

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ, ПУЧКОВ ЧАСТИЦ И ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

УДК 519.25.256

НАБЛЮДЕНИЕ ГАММА-ЯДЕРНЫХ ПЕРЕХОДОВ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЯДЕР, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В АДРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ, В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ГИПЕРОН+

© 2025 г. А. М. Горин^а*, С. В. Евдокимов^а, А. А. Зайцев^б, В. И. Изучеев^а, Д. С. Криницын^а,
Б. В. Полищук^а, В. И. Рыкалин^а, С. А. Садовский^а, Ю. В. Харлов^а, А. А. Шангараев^а

^аНИЦ “Курчатовский институт – ИФВЭ”, Протвино, Московская область, 142281 Россия

^бОбъединенный институт ядерных исследований, Дубна, Московская область, 141980 Россия

*E-mail: Serguei.Sadovsky@ihep.ru

Поступила в редакцию 20.12.2024 г.

После доработки 05.02.2025 г.

Принята к публикации 06.02.2025 г.

Возможными продуктами адрон-ядерных взаимодействий в пучке адронов промежуточных энергий 5–10 ГэВ являются вторичные возбужденные ядра. При переходах из возбужденного состояния в основное или другое возбужденное состояние такие ядра испускают фотоны мегаэлектронвольтных энергий, соответствующих разности уровней перехода возбуждения ядер. Энергетические спектры фотонов девозбуждения ядер являются их характерными особенностями. Поэтому детектирование указанных фотонов гамма-ядерных переходов позволяет провести идентификацию ядер, образующихся в конечном состоянии такой реакции. В свою очередь изучение корреляции спектров возбуждения вторичных ядер с типом и параметрами адронных систем, вылетающих при этом в переднюю полусферу реакции, открывает возможности для исследования динамики адрон-ядерных взаимодействий. В настоящей работе представлены первые результаты измерения спектров гамма-ядерных переходов в эксперименте Гиперон+ в тестовом сеансе по набору статистики адрон-ядерных взаимодействий с импульсом 7 ГэВ/с на углеродной мишени (^{12}C) при помощи спектрометра гамма-ядерных переходов (GNT). Полученные данные можно интерпретировать как наблюдение ряда гамма-переходов ядер ^{11}C , образующихся в конечном состоянии событий, отобранных триггером на взаимодействие частиц пучка с мишенью.

DOI: 10.56304/S2079562925060089

ВВЕДЕНИЕ

Динамика сильных взаимодействий является объектом многочисленных исследований как в области больших переданных импульсов, так и в непертурбативной области КХД. Взаимодействие налетающих адронов с ядрами при промежуточных энергиях характеризуется малыми величинами переданных импульсов, что соответствует непертурбативному режиму КХД. Изучение этих процессов углубляет наше понимание сильных взаимодействий и приближает создание теории и методов вычислений, обладающих достаточной описательной и предсказательной силой. Для детального изучения таких процессов необходимо регистрировать как можно более детально продукты взаимодействия. Так, заряженные и нейтральные частицы, вылетающие в переднюю полусферу в СЦМ реакции, могут быть зарегистрированы с помощью трековых детекторов и различных калориметров. Однако вторичное ядро, образу-

ющееся в конечном состоянии реакции, имеет малый импульс в экспериментах с фиксированной ядерной мишенью. Образовавшееся ядро быстро останавливается в толще мишени за счет тормозных потерь. Тем не менее, его идентификация возможна, если ядро в результате взаимодействия оказалось в возбужденном состоянии, поскольку фотоны, испускаемые при гамма-переходах ядра имеют энергию, равную разности энергий начального и конечного состояний. Для различных ядер энергии уровней возбуждений индивидуальны, что и позволяет провести идентификацию конкретных ядер по детектируемым уровням их возбужденных состояний.

Эксперимент Гиперон+, см. [1], направлен на детальное изучение механизмов адрон-ядерных взаимодействий при энергиях адронного пучка порядка 5–10 ГэВ. Он является дальнейшим развитием эксперимента Гиперон-М [3], в рамках которого были проведены прецизионные иссле-

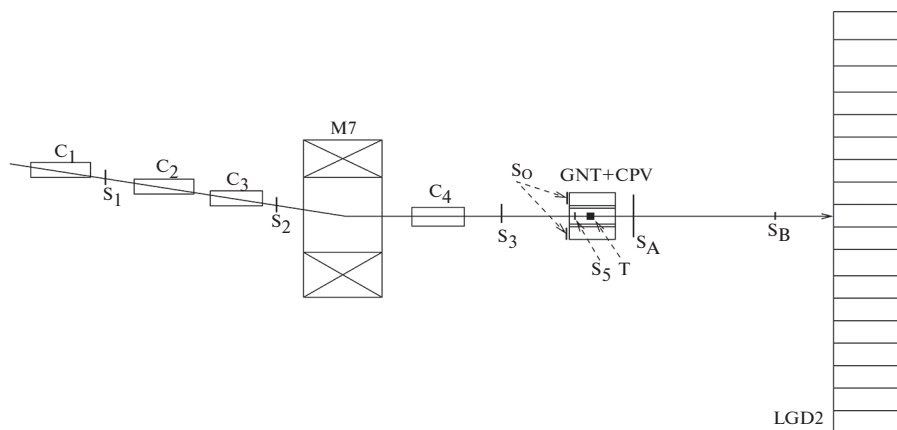


Рис. 1. Схема экспериментальной установки Гиперон+: S_{1-3} — пучковые сцинтилляционные счетчики, C_{1-3} — черенковские счетчики, M7 — магнит наведения пучка на мишень, S_5 — мишенный триггерный счетчик, T — мишень, S_0 — сцинтилляционный сегментированный счетчик задней полусферы, GNT — спектрометр гамма-ядерных переходов, S_A — сцинтилляционный вето-счетчик, закрывающий аперттуру калориметра LGD2, S_B — триггерный сцинтилляционный антисчетчик пучка, LGD2 — черенковский электромагнитный спектрометр полного поглощения.

дования нейтральных мезонных состояний, образующихся в адрон-ядерных взаимодействиях при импульсе адронного пучка 7 ГэВ/с. В частности, были проведены поиски модификации масс и ширины $f_2(1270)$ [4] и $\omega(782)$ [5] мезонов, образующихся в холодной материи атомных ядер, а также осуществлен поиск ранее неизвестных состояний, которые могут образовываться в адрон-ядерных взаимодействиях [6]. С целью существенного расширения возможностей эксперимента был разработан и реализован проект модернизации установки Гиперон-М до уровня Гиперон+ за счет создания нового мишенного узла установки, включающего GNT-спектрометр фотонов гамма-ядерных переходов мегаэлектронвольтового диапазона энергий на основе сцинтиллирующих кристаллов NaI(Tl) и BGO, вето-детектор CPV для подавления регистрации заряженных частиц, вылетающих в аперттуру GNT-спектрометра, мишенный счетчик S_5 и сегментированный детектор S_0 , см. рис. 1.

В ноябре 2024 г. установка Гиперон+ [1] в полном составе была экспонирована в тестовом сеансе на положительном адронном пучке с импульсом 7 ГэВ/с 18 канала ускорительного комплекса У-70. В настоящей работе рассмотрена процедура проведения измерений, приведены первые полученные результаты на мишени ^{12}C и проведено их сравнение с результатами Монте-Карло моделирования.

1. УСТАНОВКА ГИПЕРОН+

Установка Гиперон+ расположена на 18 канале ускорительного комплекса У-70 [2]. Схема экс-

периментальной установки Гиперон+ приведена на рис. 1. Базовыми детекторами установки Гиперон+ являются пороговые черенковские счетчики C_{1-3} для определения типа пучковой частицы, пучковые сцинтилляционные счетчики S_{1-3} для выделения пучковой частицы, черенковский электромагнитный спектрометр полного поглощения LGD2, широкоапертурный сцинтилляционный вето-счетчик S_A , закрывающий от заряженных частиц аперттуру спектрометра LGD2, детектор гамма-ядерных переходов GNT на основе сцинтиллирующих кристаллов NaI(Tl) и BGO, а также тонкий сцинтилляционный счетчик S_B с размерами $7 \times 7 \times 0.3 \text{ см}^3$, установленный по пучку непосредственно перед спектрометром LGD2. Включение S_B в триггер в режиме антисовпадений позволяет выделять события взаимодействия пучка с мишенью.

Спектрометр GNT представляет собой систему из трех колец сцинтилляционных счетчиков каждое с 3-мя кристаллами NaI(Tl) и 3-мя кристаллами BGO с размерами обоих кристаллов $D/L = 63/63 \text{ мм мм}$. Вместе с шестью счетчиками вето-детектора заряженных частиц CPV и шестью счетчиками сегментированного детектора S_0 , предназначенными для подавления фоновых событий в счетчиках GNT от заряженных частиц, он образует мишенный узел установки Гиперон+. Спектрометр GNT показан на рис. 2. Он позволяет эффективно регистрировать фотоны в мегаэлектронвольтовом диапазоне энергий и измерять их энергии с высокой точностью, подробнее см. в [8].

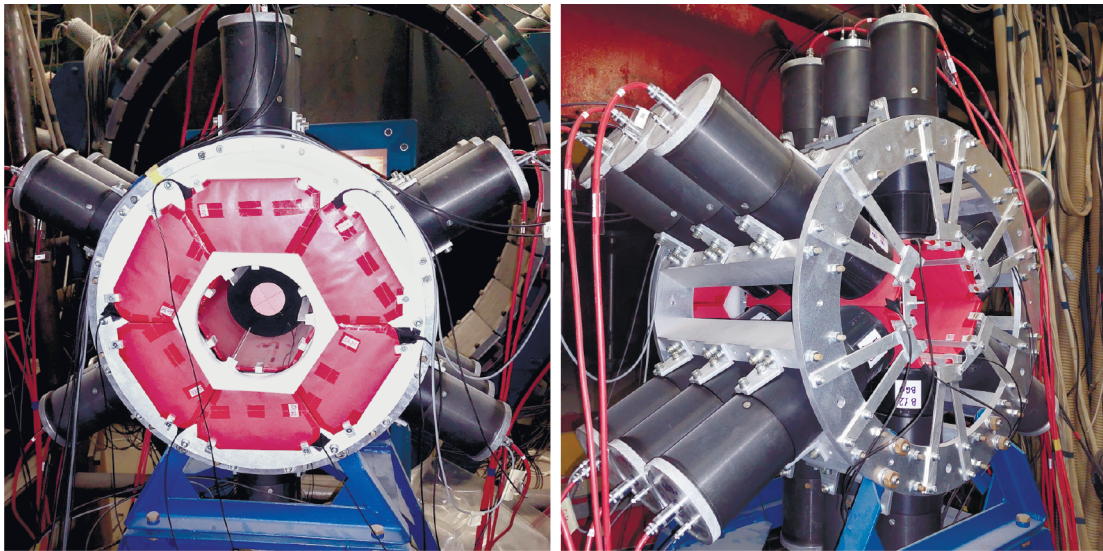


Рис. 2. Фотографии мишенного узла установки Гиперон+. Слева показан вид со стороны пучка, на переднем плане видны все шесть трапецеидальных счетчиков сегментированного детектора S_0 . Справа – вид мишенного узла со стороны спектрометра LGD2, видны практически все тубусы счетчиков GNT, а в центре также хорошо видны (красные) сцинтилляционные пластины детектора CPV.

2. КАЛИБРОВКА GNT-СПЕКТРОМЕТРА

Перед экспозицией установки Гиперон+ на пучке была проведена калибровка энергетической шкалы всех счетчиков GNT-спектрометра с помощью β^+ радиоактивного источника на основе ^{22}Na , распадающегося по каналу $^{22}\text{Na} \rightarrow ^{22}\text{Ne}^* + e^+ + \nu_e$. При этом вторичное возбужденное ядро $^{22}\text{Ne}^*$ имеет время жизни $T_{1/2} = 3.6$ пс, оно переходит в свое основное состояние посредством излучения γ -кванта с энергией $E = 1.2745$ МэВ [7]. В результате каждый акт β^+ -распада ^{22}Na сопровождается излучением 3 фотонов – двух с энергией 0.511 МэВ от e^+e^- аннигиляции и еще одного от γ -распада ядра $^{22}\text{Ne}^*$. С целью калибровки запуск GNT-спектрометра, полностью интегрированного в инфраструктуру эксперимента Гиперон+, проводился импульсом со счетчика S_5 , расположенного рядом с источником ^{22}Na , при прохождении через счетчик распадного позитрона как заряженной частицы до момента его аннигиляции. Более подробное описание процедуры калибровки GNT-спектрометра см. в работе [8].

На рис. 3 приведены полученные в результате калибровки энергетические спектры, просуммированные по всем девяти GNT-счетчикам с кристаллами NaI(Tl) слева, и по всем счетчикам с кристаллами BGO справа. Как видно из рисунка, реализованная процедура обеспечивает относи-

тельную калибровку счетчиков с точностью порядка нескольких единиц на 10^{-3} .

3. НАБОР ДАННЫХ НА УГЛЕРОДНОЙ МИШЕНИ

В ноябре 2024 г. была проведена первая экспозиция установки Гиперон+ в полном составе на положительном адронном пучке с импульсом 7 ГэВ/с 18 канала ускорительного комплекса У-70 на углеродной мишени из аморфного графита высокой чистоты. Размер мишени $D/L = 4/6$ см. Для отбора событий использовался триггер на взаимодействие частиц пучка с мишенью:

$$\text{trig} = S_1 S_2 S_3 S_5 \bar{S}_0 \bar{S}_B, \quad (1)$$

см. рис. 1. При этом импульсы со счетчика S_A подавались для оцифровки на АЦП. Полученные в результате спектры по энергиям зарегистрированных фотонов в счетчиках GNT-спектрометра, просуммированные по счетчикам на основе кристаллов NaI(Tl) и отдельно – кристаллов BGO, показаны на рис. 4. В обоих спектрах наблюдается несколько разных пиков. Для количественного анализа спектры в области пиков были профитированы распределениями Гаусса с полиномиальным фоном. Первый пик на обоих спектрах можно отождествить с пиком от двухфотонной e^+e^- -аннигиляции.

Чтобы понять природу других наблюдаемых пиков, надо рассмотреть возможные механизмы взаимодействия частиц пучка с ядрами мишени.

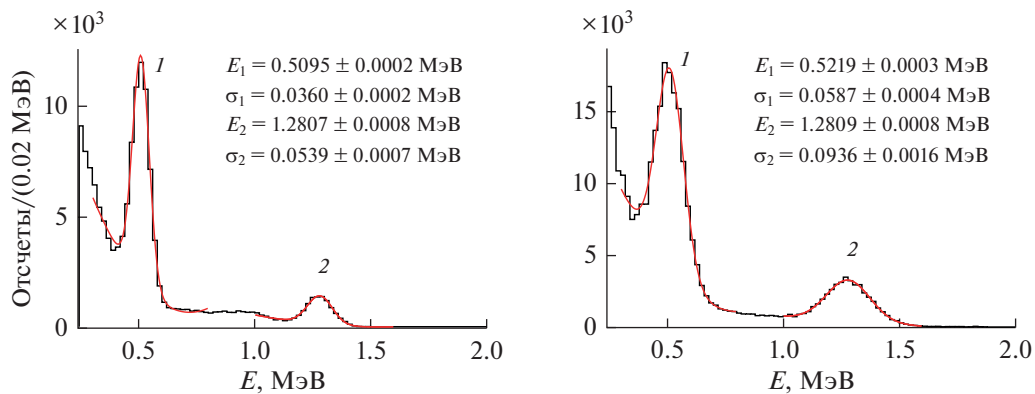


Рис. 3. Энергетические спектры, полученные в ходе калибровки детектора GNT с помощью радиоактивного источника ^{22}Na . Слева изображен спектр, полученный на кристаллах NaI(Tl), справа – на кристаллах BGO. Красными линиями показаны результаты фитирования наблюдаемых в спектрах пиков функциями Гаусса с полиномиальным фоном.

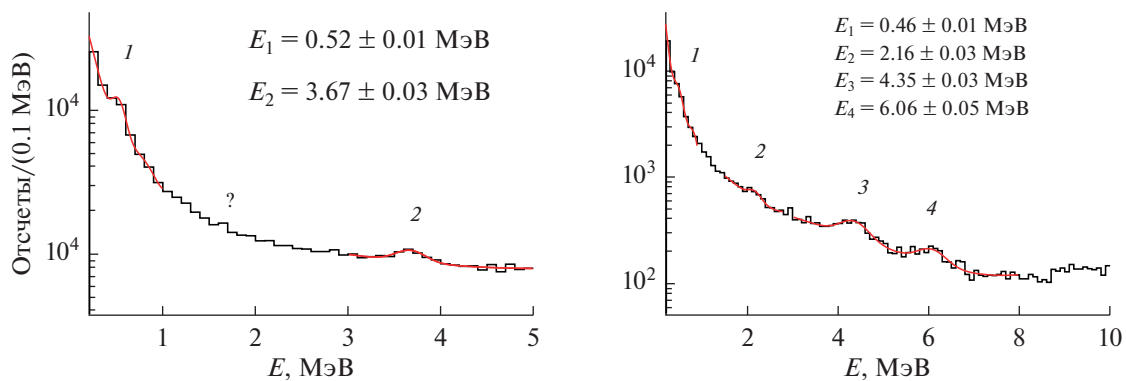


Рис. 4. Энергетические спектры, полученные с GNT-счетчиков на основе кристаллов NaI(Tl) и BGO, при отборе событий адрон-ядерных взаимодействий при импульсе 7 ГэВ/с на углеродной мишени при помощи триггера (1) в эксперименте Гиперон+ в осеннем сеансе 2024 г. Слева изображен спектр, полученный со счетчиков на основе кристаллов NaI(Tl), справа – на основе кристаллов BGO.

Одним из возможных сценариев взаимодействия частиц пучка с ядром мишени является квазиупругое рассеяние, когда налетающий адрон рассеивается на ядре и улетает в переднюю полусферу в системе центра масс реакции, а само ядро переходит в возбужденное состояние. В этом случае возможным вторичным ядром является первое возбужденное состояние ^{12}C ($J^P = 2^+$, $E = 4.4398$ МэВ), см. например, [9], и переход в основное состояние осуществляется за счет излучения фотона с энергией 4.4398 МэВ, который может быть зарегистрирован в кристаллах GNT-счетчиков. Второе возбужденное состояние имеет уже энергию 7.654 МэВ.

Другим возможным сценарием адрон-ядерных столкновений является неупругое взаимодействие частицы пучка с одним из нуклонов ядра, в результате которого нуклон после взаимодействия покидает ядро. При этом вторичными мо-

гут быть состояния ^{11}C и ^{11}B , являющиеся зеркальными ядрами со схожими конфигурациями энергетических уровней. Так, у ядра ^{11}C в интересующей нас области энергий имеются следующие возбужденные уровни [16]: ($J^P = 1/2^-$, $E = 2.0000$ МэВ), ($J^P = 5/2^-$, $E = 4.3188$ МэВ), ($J^P = 1/2^+$, $E = 6.3392$ МэВ), ($J^P = 7/2^-$, $E = 6.4782$ МэВ) и другие. Аналогичные уровни есть и у ядра ^{11}B . Регистрация фотонов соответствующих энергий позволяет идентифицировать образующиеся конкретные возбужденные состояния ядер, если при этом энергии фотонов измеряются достаточно точно.

Касательно эксперимента Гиперон+ в этой связи следует отметить, что конечный и сравнительно небольшой размер кристаллов GNT-счет-

чиков с неизбежностью должен приводить к нелинейности энергетической шкалы счетчиков из-за частичного вытекания электромагнитных ливней из кристаллов. Для оценки этих эффектов было проведено детальное Монте-Карло моделирование процессов развития и регистрации фотонных ливней в счетчиках GNT-спектрометра.

4. МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ GNT-СПЕКТРОМЕТРА

Монте-Карло моделирование процессов детектируемых в установке Гиперон+, проводилось с помощью пакетов программ GEANT4 и VMC [10–13]. Модель установки включала ядерную мишень Т, сцинтилляционные пластины вето-детектора CPV и кристаллы NaI(Tl) и BGO, являющиеся радиаторами счетчиков спектрометра GNT. Моделирование собственно физических событий проводилось при помощи генератора PYTHIA8.3 [14, 15] с добавлением монохроматических фотонов с энергиями 2.0, 4.3 и 6.3 МэВ, соответствующих энергиям гамма-ядерных переходов возбужденных состояний ядра ^{11}C [16]: $1/2^- \rightarrow 3/2^-$ ($\Delta E = 2.0000$ МэВ), $1/2^+ \rightarrow 1/2^-$ ($\Delta E = 4.3392$ МэВ) и $1/2^+ \rightarrow 3/2^-$ ($\Delta E = 6.3392$ МэВ). Полученные в результате события типа “коктейль” передавались пакету программ GEANT4 для транспортировки всех вторичных частиц через детекторы установки. Далее для анализа событий использовалась стандартная программа обработки данных эксперимента Гиперон+. Однако здесь надо отметить, что пакет GEANT4 позволяет моделировать только энергию ионизационных потерь в кристаллах спектрометра GNT. Чтобы пересчитать эту энергию в поток сцинтилляционных фотонов, измеряемый в конечном счете в эксперименте, энергия ионизационных потерь корректировалась в соответствии с измеренным разрешением детекторов, полученным ранее при калибровке счетчиков на радиоактивном источнике ^{22}Na . На рис. 5 приведены полученные результаты моделирования событий для счетчиков с кристаллами NaI (слева) и BGO (справа) для трех энергий фотонов гамма-ядерных переходов: 2, 4.3 и 6.3 МэВ.

Как видно из рис. 5 МК-спектры с обоих кристаллов становятся заметно более пологими слева от максимума и при этом дополнительно еще сами существенно сдвигаются влево, причем оба эффекта в заметно большей степени проявляются в счетчиках с кристаллами NaI(Tl), сдвигка положения максимума распределения энергии в которых достигает 13%. К тому же, и эффективность детектирования фотонов в счетчиках с NaI(Tl) где-то раза в два меньше, чем у счетчиков с кристаллами BGO. В совокупности все это приводит к тому, что экспериментальные спектры энергий фо-

тонов с кристаллов NaI(Tl) и BGO должны значительно отличаться, что и наблюдается на рис. 4. При этом предпочтение, начиная с энергий фотонов от 1.5 МэВ и выше, следует отдавать данным с кристаллов BGO. Счетчики с кристаллами NaI(Tl) эффективны при энергиях фотонов до 1.5 МэВ за счет более высокого их световыхода по сравнению с BGO.

Возвращаясь теперь к измеренному спектру энергий фотонов в GNT-счетчиках на основе кристаллов BGO, показанному на рис. 4 справа, можно утверждать, что в спектре наблюдаются четыре пика в области энергий до 10 МэВ. При этом первый пик с энергией ≈ 0.50 МэВ следует рассматривать как аппаратный фон, связанный с e^+e^- -аннигиляцией позитронов, в избытке образующихся адрон-ядерных взаимодействиях при импульсе 7 ГэВ/с. А три других пика, соответствующие энергиям, приблизительно равным 2.16, 4.35 и 6.06 МэВ, можно отождествить с γ -переходами первых трех возбужденных состояний ядра ^{11}C в основное состояние, или с аналогичными переходами зеркального ядра ^{11}B . Для дифференциации γ -переходов ядер ^{11}C и ^{11}B требуется существенное повышение статистики эксперимента и тщательное МК-моделирование процессов в счетчиках GNT спектрометра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты первой тестовой экспозиции установки Гиперон+ в полном составе с мишенью ^{12}C на положительном адронном пучке с импульсом 7 ГэВ/с ускорительного комплекса У-70. Спектрометр гамма-ядерных переходов GNT, предназначенный для регистрации и измерения энергий фотонов мегаэлектронвольтового диапазона, был откалиброван в составе установки с помощью β^+ -источника ^{22}Na с триггером от распадного позитрона как заряженной частицы, детектируемой пучковым сцинтилляционным счетчиком S₅. В данных экспозиции установки на адронном пучке в энергетическом спектре фотонов со счетчиков спектрометра GNT на основе кристаллов BGO выделяются три линии $E \approx 2.0$ МэВ, $E \approx 4.3$ МэВ и $E \approx 6.3$ МэВ, которые можно интерпретировать как результат γ -переходов ядра ^{11}C из первых трех его возбужденных состояний ($E = 2.0000$ МэВ, $J^P = 1/2^-$), ($E = 4.3188$ МэВ, $J^P = 5/2^-$) и ($E = 6.3392$ МэВ, $J^P = 1/2^+$) в основное состояние ядра ($J^P = 3/2^-$)

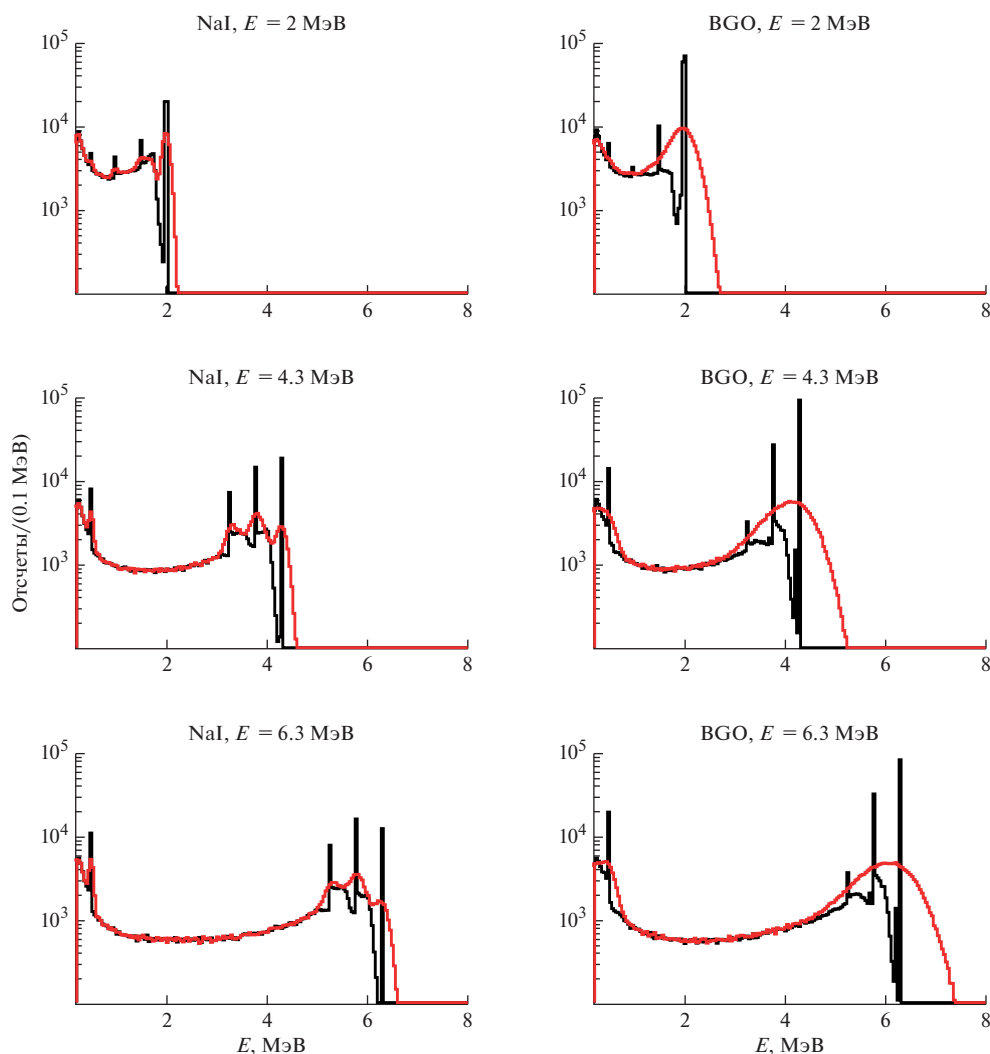


Рис. 5. Монте-Карло моделирование энергетических спектров для GNT-счетчиков с кристаллами NaI(Tl) (слева) и BGO (справа) в событиях с монохроматическими фотонами трех энергий: 2.0 (вверху), 4.3 (по середине) и 6.3 (внизу) МэВ. Черными линиями показаны энергии ионизационных потерь в кристаллах, а красными линиями – измеряемые энергии сцинтилляционных импульсов со счетчиков GNT.

и/или аналогичных γ -переходов возбужденного зеркального ядра ^{11}B . Этот результат является подтверждением эффективности методики идентификации возбужденных состояний вторичных ядер в эксперименте Гиперон+ методами прецизионной ядерной гамма-спектроскопии. Он открывает широкие перспективы изучения механизмов адрон-ядерных взаимодействий для различных легких ядер при промежуточных энергиях.

БЛАГОДАРНОСТИ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Горин А.М., Евдокимов С.В., Зайцев А.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2023. Т. 87 (8). С. 1109.
2. Черный С.А. // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 1991. Т. 22 (5). С. 1067–1128.
3. Асеев А.А., Боголюбовский М.Ю., Викторов В.А. и др. (Коллаборация Гиперон-М). Препринт ИФВЭ 2002-3. 2002. Протвино: ИФВЭ.
4. Боголюбовский М.Ю., Евдокимов С.В., Изучеев В.И. и др. // Ядерная физика. 2013. Т. 76 (11). С. 1389–1403.
5. Евдокимов С.В., Изучеев В.И., Кондратьев Е.С. и др. // Письма ЖЭТФ. 2021. Т. 113 (5). С. 291–298.
6. Горин А.М., Евдокимов С.В., Зайцев А.А. и др. // Письма ЖЭТФ. 2023. Т. 118 (9). С. 629–636.
7. Shamsuzzoha Basunia M. // Nucl. Data Sheets. 2015. V. 127. P. 69–190.

8. Горин А.М., Евдокимов С.В., Зайцев А.А. и др. // Ядер. физ. инжинир. 2024. Т. 15 (6). С. 590–598.
9. Groves J.L. *et al.* // Phys. Rev. D. 1977. V. 15 (1). P. 47–58.
10. Agostinelli S. *et al.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A. 2003. V. 506. P. 250–303.
11. Allison J. *et al.* // IEEE Trans. Nucl. Sci. 2006. V. 53. P. 270–278.
12. Allison J. *et al.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A. 2016. V. 835. P. 186–22.
13. Hřivnáčová I. *et al.* The Virtual MonteCarlo. ECONF C0303241:THJT006. 2003. e-Print: cs.SE/0306005.
14. Bierlich C., Chakraborty S., Desai N., Gellersen L., Helenius I., Ilten P., Lönnblad L., Mrenna S., Prestel S., Preuss C.T., *et al.* “AA Comprehensive Guide to the Physics and Usage of PYTHIA 8.3. LU-TP 22-16. MCNET-22-04. FERMILAB-PUB-22-227-SCD [arXiv:2203.11601 [hep-ph]]. 2022. <https://doi.org/10.21468/SciPostPhysCodeb.8>
15. Sjöstrand T. *et al.* // Comput. Phys. Commun. 2015. V. 191. P. 159. [arXiv:1410.3012 [hep-ph]].
16. Kelley J.H., Kwan E., Purcell J.E., Sheu C.G., Weller H.R. // Nucl. Phys. A. 2012. V. 880. P. 88–195.

Observation of Gamma-Ray Nuclear Transitions of Excited Nuclei Produced in Hadron–Nuclear Interactions in the Hyperon+ Experiment

A. M. Gorin¹, S. V. Evdokimov¹, A. A. Zaitsev², V. I. Izucheev¹, D. S. Krinitsyn¹, B. V. Polishchuk¹, V. I. Rykalin¹, S. A. Sadovsky^{1,*}, Yu. V. Kharlov¹, and A. A. Shangaraev¹

¹*Institute for High Energy Physics, National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow oblast, 142281 Russia*

²*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow oblast, 141980 Russia*

*e-mail: Serguei.Sadovsky@ihep.ru

Received December 20, 2024; revised February 5, 2025; accepted February 6, 2025

Abstract—Possible products of hadron–nuclear interactions in a hadron beam at energies of 5–10 GeV are secondary excited nuclei. During transitions from the excited state to the ground or another excited state, such nuclei emit photons with megaelectronvolt energies corresponding to the difference in the levels of the excitation transition of the nuclei. The energy spectra of deexcitation photons are the characteristic features of the excited nuclei. Therefore, the detection of these photons of gamma-ray nuclear transitions makes it possible to identify the nuclei formed in the final state of such a reaction. In turn, the correlation of the excitation spectra of secondary nuclei with the type and parameters of hadron systems emitted in the forward hemisphere of the reaction provides information on the dynamics of hadron–nuclear interactions. The first results of measuring the spectra of gamma-ray nuclear transitions in the Hyperon+ experiment in a test run using a set of statistics on hadron–nuclear interactions with a momentum of 7 GeV/c on a ¹²C carbon target by means of the gamma nuclear transition (GNT) spectrometer have been reported in this work. The obtained data can be interpreted as an observation of a series of gamma transitions of ¹¹C nuclei produced in the final state of events selected with the trigger for the interaction of the beam particles with the target.