сбора данных в зависимости от номера события КЭИК (BX evnum vs. FADC evnum).
5. Тип триггера (FADC trigger type).

6. Энергетический спектр аналоговой суммы всех ФЭУ (*asum energy, MeV*).
7. Энергетический спектр цифровой, поканальной суммы (*dsum energy, MeV*).

1. Скорость счета космических мюонов (*Muons counting rate, Hz*)

Скорость счета космических мюонов должна находиться на уровне 0.05 Гц и быть постоянной на протяжении всей серии. Следует обращать внимание на наличие провалов скорости счета (если таковые имеются).

2. Полная скорость счета (*FADC counting rate, Hz*)

Мониторинг скорости счета важен с точки зрения наблюдений за стабильностью работы детектора и электроники. Скорость счета зависит от энергетического порога, который, в свою очередь, зависит от порогов в каналах дискриминатора. Таким образом, в разные периоды сбора данных скорость счета может быть разной, но она должна оставаться постоянной в пределах одной серии.

3. Номер события как функция времени (*evnum vs. unix_time*)

Эта двумерная гистограмма является аналогом предыдущей и позволяет судить о равномерности загрузки КЭИК. По оси *x* откладывается абсолютное время события (*unix_time*, количество секунд после 01.01.1970 г.), а по оси *y* его номер в серии. Таким образом, по этой гистограмме можно определить номер события, после которого скорость счета в серии начала меняться.

4. Номер события основной системы сбора данных в зависимости от номера события КЭИК (*BX evnum vs. FADC evnum*)

По оси *x* откладывается номер события в системе КЭИК, а по оси *y* – соответствующий ему номер в основной системе сбора данных. По этой двумерной гистограмме можно судить о равномерности загрузки КЭИК в зависимости от загрузки основной системы.

5. Тип триггера (*FADC trigger type*)

С момента начала сбора данных системой КЭИК в декабре 2009 г. количество вырабатываемых типов триггера варьировалось в зависимости от решаемых системой задач. Например, в 2012 г. в Борексине проводился комплекс работ по проверке зарегистрированного в эксперименте OPERA превышения скорости света мюонными нейтрино из ЦЕРН. В рамках этих работ в марте 2012 г. на входы оцифровщиков и триггерного модуля КЭИК были поданы триггерные сигналы специально собранной для этой цели подсистемы. Следовательно, количество типов вырабатываемых системой триггеров увеличилось.

В целом, наиболее важными для физического анализа данных КЭИК являются события с триггером 1, источником которых является выход мажоритарных совпадений дискриминатора. Тип триггера 1 (иногда также называется «нейтрино-триггер») означает, что событие произошло во внутреннем детекторе при отсутствии совпадения с какими-либо сервисными сигналами (например, с калибровочными импульсами «Pulser» или «Laser») или сигналом внешнего детектора. Необходимо убедиться, что в анализируемой серии число событий с типом триггера 1 было доминирующим. В противном случае, некоторые элементы КЭИК (триггерный модуль, дискриминатор, блоки суммирования сигналов ФЭУ) могли работать неправильно.

6. Энергетический спектр аналоговой суммы всех ФЭУ (*asum energy, MeV*)

Энергия события в КЭИК измеряется двумя способами: при помощи аналоговой суммы сигналов со всех ФЭУ (ASUM) и при помощи цифровой суммы всех каналов оцифровщиков (DSUM). Несмотря на порог 1 МэВ, в спектрах могут присутствовать

события с меньшими энергиями. Причин этому две. Во-первых, порог 1 МэВ означает 100% эффективность триггера КЭИК при энергии события 1 МэВ и более. Таким образом, система все равно регистрирует часть событий с меньшими энергиями. Во-вторых, в серии могут быть события, связанные с шумами электроники, которые могут приводить к выработке триггера. Измеряемый для таких событий заряд обычно как раз меньше 1 МэВ.

Необходимо следить за тем, чтобы в области более 1 МэВ в спектре не было каких-либо непонятых, статистически значимых пиков. Спектр строится только для событий с типом триггера равным 1 («нейтрино-триггер»). Иногда в спектре может быть виден пик в области 2.2 МэВ, соответствующий радиационному захвату водородом космогенных нейтронов: $n + p \rightarrow d + \gamma$ ($E_\gamma = 2.2$ МэВ).

7. Энергетический спектр цифровой, поканальной суммы (*dsum energy, MeV*)

Цифровая поканальная сумма позволяет измерять энергию событий до ~50 МэВ. Как и в случае спектра ASUM, в этом спектре не должно быть каких-либо непонятых пиков в области более 1 МэВ. В целом, спектр DSUM аналогичен спектру ASUM.

ПРИМЕРЫ ГИСТОГРАММ

1. Скорость счета космических мюонов (Muons counting rate, Hz)

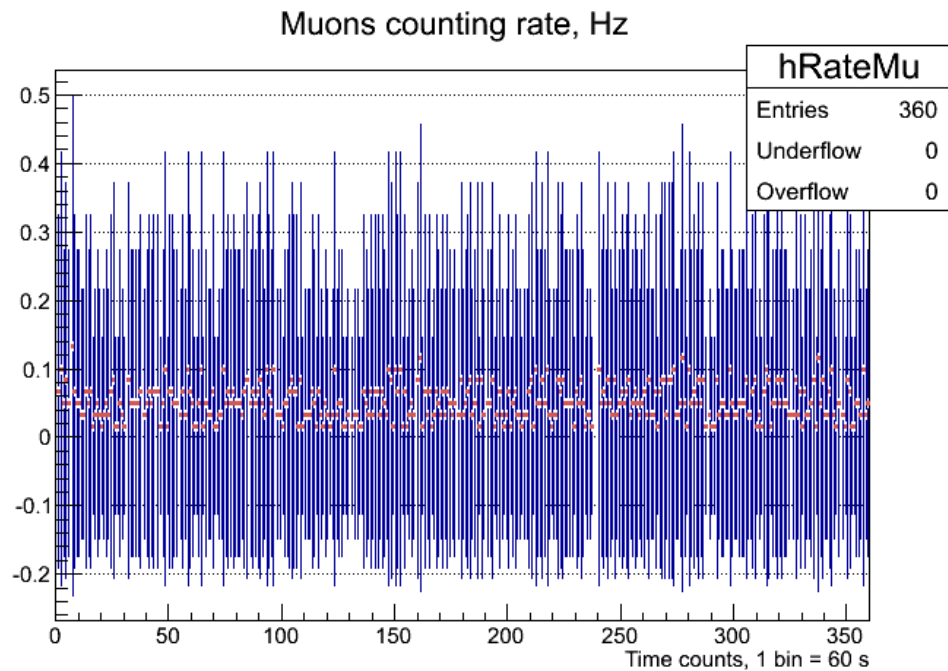


Рис. 3. Скорость счета космических мюонов в течение серии должна быть стабильной и находиться на уровне 0.05 Гц, что соответствует ~4300 мюонов/сутки.

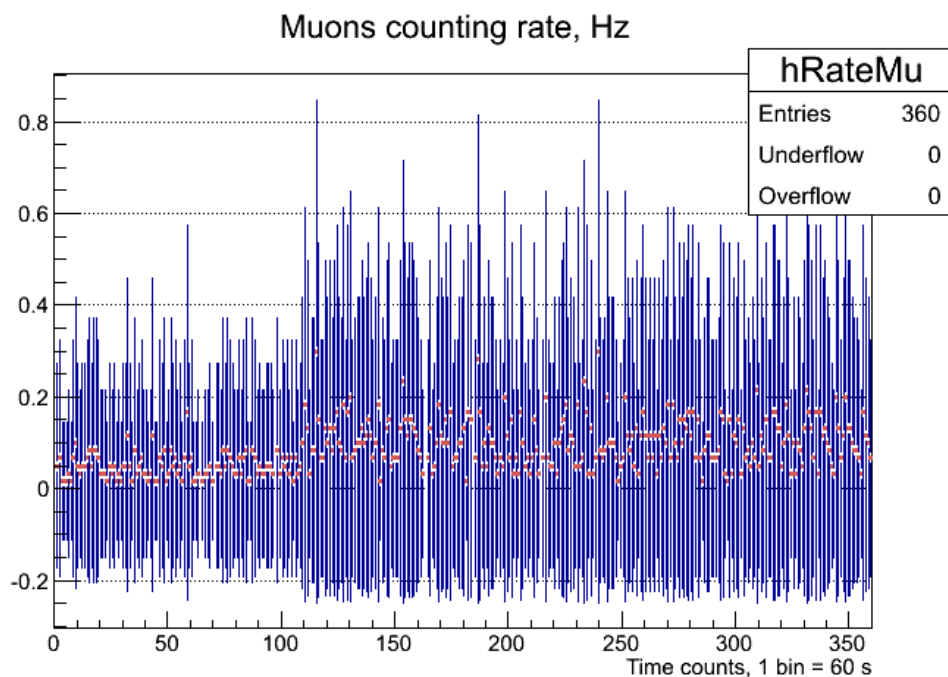


Рис. 4. Пример возросшей скорости счета мюонов в серии 19766. Если гистограмма выглядит похожим образом, серию следует провалидировать до того момента, когда скорость счета выросла.

2. Полная скорость счета (FADC counting rate, Hz)

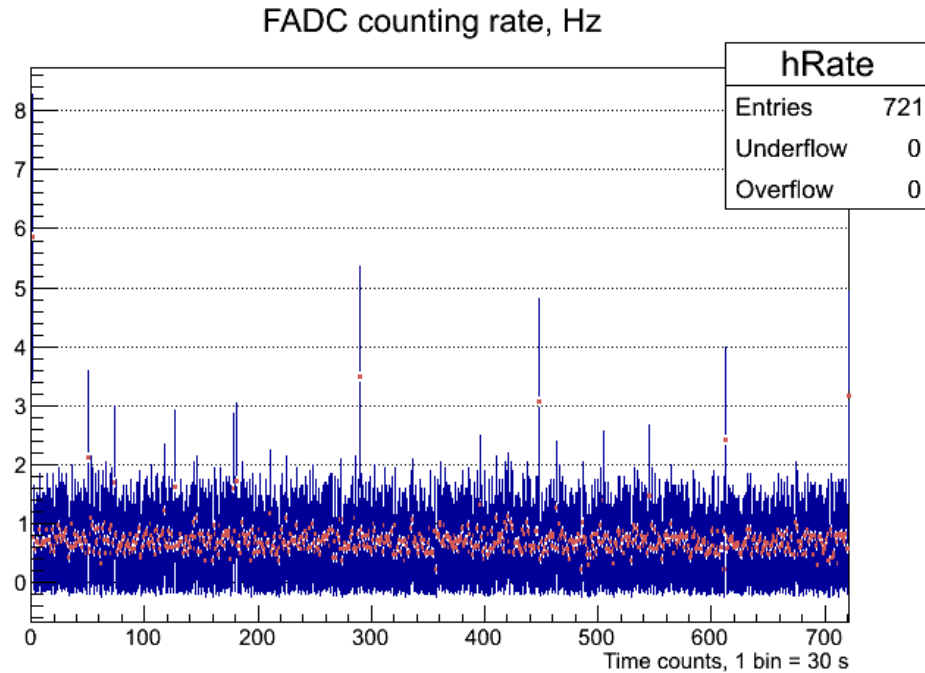


Рис. 5. Полная скорость счета зависит от порога и в разные периоды сбора данных может быть различной, однако она должна оставаться стабильной на протяжении серии. Одиночные всплески допускаются.

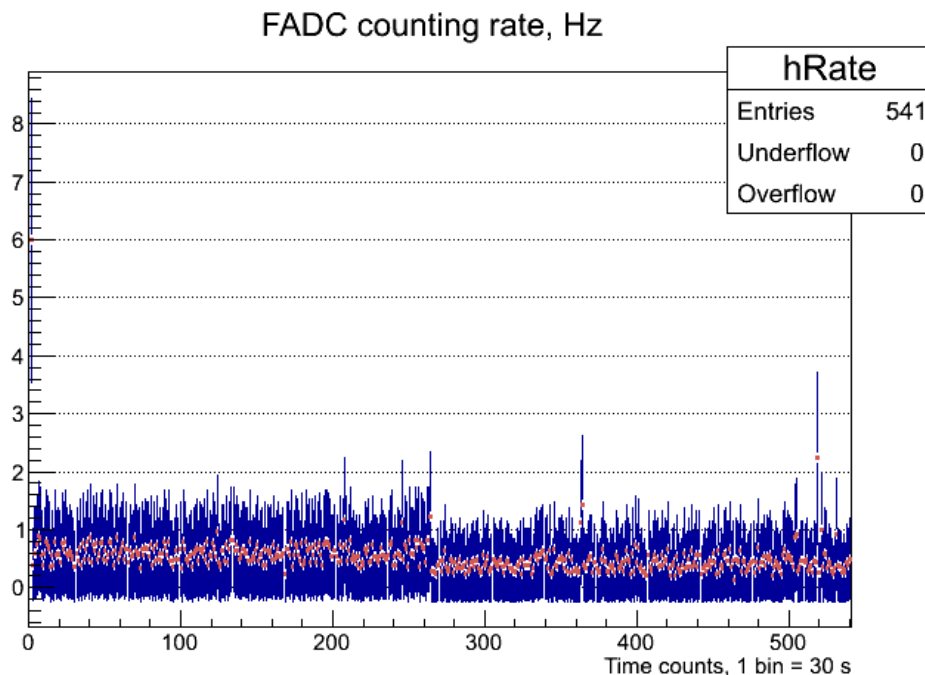


Рис. 6. Пример полной скорости счета в серии 20731. В середине серии (бин ~260) перестал работать крейт, обеспечивающий функционирование внешнего (мюонного) детектора Борексино. Это отразилось на полной скорости счета. Тем не менее, обычно в таких случаях скорость счета мюонов (рис. 3) остается стабильной, поскольку помимо триггеров внешнего детектора идентификация мюонов в Борексино происходит также на основании анализа формы импульса событий внутреннего детектора. Таким образом, останов работы внешнего детектора не является основанием к отбрасыванию серии, если скорость счета мюонов оставалась стабильной на протяжении серии.

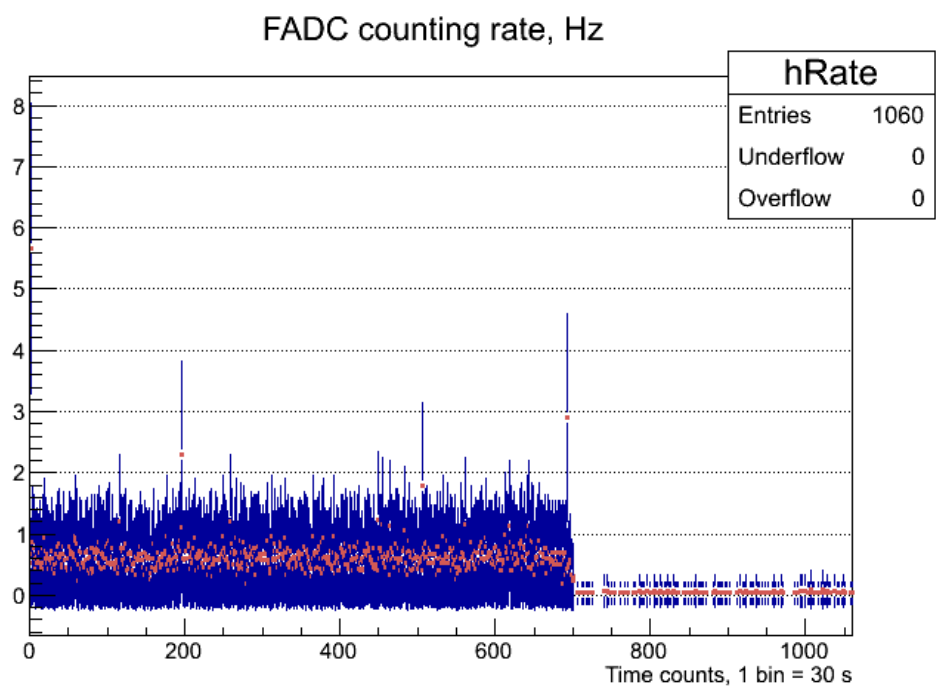


Рис. 7. Пример серии, в которой отключилось питание ФЭУ и/или электроники. В таких случаях необходимо определить номер события, после которого это произошло (см. рис. 10), и провалидировать серию до этого события.

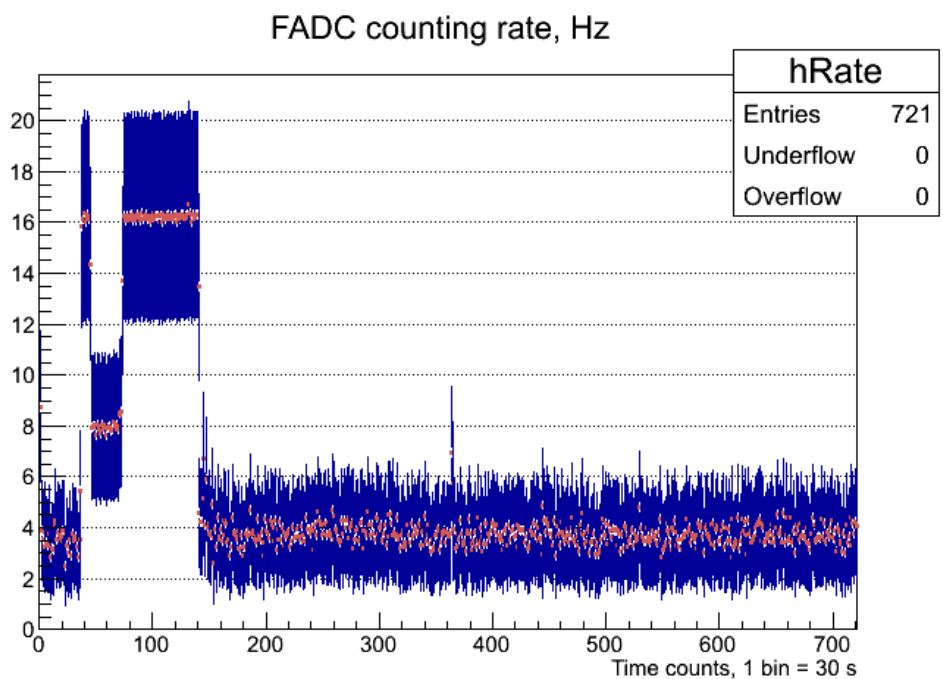


Рис. 8. Пример скорости счета в серии 19766: что-то пошло не так с самого начала серии. Серию валидировать нельзя.

3. Номер события как функция времени (evnum vs. unix_time)

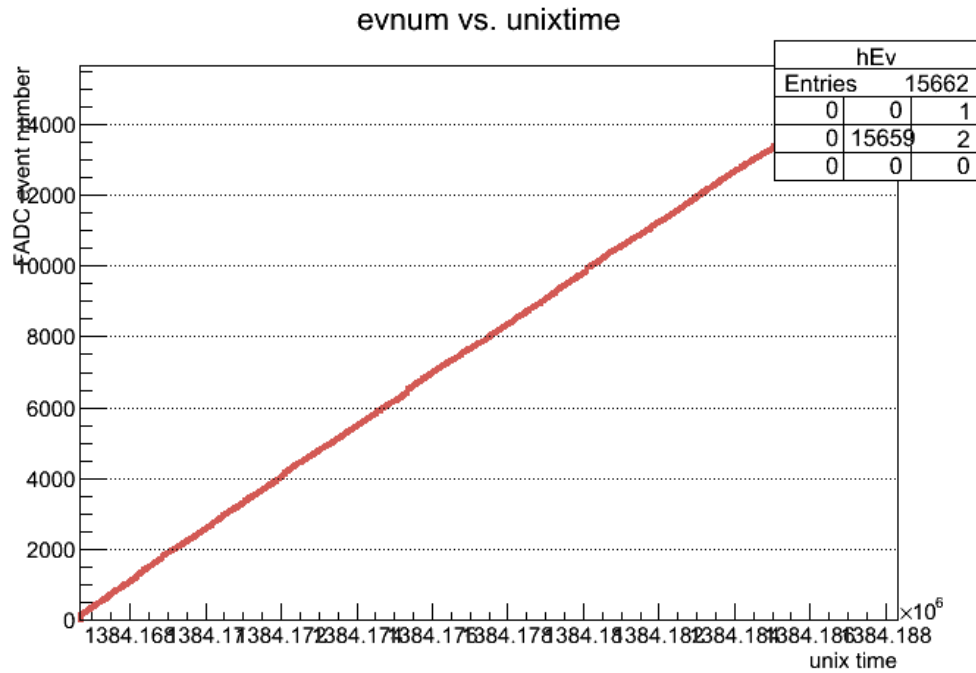


Рис. 9. Эта двумерная гистограмма позволяет определить номер события в серии, после которого начались какие-либо проблемы. Допускается структура наподобие лестницы, которая означает кратковременные всплески триггеров (например, вызванные образованием в детекторе большого числа космогенных нейтронов).

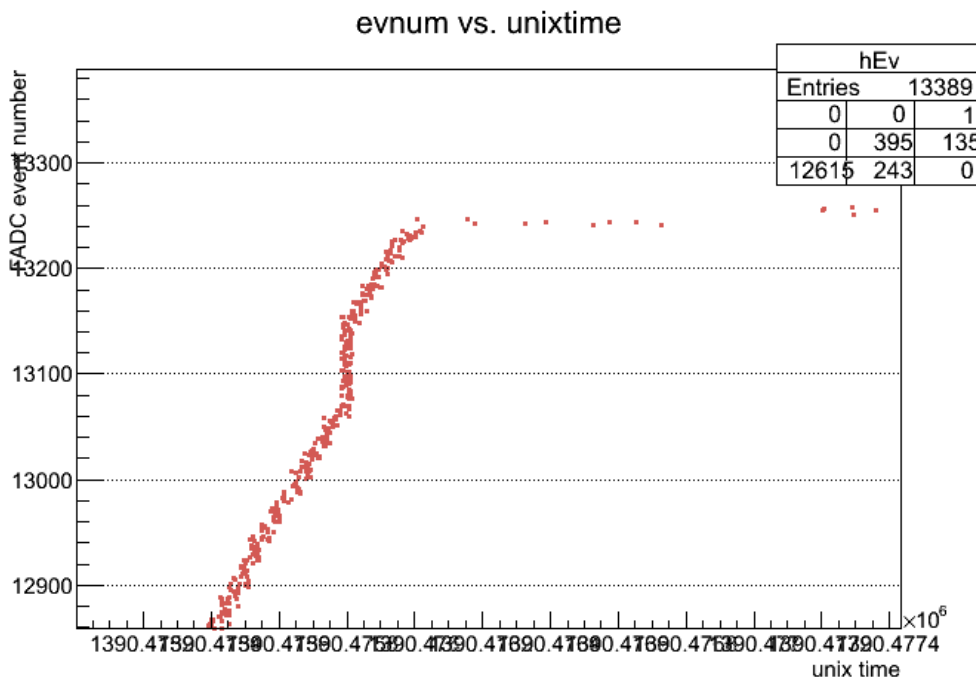


Рис. 10. Увеличенный рис. 9 для серии 21684, во время которой было отключено питание. Видно, что события перестали регистрироваться системой после события ~13240. Таким образом, серию следует провалидировать до этого события.

4. Номер события основной системы сбора данных в зависимости от номера события КЭИК (BX evnum vs. FADC evnum)

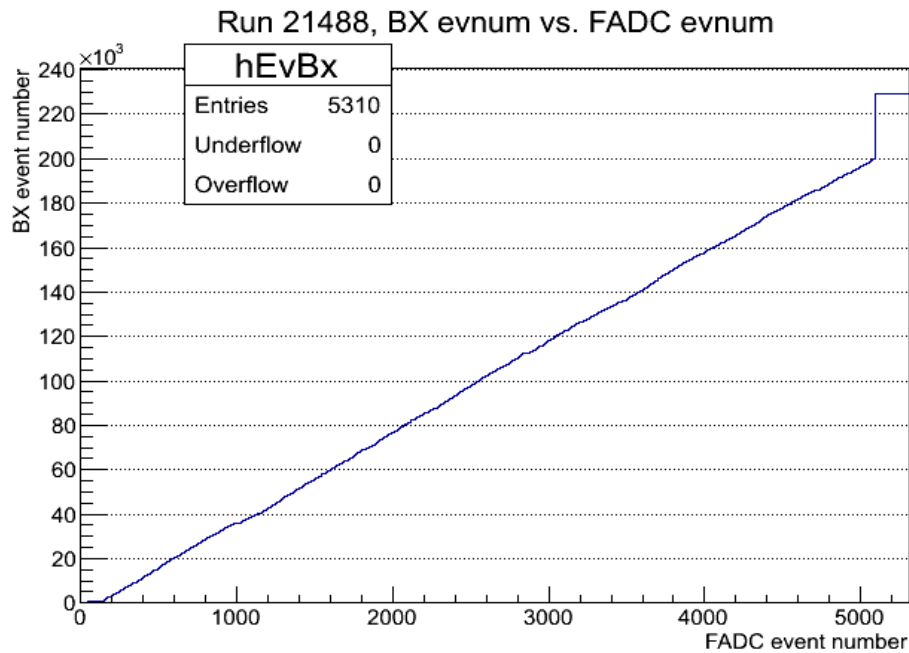


Рис. 11. Эта гистограмма используется в случаях, когда необходимо обрезать серию по номеру события в основной системе сбора данных. В ходе выполнения настоящей лабораторной работы таких случаев нет.

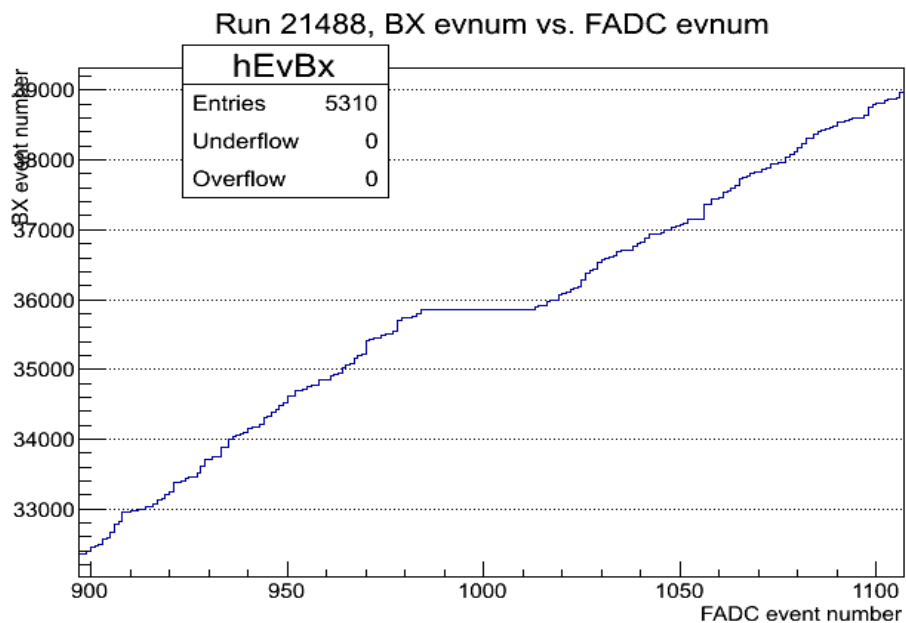


Рис. 12. Увеличение рис. 11. Допускается структура, подобная ступенькам лестницы (как на этом рисунке). Она говорит о том, что одному событию в основной системе сбора данных соответствовало несколько триггеров системы на основе FADC (космогенные нейтроны или шумы электроники).

5. Тип триггера (FADC trigger type)

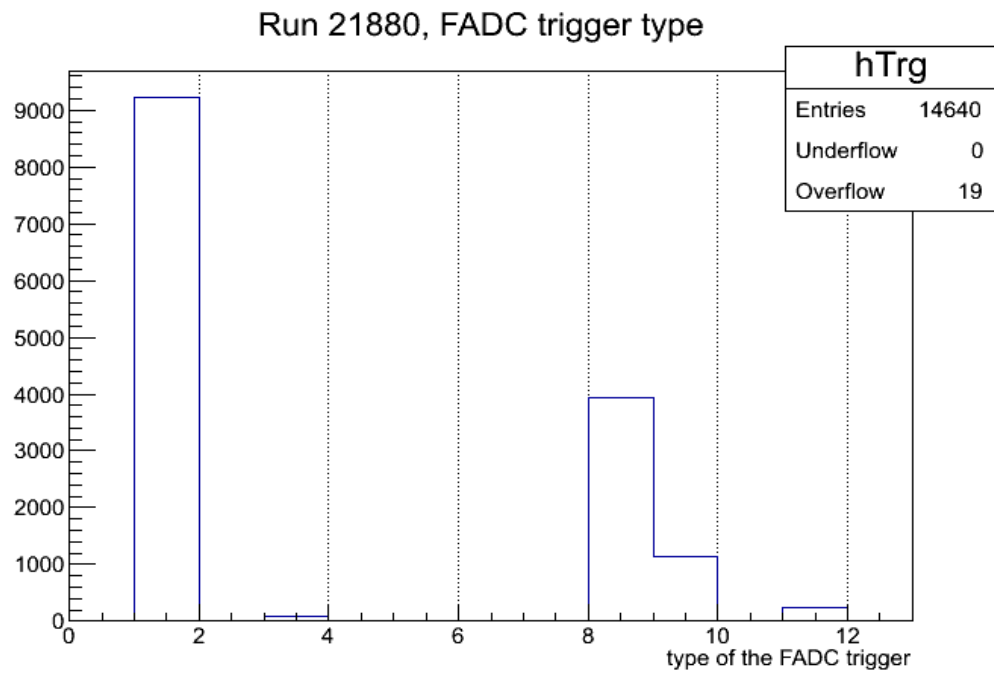


Рис. 13. События с триггером =1 («нейтрино»-триггер) должны доминировать. Число событий с другими типами триггера может отличаться в разные периоды сбора данных.

6. Энергетический спектр аналоговой суммы всех ФЭУ (*asum energy, MeV*)

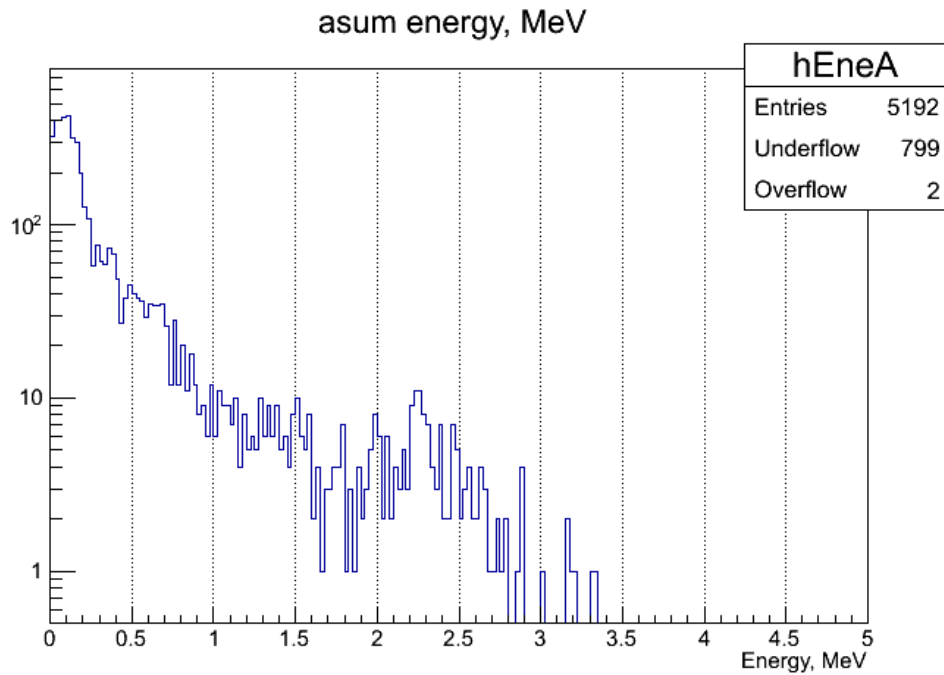


Рис. 14. Энергетический спектр аналоговой суммы всех ФЭУ. Помните, что энергетический порог системы КЭИК 1 МэВ. Спектр в области менее 1 МэВ наполняют, в основном, события, связанные с шумами электроники, и он может быть различным в разные периоды сбора данных. Пик в области 2.2 МэВ образован гамма-квантами, образовавшимися в результате радиационного захвата космогенных нейтронов водородом сцинтиллятора.

7. Энергетический спектр цифровой, поканальной суммы (*dsum energy, MeV*)

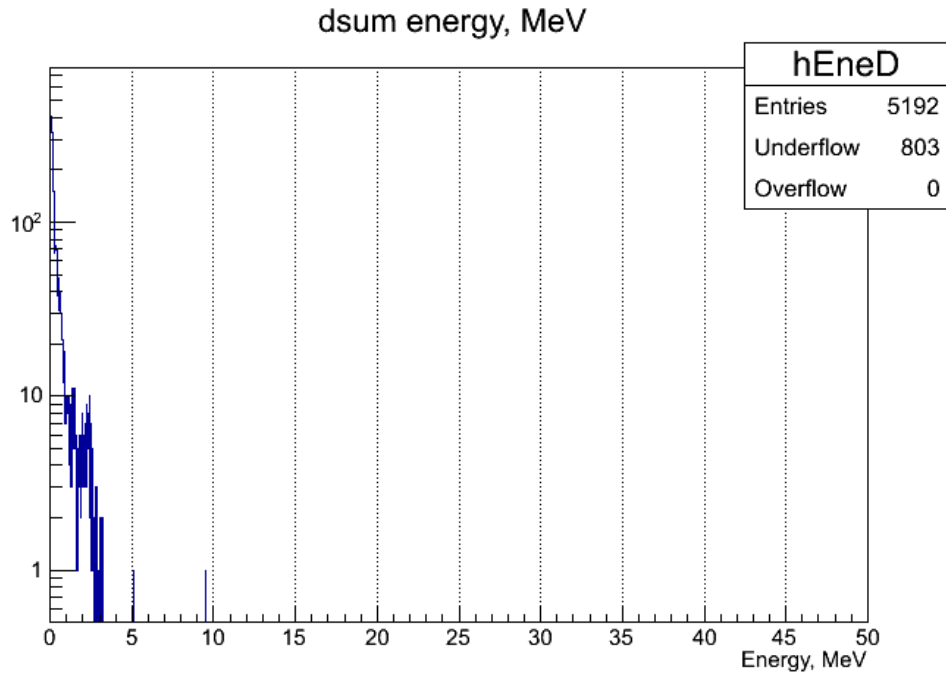


Рис. 15. Энергетический спектр цифровой, поканальной суммы всех оцифровщиков. На спектре не должно быть каких-либо пиков, которые вы не понимаете (см. рис. 16).

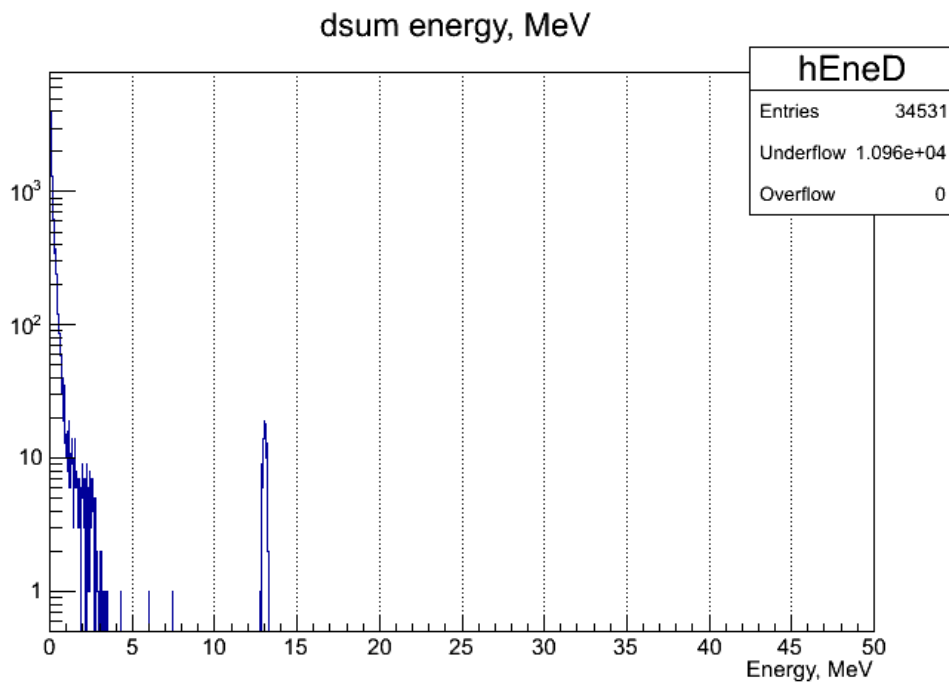


Рис. 16. Странный пик в области 13 МэВ в серии 19766. Серию валидировать нельзя.