



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

Препринт 2024-06
ОЭФ

А.М.Горин¹, С.В.Евдокимов¹, А.А.Зайцев², В.И.Изучеев¹,
Д.С.Креницын¹, Б.В.Полищук¹, В.И.Рыкалин¹,
С.А.Садовский¹, Ю.В.Харлов¹, А.А.Шангараев¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, г.Протвино, МО, РФ

² Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, МО, РФ

Калибровка детектора гамма-ядерных переходов
установки Гиперон+ с внешним триггером

Протвино 2024

Аннотация

А.М.Горин и др. Калибровка детектора гамма-ядерных переходов установки Гиперон+ с внешним триггером: Препринт НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ 2024-06. – Протвино, 2024. – 12 с., 9 рис.

В работе предложена и реализована процедура калибровки счетчиков спектрометра гамма-ядерных переходов, полностью интегрированного в инфраструктуру установки Гиперон+, включая системы триггера и сбора данных установки, при помощи радиоактивных источников ^{22}Na .

Abstract

A.M.Gorin et al. Calibration of the Hyperon+ gamma-nucleus transition detector with an external trigger: NRC «Kurchatov Institute» – IHEP Preprint 2024-06. – Protvino, 2024. – p. 12, figs. 9.

A calibration procedure with ^{22}Na radioactive sources for the counters of gamma-nuclear transition spectrometer, which is fully integrated in the infrastructure of Hyperon+ setup, including trigger and data acquisition systems of the setup, is proposed and implemented in the paper.

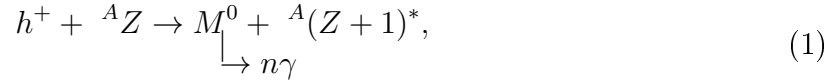
Введение

Изучение адрон-ядерных взаимодействий при промежуточных энергиях имеет большое значение для понимания механизмов сильного взаимодействия нуклонов в атомных ядрах. Эксперимент Гиперон+ [1] предназначен для изучения методами прецизионной ядерной гамма-спектроскопии возбужденных состояний вторичных ядер, образующихся в результате взаимодействий адронов пучка с ядрами мишени, в корреляции с типом и характеристиками адронных систем, вылетающих при этом в переднюю полусферу реакции после взаимодействия. Это открывает новое интересное направление в ядерной физике на стыке с физикой элементарных частиц промежуточных энергий, подробнее см. в [1].

Установка эксперимента Гиперон+ расположена на положительном пучке 18 канала ускорительного комплекса У-70 в Протвино. Она предназначена для изучения механизмов адрон-ядерных взаимодействий в диапазоне импульсов пучка от 5 до 10 ГэВ/с. Парциальный состав выводимого на установку пучка зависит от его импульса, энергии ускорения первичных протонов в У-70, материала внутренней мишени. В физических сеансах на У-70, как правило, используются ${}^9\text{Be}$ или ${}^{12}\text{C}$ мишени. При этом, например, в пучке с импульсом 7 ГэВ/с содержится до 50% π^+ -мезонов, 46% протонов и 4% K^+ -мезонов. Есть также примеси мюонов и дейтронов в пределах нескольких долей процента.

Схема установки Гиперон+ приведена на Рис.1. Установка включает в себя пучковый телескоп сцинтилляционных счетчиков S_{1-4} , четыре черенковских счетчика C_{1-4} , дипольный магнит $M7$ наведения пучка на мишень, мишенный сцинтилляционный триггерный счетчик S_5 , ядерную мишень T , вето-детектор заряженных частиц CPV (Charge Particle Veto), спектрометр гамма-ядерных переходов GNT (Gamma Nuclear Transition), сегментированный сцинтилляционный счетчик S_0 , электромагнитный черенковский спектрометр полного поглощения LGD2 (Lead Glass Detector), который используется для измерения энергий и координат фотонов, образующихся в первичных адрон-ядерных взаимодействиях и вылетающих в переднюю полусферу

изучаемой реакции:



где $h^+ = \pi^+, K^+, p$; AZ - ядро мишени с атомным весом A и зарядом Z ; ${}^A(Z+1)^*$ - вторичное ядро (звездочка означает, что оно образовалось в возбужденном состоянии); M^0 - нейтральное мезонное состояние, образующееся в передней полусфере реакции и распадающееся в конечном счете на фотоны. Подробнее описание установки см. в работе [1], а также в [2, 3].

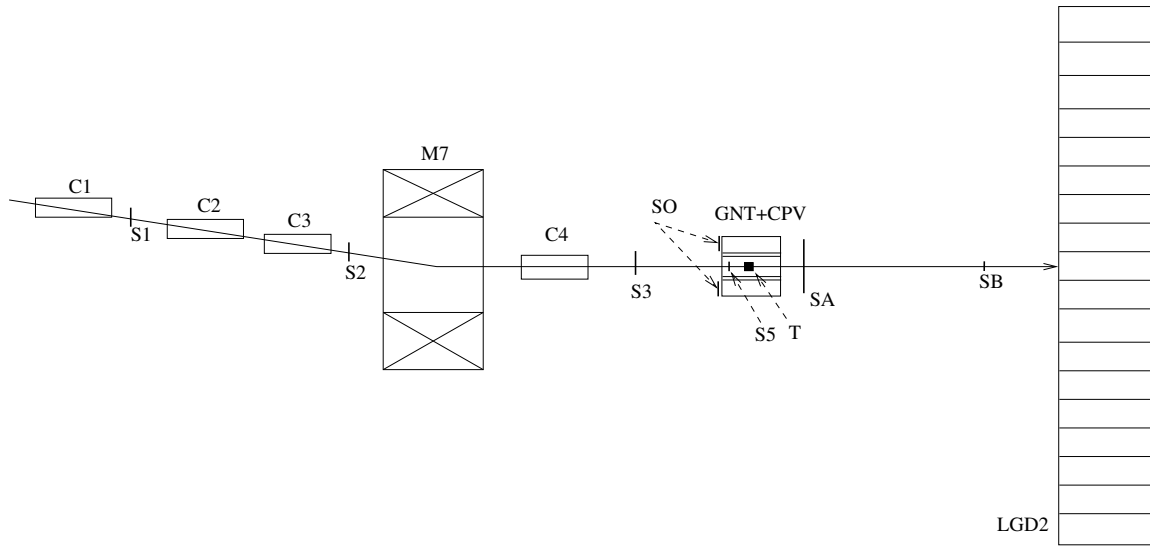


Рис. 1. Схема экспериментальной установки Гиперон+: S_{1-3} - пучковые сцинтилляционные счетчики, C_{1-4} - черенковские счетчики, $M7$ - магнит наведения пучка на мишень, S_5 - мишенный триггерный счетчик, T - ядерная мишень, S_O - сцинтилляционный сегментированный счетчик задней полусферы, S_A - сцинтилляционный veto-счетчик передней полусферы, S_B - триггерный сцинтилляционный антисчетчик пучка, CPV - veto-детектор заряженных частиц, GNT - спектрометр гамма-ядерных переходов, $LGD2$ - черенковский электромагнитный спектрометр полного поглощения.

В основе физической программы эксперимента Гиперон+, см. [1], лежит предложение детального изучения образующихся возбужденных состояний вторичных ядер ${}^A(Z+1)^*$ в корреляции с типом и свойствами нейтральных систем M^0 , рождающихся в передней полусфере указанной реакции. Возникающая в этой связи задача идентификации возбужденных состояний вторичных ядер решается методами прецизионной ядерной γ -спектроскопии при помощи созданного в рамках эксперимента Гиперон+ спектрометра гамма-ядерных переходов GNT в совокупности со сцинтилляционными детекторами CPV и S_O , см. Рис.1, которые предназначены для подавления фоновых событий в счетчиках GNT . Совместно с ядерной мишенью указанные детекторы образуют мишенный узел установки. В первом тестовом сеансе на адронном

пучке с импульсом 7 ГэВ/с в декабре 2023 г. мишенный узел в пилотном режиме был запущен практически в полном объеме, проведена калибровка спектрометра *GNT* в составе установки Гиперон+. Результаты пилотного запуска детекторов мишенного узла, включая калибровку спектрометра *GNT* в составе установки, изложены в настоящей работе.

1. Мишенный узел установки Гиперон+

Как уже отмечалось выше, Мишенный узел установки Гиперон+ включает в себя собственно ядерную мишень *T*, вето-детектор заряженных частиц *CPV*, сегментированный счетчик *S_O* и спектрометр гамма-ядерных переходов *GNT*, см. Рис.1. Мишени из лёгких ядер (углерода, бериллия) представляют собой цилиндры диаметром 4 см и длиной в направлении пучка 6 см.

CPV деректор состоит из шести продольных сцинтилляционных счетчиков размером $0.35 \times 8.6 \times 30.9$ см³ со светосбором при помощи спектросмещающих (*WLS*) волокон и фотодетекторами на основе кремниевых фотоумножителей (*SiPM*). На Рис.2 показан один такой счётчик без светоизолирующей и светоотражающей обёрток, где хорошо видна конфигурация *WLS*-волокон счетчика. Измерения на космических мюонах показали, что в счетчиках обеспечивается однородность светосбора на уровне $\pm 20\%$ и световыход не менее 87 фэ/МэВ, другие подробности см. в работе [4]. Сигналы со счетчиков *CPV* в штатном режиме подаются для оцифровки на 12-бит АЦП в стандарте Евро-МИСС [5] с тем, чтобы учитывать их при *offline* обработке данных. Однако сигналы со счетчиков при необходимости могут быть использованы и для организации триггера на наличие заряженных частиц в счетчиках *CPV*.

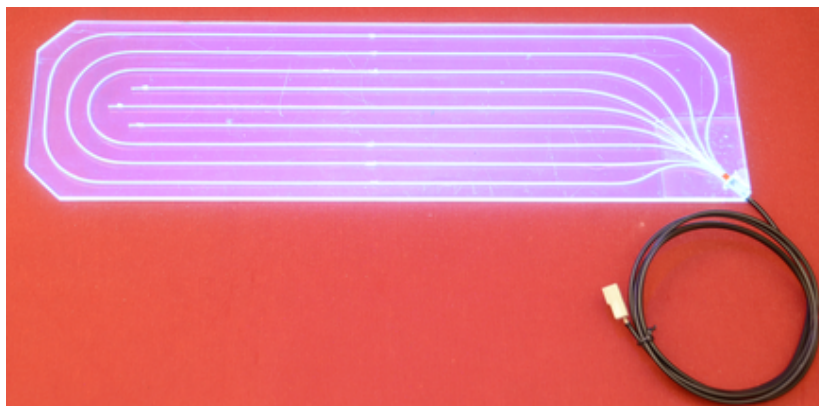


Рис. 2. Продольный сцинтилляционный счётчик вето-детектора заряженных частиц установки Гиперон+ без светоизолирующей и светоотражающей обёрток [4]. На рисунке ясно видна конфигурация спектросмещающих волокон счетчика.

Сегментированный счетчик *S_O* установки Гиперон+ предназначен для подавления фоновых событий в счетчиках *GNT*-спектрометра от заряженных частиц в гало пучка. Счетчик *S_O* состоит из шести трапециевидальных сцинтилляционных пластин

толщиной 0.35 см, просматриваемых с одного из углов пластины SiPM фотоумножителем. Детектирующие элементы счетчика также выполнены с использованием WLS-технологии. На Рис.3 слева показан один такой элемент счетчика S_O , а справа – полностью собранный счетчик S_O , интегрированный в инфраструктуру установки на 18 канале У-70.

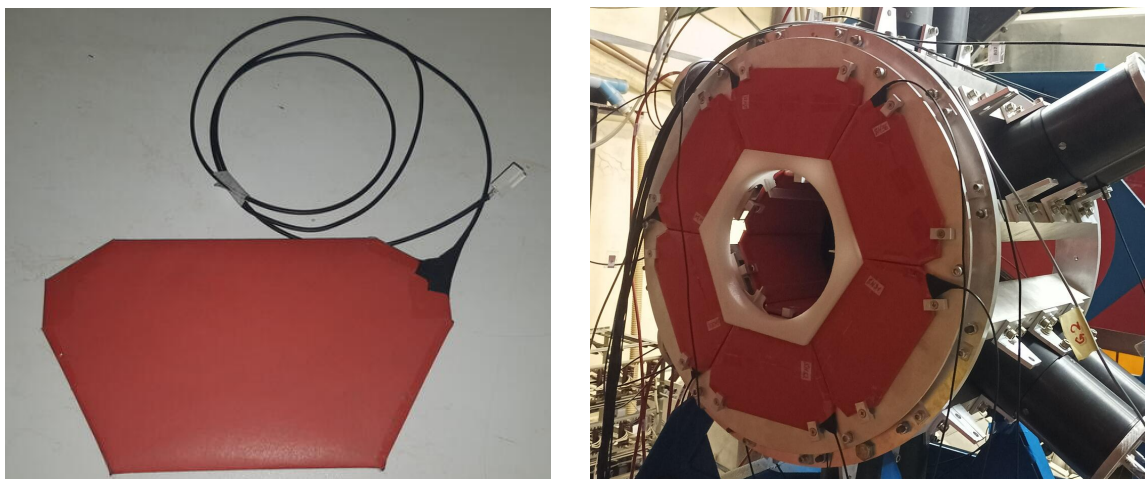


Рис. 3. Слева: элемент сегментированного счетчика S_O ; справа: полностью собранный сегментированный счетчик S_O , интегрированный в инфраструктуру установки Гиперон+ на 18 канале У-70.

Спектрометр гамма-ядерных переходов GNT в полном объеме состоит из трех колец счетчиков с кристаллами NaI и BGO, каждое из которых включает в себя шесть счетчиков: 3 с кристаллами NaI и 3 с кристаллами BGO. Кристаллы представляют собой цилиндры диаметром и длиной, равными 6.3 см. С одного из торцов они просматриваются спектрометрическими фотоумножителями ФЭУ-184ТД, подробнее см. [1]. Сигналы с ФЭУ указанных счетчиков подаются для оцифровки на 12-бит АЦП в стандарте Евро-МИСС и в дальнейшем используются для offline анализа регистрируемых гамма-спектров. В пилотном сеансе в декабре 2023 г. на установке Гиперон+ спектрометр GNT был запущен в составе двух колец γ -счетчиков из трёх, т.е. в целом с 12 γ -счетчиками из восемнадцати. Внешний диаметр спектрометра GNT равен 75 см. В составе Мишенного узла установки на пучке 18 канала он показан на Рис.4.

2. Калибровка гамма-спектрометра GNT

Базовыми детекторами установки Гиперон+ являются электромагнитные спектрометры LDG2 и GNT, которые предназначены для измерения энергий фотонов (γ -квантов) в существенно разных энергетических диапазонах. Соответственно и основаны они на различных физических принципах. LGD2-детектор является черенковским спектрометром полного поглощения с радиаторами из свинцового стекла. Он предназначен для регистрации электромагнитных ливней от высокоэнергичных фо-

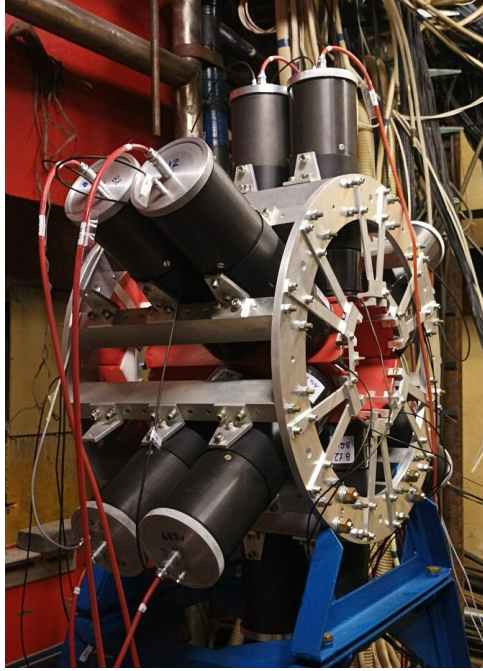


Рис. 4. Мишенный узел установки Гиперон+ на 18 канале У-70 в декабрьском сеансе 2023 г. Хорошо видны 3 пары черных тубусов γ -счетчиков спектрометра GNT из шести установленных.

тонов с энергией порядка нескольких ГэВ. В то время как GNT-детектор предназначен для регистрации низкоэнергичных фотонов с энергией до 20 МэВ. В качестве радиаторов в нем используются неорганические сцинтиллирующие кристаллы NaI(Tl) и BGO. Поэтому и процедуры калибровки этих спектрометров тоже существенно разные. Так, калибровка спектрометра LGD2 проводится по массе π^0 -мезонов, регистрируемых в реакции $h^+ + {}^AZ \rightarrow \pi^0 + X$ параллельно с набором физических данных, см. [6], тогда как в случае GNT-спектрометра собираемые физические данные не позволяют провести его калибровку.

Другим важным отличием LGD2 от GNT являются временные характеристики световых импульсов в детекторах спектрометров: в LGD2 формируются короткие импульсы черенковского света длительностью порядка нескольких нс, а в GNT характерное время высвечивания кристаллов составляет 230 и 300 нс для NaI(Tl) и BGO, соответственно. В результате длительность сигналов со счетчиков LGD2 определяется временными характеристиками фотодетекторов (ФЭУ-110, ФЭУ-139) спектрометра [7], в то время как со счетчиков GNT — временем высвечивания кристаллов. Цифровая электроника амплитудного анализа установки Гиперон-М, которая используется и в установке Гиперон+, была оптимизирована под длительность импульсов с LGD2, которая составляет ≈ 50 нс, что проявляется прежде всего в длительности стробирующих импульсов (120 нс), подаваемых на блоки АЦП электроники. Для оцифровки импульсов со спектрометра GNT указанная длительность строба заведомо не оптимальна. Использование, тем не менее, стробирующих им-

пульсов длительностью 120 нс в АЦП также и для сигналов со спектрометра GNT приводит к двум эффектам: возможности, в известной мере, улучшить энергетическое разрешение спектрометра за счет оптимизации общего сдвига GNT-импульсов по времени относительно стробирующего импульса АЦП с одной стороны, а с другой — к зависимости калибровочных коэффициентов спектрометра от этого общего сдвига. Отсюда сразу следует, что калибровку спектрометра GNT лучше проводить непосредственно в составе установки Гиперон+, где автоматически учитываются все временные сдвиги импульсов, имеющие место в реальной экспозиции установки на пучке.

С учетом вышесказанного, была предложена и реализована процедура калибровки спектрометра GNT, полностью интегрированного в инфраструктуру установки Гиперон+, включая триггер и систему сбора данных, при помощи нескольких радиоактивных источников ^{22}Na . Идея калибровки состоит в том, что на пластины CPV, прикрывающие калибруемые счетчики спектрометра GNT, последовательно помещаются радиоактивные источники ^{22}Na , как это показано на Рис.5, и далее запускается штатный приём событий, инициируемый триггером (импульсами) со счетчика детектора CPV, на поверхность которого были помещены источники ^{22}Na :

$$\text{trig}(\beta^+) = \text{CPV}({}^{22}\text{Na}). \quad (2)$$

Оставляя пока в стороне шумовые импульсы с триггерных счетчиков CPV и космику, можно с уверенностью утверждать, что значимая часть указанных триггеров будет

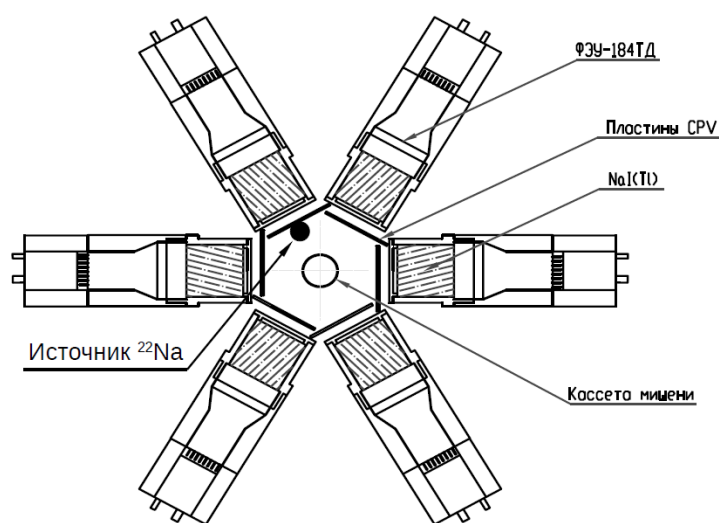


Рис. 5. Фронтальный вид кольца счетчиков спектрометра GNT, состоящего из шести кристаллов (NaI и BGO) с фотоумножителями ФЭУ-184ТД. Дополнительно показаны шесть сцинтилляционных пластин вето-детектора CPV, расположенных на фронтальной поверхности кристаллов, кассета для позиционирования ядерной мишени в центре спектрометра, а также один из двух γ -источников ^{22}Na , примыкающих к внутренней поверхности одной из CPV пластин.

обусловлена позитронами от β^+ -распада ${}^{22}\text{Na} \rightarrow {}^{22}\text{Ne}^* + e^+ + \nu_e$. При этом прак-

тически мгновенно происходит также γ -распад $^{22}\text{Ne}^* \rightarrow ^{22}\text{Ne} + \gamma$ и двухфотонная аннигиляция позитрона от первого распада. В результате такой цепочки процессов в конечном состоянии события образуется три монохроматических фотона: два аннигиляционных с энергией 511 кэВ каждый и один с энергией 1274.5 кэВ от γ -распада $^{22}\text{Ne}^*$. Эти фотоны с конечной вероятностью, определяемой геометрией мишенного узла установки, должны быть зарегистрированы счетчиками GNT спектрометра.

3. Процедура калибровки и результаты

Как уже было отмечено выше, в декабрьском сеансе 2023 г. Мишенный узел установки Гиперон+ был установлен на штатное место для пилотной экспозиции в составе установки на пучке 18 канала У-70 с целью комплексного запуска установки и калибровки спектрометра GNT. Прежде чем проводить описанную выше калибровку спектрометра, предварительно было выполнено выравнивание энергетической шкалы счетчиков GNT на расфокусированном мюонном пучке. С этой целью на адронном пучке с импульсом 7 ГэВ/с при закрытом коллиматоре 18 канала был организован мюонный триггер

$$\text{trig}(\mu^+) = S_1 * S_2 * S_O, \quad (3)$$

см. Рис.1 и 3, и проведен приём событий. При этом напряжение U_0 на фотоумножителях счетчиков спектрометра GNT подбиралось по возможности так, чтобы максимум мюонного пика в счетчиках соответствовал амплитуде в 2000 отсчетов АЦП. Полученные в результате мюонные спектры в счетчиках первого кольца спектрометра GNT приведены на Рис.6. Во всех счетчиках ясно наблюдаются достаточно широкие пики от проходящих через них мюонов. Наблюдаемая вариация засветки различных счетчиков обусловлена неоднородностью расфокусированного мюонного пучка. Спектры в счетчиках второго кольца спектрометра выглядят аналогично.

Проведенное Монте-Карло моделирование при помощи пакета GEANT4 [8, 9, 10, 11] мюонов с импульсом 7 ГэВ/с, проходящих через счетчики GNT, показало, что в кристаллах NaI(Tl) теряется на ионизацию в среднем 32 МэВ, а в кристаллах BGO — 65 МэВ, см. Рис.7. Поэтому, чтобы эффективно измерять энергии фотонов в области до 5 МэВ при помощи счетчиков на основе кристаллов NaI(Tl), усиление счетчиков надо поднять на порядок величины. А чтобы работать с энергиями фотонов вплоть до 20 МэВ, усиление счетчиков с кристаллами BGO надо увеличить приблизительно в 5 раз. В результате аннигиляционные фотоны от β^+ распада ^{22}Na в счетчиках с NaI(Tl) будут иметь амплитуду ≈ 350 отсчетов АЦП, а в счетчиках с BGO кристаллами ≈ 100 отсчетов. Учитывая далее, что усиление ФЭУ-184ТД зависит от приложенного напряжения U пропорционально $(U/U_0)^{10}$, для достижения указанного усиления GNT-счетчиков напряжение должно быть повышено в среднем на 26% и 17%, соответственно, на счетчиках с кристаллами NaI и BGO по сравнению со значениями, которые использовались при экспозиции GNT-спектрометра на мюонном пучке, Рис.6.

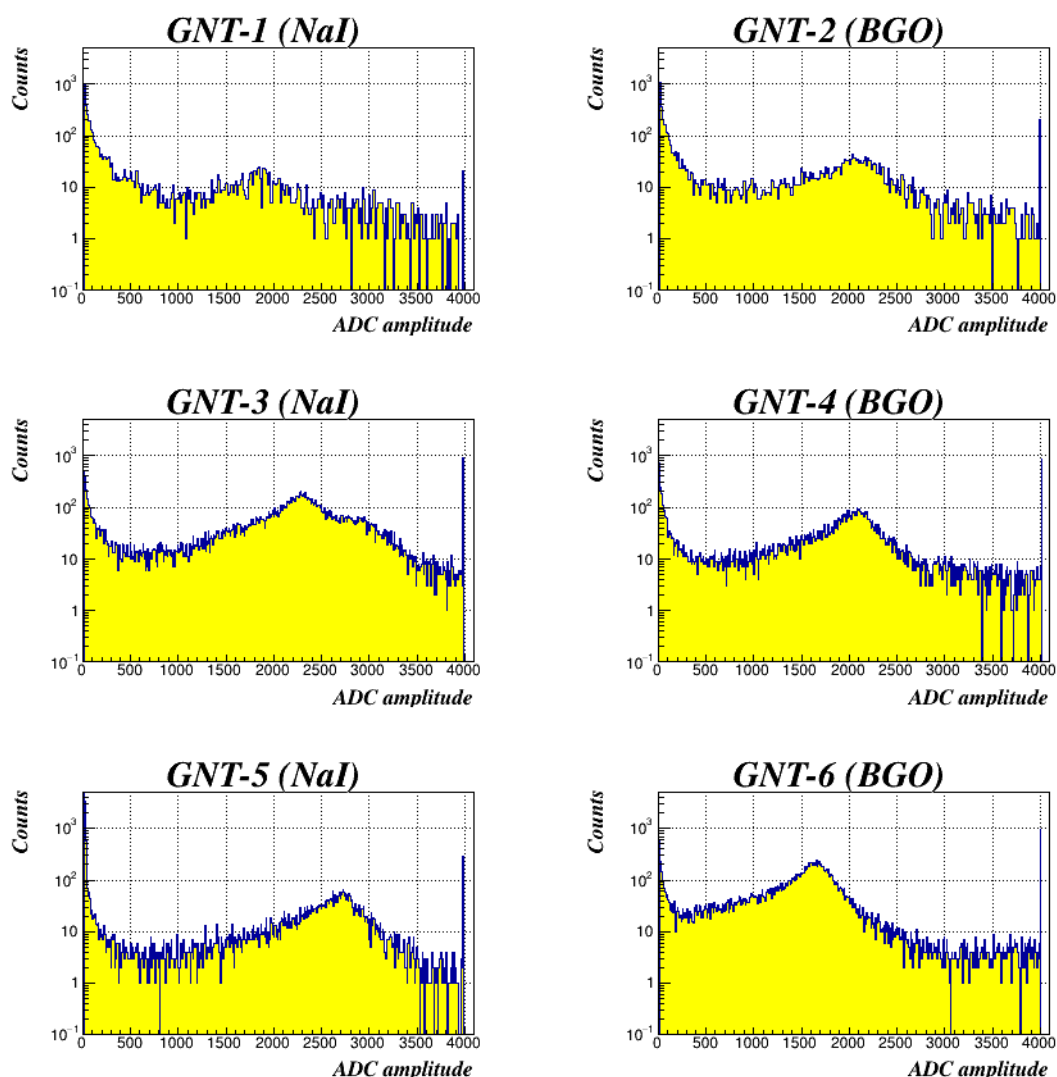


Рис. 6. Спектры амплитуд со счетчиков первого кольца спектрометра GNT на мюонном пучке в событиях, отобранных триггером (3), по данным сеанса 2023 г.

После вышеуказанного повышения напряжения на всех счетчиках спектрометр GNT был последовательно просканирован с целью калибровки двумя радиоактивными источниками ^{22}Na размером $25 \times 25 \times 1$ мм³ каждый, которые размещались на одной сцинтилляционной пластине CPV, напротив соответствующих этой пластине GNT-счетчиков. Полная калибровка спектрометра включала шесть независимых измерений - по числу сцинтилляционных пластин в детекторе CPV. Приём событий инициировался триггером (2). На Рис.8 для иллюстрации представлены полученные в результате спектры энергий для двух счетчиков – на основе кристаллов NaI(Tl) и BGO. В обоих спектрах хорошо видны два характерных для источника ^{22}Na γ -пики – при 511 и 1274.5 кэВ. Аналогичные спектры получены и для других счетчиков спектрометра. Собственно, наличие этих двух пиков в амплитудных спектрах и позволяет провести калибровку энергетической шкалы каждого счетчика GNT.

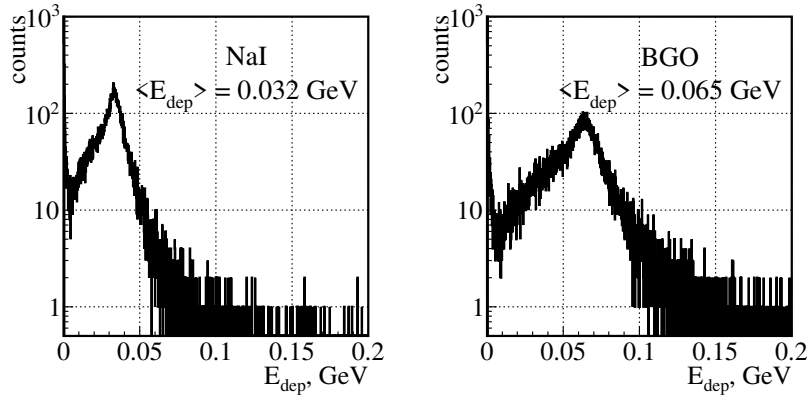


Рис. 7. Спектры радиационных потерь расфокусированного пучка мюонов с импульсом 7 ГэВ/с в кристаллах спектрометра GNT, полученные в результате МК-моделирования с использованием пакета GEANT4. Слева – в кристаллах NaI(Tl), справа – в кристаллах BGO.

С целью калибровки спектры амплитуд с GNT-счетчиков были независимо профитированы в областях наблюдаемых пиков функцией Гаусса и полиномом 3-й степени, см. Рис.8. В результате были получены положения максимумов пиков, A_1 и A_2 , в отсчетах АЦП, которые соответствуют энергиям фотонов $E_1 = 511$ и $E_2 = 1274.5$ кэВ от радиоактивного источника ^{22}Na . В свою очередь, это позволяет сразу определить коэффициенты калибровочной функции для вычисления энергий фотонов E_γ в кэВ, которая была выбрана в виде полинома 1-й степени

$$E_\gamma = b_0 + b_1 \cdot A_\gamma, \quad (4)$$

где $b_0 = (E_1 A_2 - E_2 A_1)/(A_2 - A_1)$, $b_1 = (E_2 - E_1)/(A_2 - A_1)$, а A_γ – измеренная энергия фотона в отсчетах АЦП. Необходимость введения в калибровочную функцию члена b_0 связана с небольшой нелинейностью энергетической шкалы счетчиков

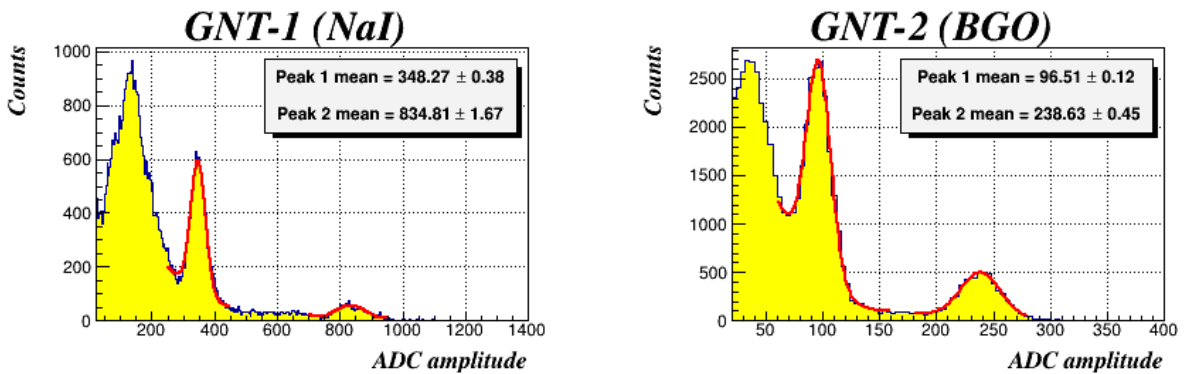


Рис. 8. Спектры амплитуд со счетчиков спектрометра GNT в калибровочных событиях на радиоактивном источнике ^{22}Na , отобранных триггером (2): слева – со счетчика на основе NaI(Tl), справа – на основе BGO. На вставках показаны полученные в результате фита положения пиков в отсчетах АЦП, см. основной текст.

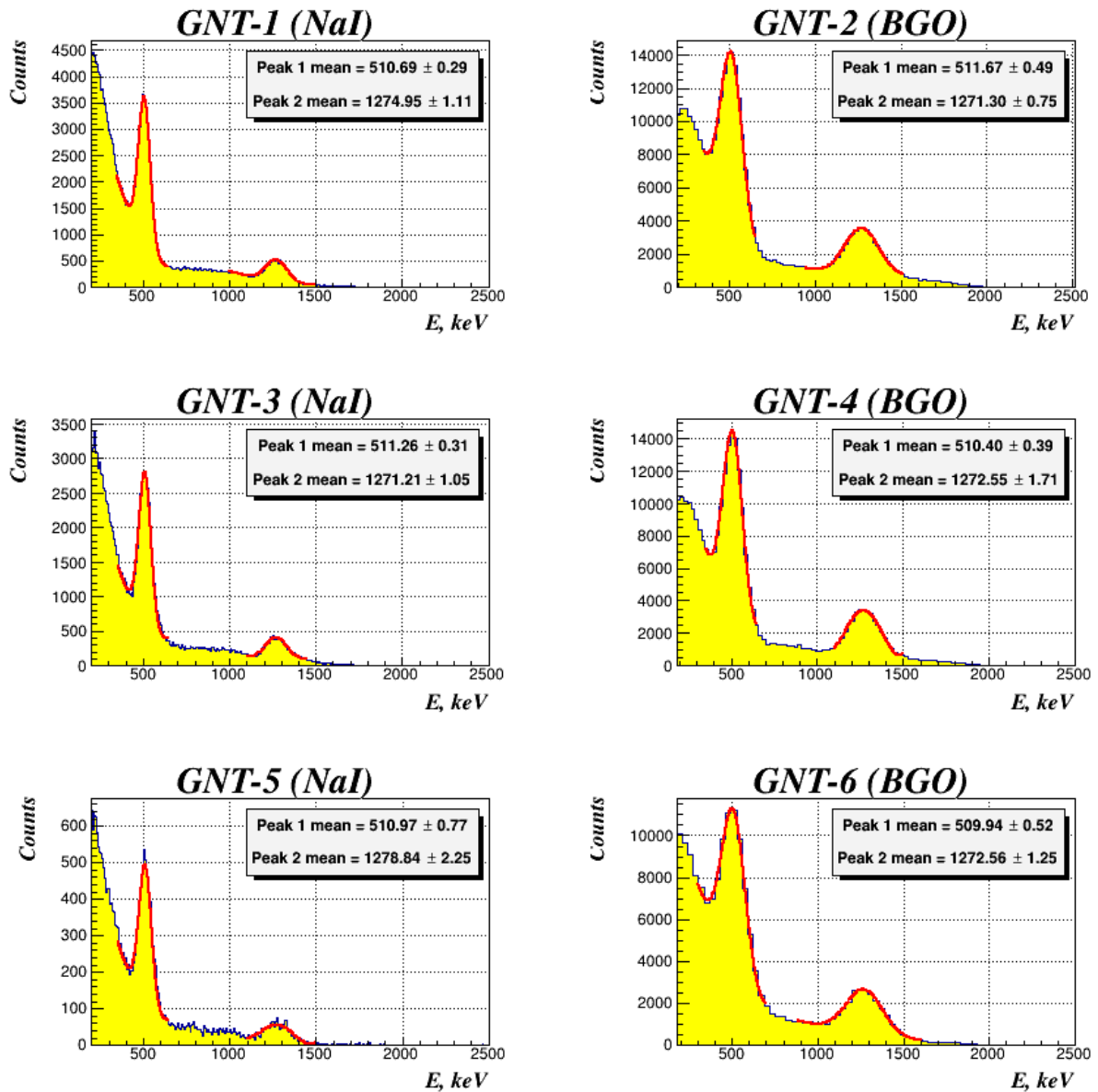


Рис. 9. Спектры калиброванных амплитуд со счетчиков первого кольца спектрометра GNT, интегрированного в инфраструктуру установки Гиперон+ на 18 канале У-70, по данным экспозиции спектрометра на радиоактивных источниках ^{22}Na . На вставках приведены полученные в результате фита положения характерных для ^{22}N обоих пиков. Фитирующие кривые показаны красным цветом.

GNT, обусловленной вытеканием электромагнитных ливней из кристаллов счетчиков. Учитывая, что радиационная длина X_0 кристаллов BGO в ≈ 2 раза меньше чем NaI(Tl), этот эффект должен быть более значимым для счетчиков с кристаллами NaI(Tl), что соответствует полученным результатам.

Спектры энергий фотонов со счетчиков первого кольца спектрометра GNT после описанной выше калибровки приведены на Рис.9. Здесь же показаны и результа-

ты фита двух калибровочных пиков для каждого счетчика. Полученные величины параметров пиков с учетом статистических ошибок находятся в хорошем согласии с ожидаемыми значениями. Точность калибровки, проведенной в условиях эксперимента Гиперон+, характеризуется точностью восстановления положения γ -пигов 511 и 1274.5 кэВ изотопа ^{22}Na . Точность восстановления энергий этих пиков определяется статистикой калибровочных данных и примененной процедурой фитирования энергетических спектров. Для кристаллов NaI(Tl) точность измерения γ -линий 511 и 1274.5 кэВ составляет 0.3 кэВ и 1.2 кэВ, соответственно, а для кристаллов BGO — 0.5 и 0.9 кэВ. Энергетическое разрешение пиков зависит от телесного угла излучения радиоактивного источника, а также от длительности и задержки стробирующего импульса АЦП, как уже обсуждалось в главе 2 выше. В условиях эксперимента Гиперон+ достигнутое энергетическое разрешение для кристаллов NaI(Tl) составляет 37 и 62 кэВ, а для BGO — 60 и 110 кэВ для линий излучения 511 и 1274.5 кэВ, соответственно. Аналогичные результаты получены и для счетчиков второго кольца спектрометра GNT.

Заключение

В работе предложена и реализована процедура калибровки счетчиков спектрометра гамма-ядерных переходов, интегрированного в инфраструктуру установки Гиперон+ (включая системы триггера и сбора данных установки), при помощи радиоактивных источников ^{22}Na . Основной недостаток калибровки связан с достаточно высоким уровнем фоновых (пустых) событий, обусловленных мягким триггером (2) на основе лишь счетчиков детектора CPV. Жесткость триггера однако может быть повышена, если в триггер ввести на совпадение сигналы с соответствующих счетчиков GNT-спектрометра, что, в общем, требует разработки специальной электроники, чтобы не ухудшить при этом энергетическое разрешение спектрометра. Вместе с тем такая модификация триггера потенциально позволила бы принимать калибровочные события параллельно с приемом экспериментальных данных во время экспозиции установки на пучке, что способствовало бы весьма заметному улучшению энергетического разрешения спектрометра, учитывая известную зависимость световых выходов кристаллов NaI(Tl) и BGO от температуры.

Данная работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда №22-12-00095, <https://rscf.ru/project/22-12-00095/>

Список литературы

- [1] А.М.Горин, С.В.Евдокимов, А.А.Зайцев и др. Известия РАН, Серия физическая, 2023, Т. 87, No 8, стр. 1109-1115.

- [2] М.Ю.Боголюбский, С.В.Евдокимов, В.И.Изучеев и др. ЯФ, 2013, том 76, No 11, с. 1–15.
- [3] С.В.Евдокимов, В.И.Изучеев, Е.С.Кондратюк и др. Письма в ЖЭТФ, 10 марта 2021, том 113, вып. 5, с. 291–298.
- [4] В.В.Бреховских, А.М.Горин, В.А.Дятченко и др. Препринт ИФВЭ 2023-15.
- [5] С.И.Букреева, Н.М.Емельянов, А.Н.Исаев и др., Препринт ИФВЭ 2013-19.
- [6] М.Ю.Боголюбский, С.В.Евдокимов, В.И.Изучеев и др., ПТЭ, 2011, номер 5, стр. 88-92.
- [7] А.М.Блик, В.Н.Колосов, В.М.Кутьин и др. Препринт ИФВЭ 94-136 ОЭФ.
- [8] S.Agostinelli et al., Nucl. Instrum. Meth. A 506 (2003) 250-303
- [9] J.Allison et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 53 (2006) 270-278
- [10] J.Allison et al., Nucl. Instrum. Meth. A 835 (2016) 186-22
- [11] I.Hřivnáčová et al., The Virtual MonteCarlo, ECONF C0303241:THJT006,2003; e-Print: cs.SE/0306005

Рукопись поступила 27 мая 2024 г.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

А.М.Горин, С.В.Евдокимов, А.А.Зайцев и др.

Калибровка детектора гамма-ядерных переходов установки Гиперон+ с внешним триггером.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **Л^AT_EX**.

Подписано к печати 27.05.2024 Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.
Печ.л. 2,12. Уч.-изд.л. 1,7. Тираж 60. Заказ 157. Индекс 3649.

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2024-06,
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, 2024
