



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**
Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

Препринт 2018–13

М.Ю. Боголюбский, Д.К. Елумахов, А.А. Иванилов,
А.Н. Криницын

**Определение аксептанса спектрометра для рожденных
вперед адронов и ядерных фрагментов в ядро-ядерных
столкновениях на ускорительном комплексе У-70
(моделирование методом Монте-Карло)**

Направлено в *ИТЭ*

Протвино 2018

Аннотация

Боголюбский М.Ю., Елумахов Д.К., Иванюлов А.А., Криницын А.Н. Определение аксептанса спектрометра для рожденных вперед адронов и ядерных фрагментов в ядро-ядерных столкновениях на ускорительном комплексе У-70 (моделирование методом Монте-Карло): Препринт НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ 2018–13. – Протвино. 2018. – 11 с., 4 рис., 1 табл., библиогр.: 25.

Представлены результаты моделирования по определению аксептанса спектрометра для рожденных вперед адронов и ядерных фрагментов в ядро-ядерных столкновениях на ускорительном комплексе У-70. Спектрометр построен как комбинация канала частиц № 22 ускорительного комплекса У-70 и детекторов модифицированной установки ФОДС с расположением ядерных мишеней в голове канала. Расчеты выполнены в среде виртуального Монте-Карло из пакета ROOT в рамках GEANT4 (версия 4.10.02.p02). Изучалось как прохождение вторичных адронов (заряженных π , K – мезонов, протонов, антипротонов) так и вторичных легких ядер (D, T), а также более тяжелых различных изотопов (He, Li, Be, B, C). Кроме аксептанса для каждого типа частиц и ядер получены коэффициенты выбывания из ансамбля за счет распадов и взаимодействий при их прохождении через спектрометр.

Abstract

Bogolyubsky M.Yu., Elumahov D.K., Ivanilov A.A., Krinitsyn A.N. Determination of spectrometer acceptance for forward hadrons and nuclei fragments production in nucleus-nucleus collisions on the accelerator U-70 (Monte-Carlo simulation): NRC «Kurchatov Institute» – IHEP Preprint 2018–13. – Protvino, 2018. – p. 11, figs. 4, table 1, refs.: 25.

In this work we present the results on determination of spectrometer acceptance for forward hadrons and nuclei production in nucleus-nucleus collisions on the accelerator U-70. The spectrometer is built as a combination of the beam-line № 22 of the accelerator U-70 and detectors of the modified setup FODS with location of nuclear targets in the beam-line head. The calculations were performed in the virtual Monte-Carlo environment of the ROOT package in framework of the GEANT4 (version 4.10.02.p02). We studied the passage of secondary hadrons (charged π , K – mesons, protons, antiprotons) and secondary light nuclei (D, T) as well as heavier various isotopes (He, Li, Be, B, C). In addition to the acceptance for each type of particles and nuclei the coefficients of escape from ensemble were calculated due to decays and interactions during their passage through the spectrometer.

Введение

Создание ионных пучков на ускорительном комплексе У-70 (Протвино) открыло возможности для новых исследований в области релятивистской ядерной физики. В препринте [1] представлено предложение эксперимента по изучению рождения вперед на угол ноль адронов и ядерных фрагментов при взаимодействии протонов и ядер с ядрами. Обосновано в качестве основного элемента использовать спектрометр, построенный из канала частиц высоких энергий № 22 [2] на ускорительном комплексе У-70 и детекторов модифицированной установки ФОДС [3-4] с расположением мишеней в голове канала. В измерениях магнитная жесткость канала варьируется в интервале (6-70) ГэВ/с. Возможность работы канала № 22 в составе спектрометра был промоделирована методом Монте-Карло в работе [5] в рамках GEANT4.

Рассматриваемая в данном эксперименте область энергий превышает 20 ГэВ/нуклон, что в настоящее время является наибольшей величиной для экспериментов по рождению вперед с ионными пучками на покоящейся мишени при скорости вторичных частиц превышающей быстроту пучка. Предыдущие данные соответствуют энергиям в области 0.3-5 ГэВ/нуклон [6-13].

В статье [14] показаны результаты первых измерений в рассматриваемом эксперименте в СА-взаимодействиях при энергии 25 ГэВ/нуклон. В работе [15] представлены выходы легких ядер в СС-взаимодействиях при энергии 20.5 ГэВ/нуклон. Эти новые результаты важны для сравнения предсказаний теории с экспериментом, выбора адекватной модели и настройки ее параметров. Для сравнения с теорией предпочтительнее представление экспериментальных данных в терминах инвариантных дифференциаль-

ных сечений. Для перехода от наблюдаемых выходов частиц к сечениям необходимо знать аксептанс спектрометра, а также коэффициенты ослабления потоков вторичных частиц и ядер при их прохождении через спектрометр за счет распадов и взаимодействий на веществе. Данная работа посвящена определению аксептанса и указанных коэффициентов ослабления для каждого типа частиц и ядер как функции магнитной жесткости канала частиц № 22.

1. Условия моделирования

Моделирование проводилось в среде виртуального Монте-Карло пакета ROOT (ЦЕРН) [16], в которую интегрирована программа GEANT4 (версия 4.10.02.p02) [17]. Последняя дает возможность пользователю выбрать транспортный код, обеспечивающий трассировку частиц и ядер через установку с учетом их распадов и взаимодействий на веществе.

Мишень (^{12}C или Pb) установлена на входе в канал № 22, ее толщина составляет 0.1 от длины взаимодействия. Используемое в данной статье описание канала № 22 полностью соответствует сделанному в работе [5]. Но теперь учтены еще детекторы установки ФОДС, включающие сцинтилляционные счетчики, пороговые черенковские счетчики, спектрометр колец черенковского излучения (СКОЧ) [18], адронный калориметр [19].

Точка взаимодействия в мишени разыгрывалась равномерно по ее длине. При моделировании для нахождения импульсного разрешения канала и его аксептанса величина импульса P рожденной частицы (или ядерного фрагмента) разыгрывалась равномерно на интервале, удовлетворяющем соотношению

$$P \in [P_c - \sigma, P_c + \sigma], \quad (1)$$

где P_c – магнитная жесткость канала, σ – импульсное разрешение канала при данном импульсе, Z – заряд частицы (или ядерного фрагмента). Равномерно по телесному углу разыгрывались полярный и азимутальный угол вылета трека.

Далее прослеживалась судьба рожденного трека при его прохождении через спектрометр. Частицы (или ядерные фрагменты) могли распасться или провзаимодействовать на веществе спектрометра и, таким образом, выбыть из ансамбля. Отношение

количества треков из первичной вершины события, дошедших до чувствительной области СКОЧ, к общему числу треков в первичной вершине пропорционально произведению коэффициента K выбывания из ансамбля на величину аксептанса спектрометра $d\Omega$. Коэффициент K представим в виде произведения двух сомножителей

(2)

где K_a – дает вклад вещества канала, а K_f – вклад вещества установки ФОДС.

В качестве транспортного кода нами была выбрана составная модель QGSP-FTFP-BERT-EMV [20-21]. Она построена из ряда компонент, таких как кварк – глюонная струнная модель hA-взаимодействий (QGSP), модель AA – взаимодействий Fritiof (FTFP) с поддержкой формирования начальных струн с последующей их фрагментацией в адроны в модели Лунда в рамках каскадов Бертини (BERT) со снятием возбуждения вторичных ядер на стадии предкомпаунда. Для повышения скорости расчетов произведена оптимизация алгоритмов моделирования электромагнитных процессов (EMV).

Модель QGSP-FTFP-BERT-EMV наряду с моделью UrQMD (версия 3.4) [22-23], основанной на ультррелятивистской квантовой молекулярной динамике в рамках теории цветных струн, использовались нами также как генераторы первичных взаимодействий в мишени (для ионных пучков в этом случае в модели QGSP-FTFP-BERT-EMV работает только ее часть FTFP-BERT-EMV). Все треки от сгенерированных таким образом событий трассировались через установку, что позволило оценить вклад от фоновых частиц и ядерных фрагментов, рожденных после первичного взаимодействия далее в спектрометре за счет распадов и взаимодействий на веществе.

Расчеты моделирования методом Монте-Карло выполнялись на компьютерном кластере НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ (Протвино) с распараллеливанием исполняемых заданий. Схема организации вычислений представлена в работе [24].

2. Результаты моделирования

Анализ полученных данных моделирования начнем с определения относительного импульсного разрешения канала, которое практически не зависит от его жесткости и фактически определяется степенью раскрытия коллиматоров. Канал № 22 содержит

5 коллиматоров: вертикальные – К1, К3, К5 и горизонтальные – К2, К4. Магнитная оптика канала настроена так, что изображение мишени проецируется на коллиматор К3, который в наибольшей степени влияет на импульсное разрешение.

В эксперименте коллиматоры К1, К2, К5 были раскрыты полностью ± 6 см. В измерениях для отрицательных вторичных частиц коллиматоры К3 и К4 были тоже раскрыты полностью $K3=\pm 6$ см и $K4=\pm 6$ см, но при регистрации положительных частиц и ядерных фрагментов ширина щели коллиматоров К3 и К4 уменьшалась. Всего использовалось три варианта раскрытия коллиматоров, перечисленных в табл. 1, где для каждого варианта приведено получаемое при моделировании относительное импульсное разрешение канала.

Таблица 1. Относительное импульсное разрешение σ/p канала № 22 (p – импульс частицы), полученное моделированием методом Монте-Карло, в зависимости от раскрытия коллиматоров К3 и К4 (остальные коллиматоры К1, К2, К5 раскрыты полностью ± 6 см).

Раскрытие коллиматора К3 [см]	Раскрытие коллиматора К4 [см]	Относительное импульсное разрешение σ/p [%]
± 0.4	± 0.5	1.10
± 4	± 5	1.82
± 6	± 6	2.50

Для всех типов рождаемых вторичных частиц и ядерных фрагментов при каждом варианте раскрытия коллиматоров, используемых в измерениях, были определены зависимости коэффициента K_f и произведения $K_a \cdot d\Omega$ от жесткости канала № 22. При моделировании жесткость канала изменялась от 6 до 70 ГэВ/с для отрицательных частиц и от 12 до 70 ГэВ/с для положительных частиц и ядерных фрагментов, что соответствует диапазону изменения жесткости в реальных измерениях. На рис. 1 и 2. показаны полученные результаты, соответственно, для положительных и отрицательных частиц (π , К – мезоны, протоны, антипротоны).

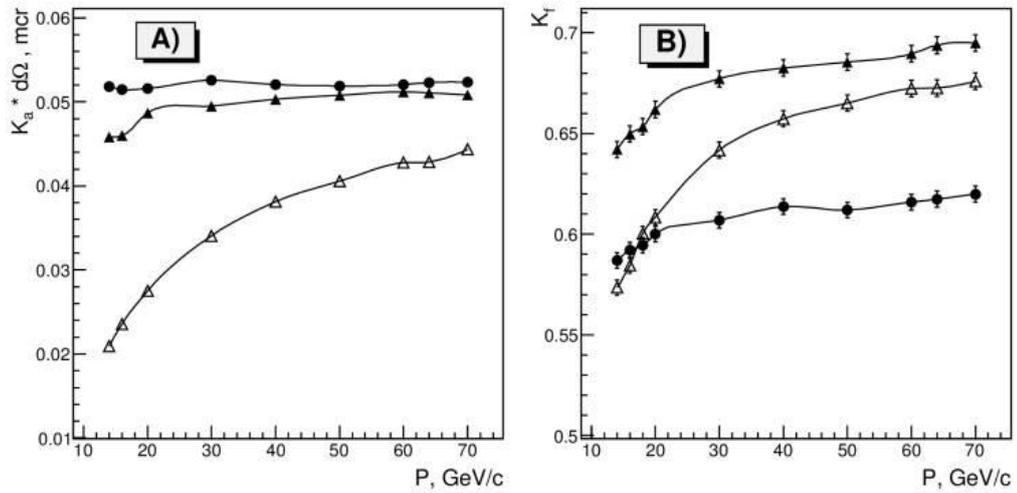


Рис. 1. Зависимости произведения $K_a \cdot d\Omega$ (A) и коэффициента K_f (B) от жесткости P канала № 22 для положительных частиц: протоны – черные точки, π -мезоны – черные треугольники и K -мезоны – белые треугольники (режимы коллиматоров: $K3 = \pm 4$ см, $K4 = \pm 5$ см, остальные коллиматоры $K1, K2, K5$ полностью раскрыты ± 6 см).

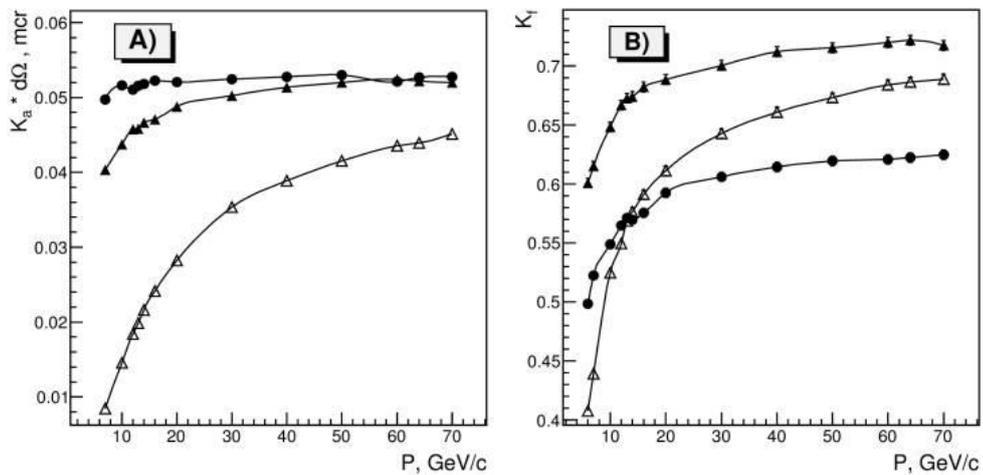


Рис. 2. Зависимости произведения $K_a \cdot d\Omega$ (A) и коэффициента K_f (B) от жесткости P канала № 22 для отрицательных частиц: антипротоны — черные точки, π -мезоны – черные треугольники и K -мезоны – белые треугольники (режимы коллиматоров: все они $K1, K2, K3, K4, K5$ полностью раскрыты ± 6 см).

Аналогичные зависимости были рассчитаны для 19 типов вторичных ядерных фрагментов. Они включали легкие ядра (D, T), а также ряд более тяжелых различных изотопов (He, Li, Be, B, C). Основные закономерности, показывающие характерные черты поведения зависимостей, даны на рис. 3, где для краткости представлена только часть результатов для ядерных фрагментов. Отметим, что из представленных на рисунке изотопов ${}^9\text{Li}$ является бета-радиоактивным с периодом полураспада 178.3 мс [25].

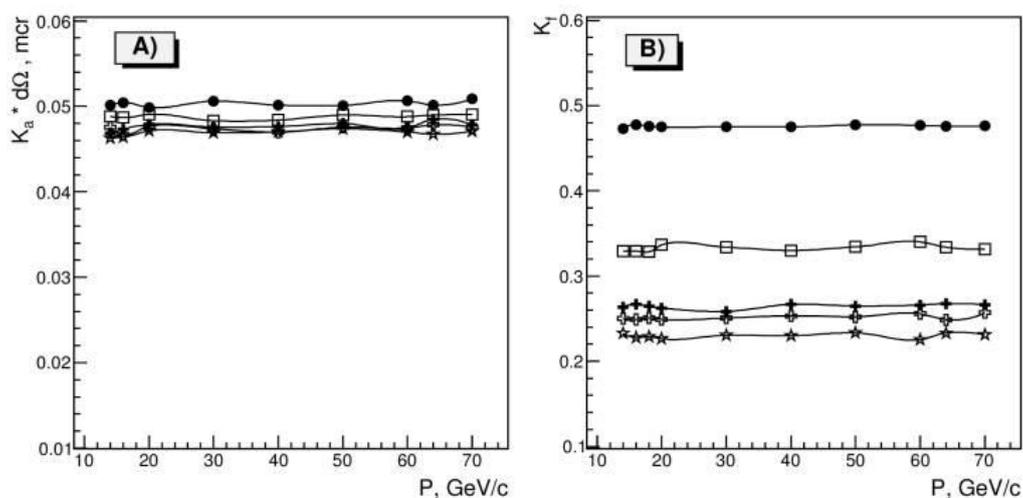


Рис. 3. Зависимости произведения $K_a * d\Omega$ (A) и коэффициента K_f (B) от жесткости P канала № 22 для вторичных ядерных фрагментов: D – черные точки, ${}^6\text{He}$ – белые квадраты, ${}^8\text{Li}$ – черные кресты, ${}^9\text{Li}$ (бета-радиоактивный) – белые кресты, ${}^{12}\text{C}$ – звезды (режимы коллиматоров: $K3=\pm 4$ см, $K4=\pm 5$ см, остальные коллиматоры $K1, K2, K5$ полностью раскрыты ± 6 см).

Нами также произведена оценка вклада фоновых частиц и ядерных фрагментов, появляющихся в конце канала за счет распадов и взаимодействий на веществе при прохождении по спектрометру. Для этого разыгрывались первичные CC - и CPb -взаимодействия в мишени по моделям FTFP-BERT-EMV и UrQMD. Далее сравнивались импульсные распределения для частиц и ядерных фрагментов, рожденных в акте первичного взаимодействия в мишени с аналогичными распределениями этого же типа частиц и ядерных фрагментов, возникших далее в спектрометре после первичного взаимодействия. Фоновые распределения заметно мягче и при имеющемся разрешении

спектрометра с учетом селективной способности СКОЧ их вклад составляет не более 5 %.

Процедура отбора частиц описана в работе [14]. Здесь только отметим, что кроме СКОЧ в селекции частиц и ядерных фрагментов принимают участие адронный калориметр, сцинтилляционные и пороговые черенковские счетчики, сигналы с которых подвергаются амплитудному анализу.

В качестве иллюстрации метода приводим измеренное при помощи найденного акцептанса инвариантное дифференциальное сечение рождения на угол ноль ${}^3\text{He}$ в зависимости от его импульса в лабораторной системе в сравнении с предсказаниями по моделям FTFP-BERT-EMV и UrQMD для СС – столкновений при энергии пучка 20.5 ГэВ/нуклон. Виден существенный вклад в распределение в области с импульсом $P > 61.5$ ГэВ/с, который равен утроенному значению импульса нуклона в пучковом ядре углерода. Более подробно данные проблемы будут обсуждаться в специальной работе для полного набора наблюдаемых частиц и ядерных фрагментов.

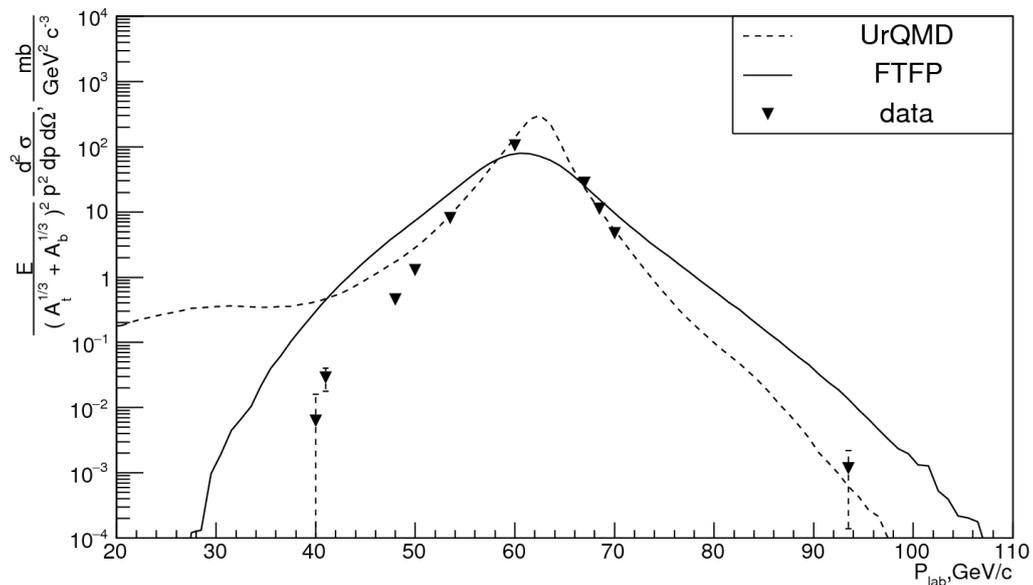


Рис. 4. Инвариантное дифференциальное сечение рождения на угол ноль ${}^3\text{He}$ в зависимости от его импульса P_{lab} в лабораторной системе в сравнении с моделями FTFP-BERT-EMV и UrQMD в СС-взаимодействиях при энергии пучка 20.5 ГэВ/нуклон (сечение умножено на фактор $1/(A_t^{1/3} + A_b^{1/3})^2$, где A_t и A_b , соответственно, массовые числа ядер мишени и пучка).

Заключение

Получены величины акцептанса составного спектрометра из канала частиц № 22 и детекторов модифицированной установки ФОДС для рожденных вперед адронов (π , К-мезоны, протоны, антипротоны) и ядерных фрагментов (D, T) и ряд различных изотопов (He, Li, Be, B, C) в ядро-ядерных столкновениях на ускорительном комплексе У-70 с учетом ослабления потока вторичных частиц из-за распадов и взаимодействий на веществе. Знание акцептанса дает возможность пересчитать измеряемые выходы частиц в инвариантные дифференциальные сечения. Это позволяет сравнить предсказания теоретических моделей с измерениями для выбора наиболее адекватных моделей и настройки их параметров в области энергий ускорительного комплекса У-70, которые в настоящее время являются максимальными для экспериментов по рождению вперед с ионными пучками на покоящейся мишени.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-02-00215.

Список литературы

- [1] М.Ю. Боголюбский, А.Ю. Бордановский, В.В. Волков, Д.К. Елумахов, В.П. Ефремов, А.Ю.Калинин, А.Н. Криницын, В.И. Крышкин, Н.В. Кулагин, В.В. Скворцов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович. – Препринт ИФВЭ 2013-11, Протвино, 2013; <http://web.ihep.su/library/pubs/prep2013/ps/2013-11.pdf>
- [2] А.Г. Афонин, Н.А. Галяев, В.Н. Гресь, Ю.П. Давиденко, В.И. Дианов, А.С. Дышкант, В.Н. Запольский, В.И. Котов, В.П. Крючков, С.Н. Лапицкий, В.Н. Лебедев, А.В. Максимов, А.В. Минченко, А.Н. Мойбенко, В.С. Селезнев, Р.М. Суляев, В.Н. Терехов, М.А. Холоденко, С.А. Черный, Ю.А. Чесноков. – Препринт ИФВЭ 90-38, Протвино, 1990.
- [3] Абрамов В.В., Алексеев А.В., Балдин Б.Ю., Битюков С.И., Бушнин Ю.Б., Вражнов Ю.Н., Глебов В.Ю., Дунайцев А.Ф., Дышкант А.С., Евдокимов В.Н., Зелепукин

- С.А., Карпеков Ю.Д., Конопляников А.К., Кренделев В.А., Криницын А.Н., Крышкин В.И., Кульман Н.Ю., Макаров Г.П., Мельник Ю.М., Орлов А.П., Петров В.С., Рыбаков В.Г., Рыченков В.Н., Сергеев В.А., Симонов Ю.Н., Слепцов М.А., Солдатов М.М., Суляев Р.М., Сытин А.Н., Татаренко В.М., Турчанович Л.К., Углеков В.Я. – Препринт ИФВЭ 81-46, Серпухов, 1981.
- [4] Абрамов В.В., Балдин Б.Ю., Бузулуцков А.Ф., Волков А.А., Глебов В. Ю., Гончаров П.И., Гуржиев А.Н., Дышкант А.С., Евдокимов В.Н., Ефимов А.О., Корнеев Ю.П., Криницын А.Н., Крышкин В.И., Мутафян М.И., Подставков В.М., Ронжин А.И., Суляев Р.М., Турчанович Л.К. – Препринт ИФВЭ ОММС 91-144. Протвино, 1991. // Приборы и техника эксперимента, 1992, № 6, с. 75.
- [5] М.Ю. Боголюбский. // Приборы и техника эксперимента, 2014, №. 5, с. 7-17; M.Yu. Bogolyubsky. // Instrum. Exp. Tech., 2014, vol. 57, pp. 519-530.
- [6] Балдин А.М., Герасимов С.Б., Гиордэнеску Н., Зубарев В.И., Иванова Л.К., Кириллов А.Д., Кузнецов В.А., Мороз Н.С., Радоманов В.Б., Рамжин В.Н., Ставинский В.С., Яцута М.И. // Ядерная Физика, 1973, том 18, вып. 1, с. 79.
- [7] D.E. Greiner, P.J. Lindstrom, H.H. Heckman, Bruce Cork, F.S. Bieser. // Physical Review Letters, 1975, v. 35, № 3, pp. 152 – 154.
- [8] L. Anderson, W. Bruckner, E.Moeller, S. Nagamiya, S. Nissen-Meyer, L. Schroeder, G. Shapiro, H. Steiner. // Phys. Rev. C 1983, vol.28, №. 3, pp. 1224-1245.
- [9] E. Moeller, L. Anderson, W. Bruckner, S. Nagamiya, S. Nissen-Meyer, L. Schroeder, G. Shapiro, H. Steiner. // Phys. Rev. C 1983, vol. 28, №. 3, pp. 1246-1255.
- [10] В.М. Абрамов, П.Н. Алексеев, Ю.А. Бородин, С.А. Булычев, А.А. Духовской, А.П. Крутенкова, В.В. Куликов, М.А. Мартемьянов, М.А. Мацюк, Е.Н. Турдакина, А.И. Ханов. // Письма в ЖЭТФ, 2013, т. 98, №. 8, с. 509-513.
- [11] В.М. Абрамов, П.Н. Алексеев, Ю.А. Бородин, С.А. Булычев, А.А. Духовской, А.П. Крутенкова, В.В. Куликов, М.А. Мартемьянов, М.А. Мацюк, С.Г. Машник, Е.Н. Турдакина, А.И. Ханов. // Ядерная физика, 2015, т. 78, № 5, с. 403-410.
- [12] В.М. Абрамов, П.Н. Алексеев, Ю.А. Бородин, С.А. Булычев, К.К. Гудима, А.А. Духовской, А.П. Крутенкова, В.В. Куликов, М.А. Мартемьянов, М.А. Мацюк, С.Г. Машник, Е.Н. Турдакина, А.И. Ханов. // Ядерная физика, 2016, т. 79, №. 5,

- с. 475-482; V.M. Abramov et al. // *Physics of Atomic Nuclei*, 2016, vol. 77, iss. 5, pp. 700-707.
- [13] В.М. Абрамов, П.Н. Алексеев, Ю.А. Бородин, С.А. Булычев, К.К. Гудима, А.А. Духовской, А.П. Крутенкова, В.В. Куликов, М.А. Мартемьянов, М.А. Мацюк, Е.Н. Турдакина, А.И. Ханов. // *Ядерная физика*, 2018, т. 81, №3, с. 314-321; V.M. Abramov et al. // *Physics of Atomic Nuclei*, 2018, vol. 81, iss. 3, pp. 330-337.
- [14] М.Ю. Боголюбский, А.Ю. Бордановский, А.А. Волков, Д.К. Елумахов, А.А. Иванюков, А.Ю. Калинин, А.Н. Криницын, В.И. Крышкин, Н.В. Кулагин, Д.И. Паталаха, В.В. Скворцов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович. // *Ядерная физика*, 2017, т. 80, № 3, с. 239-244; M.Yu. Bogolyubsky et al. // *Physics of Atomic Nuclei*, 2017, vol. 80, № 3, pp. 455-460.
- [15] M.Yu. Bogolyubsky, A.Yu. Bordanovsky, A.A.Volkov, D.K. Elumahov, A.A. Ivanilov A.Yu. Kalinin., A.N. Krinitsyn, V.I. Kryshkin, N.V. Kulagin, D.I. Patalakha, K.A. Romanishin, V.V. Skvortsov, V.V. Talov, L.K. Turchanovich, «Forward Yields of the Secondary Light Nuclei in CC-collisions at Beam Energy 20.5 GeV/n on the Accelerator U-70 in Comparison with Models UrQMD, FTFP-BERT-EMV and QGSP-FTFP-BERT-EMV in the Framework of Geant4», *Journal of Physics: Conference Series* - <http://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/934/1>. KnowledgeE Publishing Platform - <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Energy/issue/view/84>, The 3rd International Conference on Particle Physics and Astrophysics, (ICPPA), 2–5 October 2017, Moscow, Russia, Published: 9 April 2018, pp 97-101, ISSN: 2413-5453, DOI: 10.18502/ken.v3i1.1729.
- [16] <http://root.cern.ch>
- [17] <http://geant4.cern.ch/support/ReleaseNotes4.10.2.html>
- [18] V.V. Abramov, A.V. Alekseev, B.Yu. Baldin, V.G. Vasil'chenko, A.A. Volkov, Yu.N. Vrazhnov, A.O. Efimov, Yu.P. Korneev, V.I. Kryshkin, V.E. Rakhmatov, A.I. Ronzhin, V.I. Rykalin and R.M. Sylyayev. // *Nucl. Instr. Meth. A*, 1985, vol. 235, pp. 497-501.
- [19] А.А. Волков, А.Ю. Калинин, А.В. Кораблёв, А.Н. Криницын, В.И. Крышкин, В.В. Скворцов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович. // *ПТЭ*, 2010, № 4, с. 37-42; <http://naukarus.com/adronnye-kalorimetry-ustanovki-fods>

- [20] http://geant4.cern.ch/support/proc_mod_catalog/models/hadronic/FTFP.html
- [21] V. Uzhinsky, *Joint international conference on supercomputing in nuclear application and Monte-Carlo 2010* (SNA-MC2010 Hitotsubashi Hall), Tokio, Japan, October 17-21, 2010. <https://geant4.web.cern.ch/sites/geant4.web.cern.ch/files/geant4/results/papers/Fritiof-MC2010.pdf>
- [22] <http://urqmd.org>
- [23] S. A. Bass, M. Belkacem, M. Bleicher, M. Brandstetter, L. Bravina, C. Ernst, L. Gerland, M. Hofmann, S. Hofmann, J. Konopka, G. Mao, L. Neise, S. Soff, C. Spieles, H. Weber, L.A. Winckelmann, H. Stöcker, W. Greiner, Ch. Hartnack, J. Aichelin, N. Amelin, // *Prog. Part. Nucl. Phys.*, 1988, vol. 41, pp. 225 – 370; ArXiv: nucl-th/9803035v2, revised 19 March 1998.
- [24] М.Ю. Боголюбский, В.В. Волков, Д.К. Елумахов, В.П. Ефремов, А.Ю.Калинин, А.Н. Криницын, В.И. Крышкин, Н.В. Кулагин, В.В. Скворцов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович. – Препринт НИЦ–Курчатовский институт - ИФВЭ 2018-12, Протвино, 2018. (Направлено в журнал Приборы и техника эксперимента)
- [25] https://ru.wikipedia.org/wiki/Изотопы_лития.

Рукопись поступила 28 ноября 2018 г.

М.Ю. Боголюбский, Д.К. Елумахов, А.А. Иванилов, А.Н. Криницын

Определение аксептанса спектрометра для рожденных вперед адронов и ядерных фрагментов в ядро-ядерных столкновениях на ускорительном комплексе У-70 (моделирование методом Монте-Карло).

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 03.12.2018. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.
Печ.л. 1. Уч.– изд.л. 1,24. Тираж 80. Заказ 15. 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

ПРЕПРИНТ 2018-13,
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, 2018
