

УДК 524.1

ТЕКУЩИЙ СТАТУС МИССИИ НУКЛОН-2

© 2019 г. А. А. Курганов^{1, *}, В. Л. Булатов², О. А. Васильев¹, Д. Е. Карманов¹, И. М. Ковалев¹, М. И. Панасюк¹, А. Д. Панов¹, Д. М. Подорожный¹, Д. А. Полков², Г. Е. Седов¹, Л. Г. Ткачев^{3, 4}, П. Л. Ткачев¹, А. Н. Турундаевский¹, С. Б. Филиппов²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

²Общество с ограниченной ответственностью “ГОРИЗОНТ”, Екатеринбург, Россия

³Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

⁴Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области “Университет “Дубна”, Дубна, Россия

*E-mail: me@sx107.ru

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

Эксперимент НУКЛОН-2 нацелен на изучение изотопного и зарядового состава средних, тяжелых и сверхтяжелых ионов ($Z < 82$) в энергетическом диапазоне от 300 МэВ/нуклон до 1 ГэВ/нуклон. Представлена планируемая конструкция спутникового эксперимента по изучению космических лучей НУКЛОН-2. Проведенное моделирование подтверждает работоспособность алгоритмов разделения изотопов.

DOI: 10.1134/S036767651905020X

ВВЕДЕНИЕ

В областях физики, связанных с космосом, в том числе физике источников космических лучей и астрофизике в целом, на текущий момент наблюдается повышенный интерес к данным по изотопному составу космических лучей, что связано с большим количеством физических задач, для которых эти данные необходимы. Эти задачи включают изучение локального окружения Солнца, в том числе измерение локального диффузионного коэффициента, поиск локальных источников и определение возраста космических лучей, изучение изотопных аномалий, возникающих при взрывах Сверхновых в обогащенную тяжелыми элементами среду, изучение нестандартных процессов ускорения космических лучей, особенностей инжекции частиц в них и исследование процессов нуклеосинтеза.

На сегодняшний день наблюдается сильный недостаток экспериментальных данных по изотопному и зарядовому составу космических лучей с $Z > 32$ для изотопного и $Z > 40$ для зарядового разрешения и с учетом того, что в ближайшее время эксперименты в данной области не планируются, новый эксперимент в данной области крайне актуален [1].

1. ЭКСПЕРИМЕНТ НУКЛОН-2

НУКЛОН-2 – это планируемый спутниковый эксперимент для прямого изучения космических лучей и их изотопного и зарядового составов. Диапазон Z для задачи зарядового разрешения протягивается от углерода до границы стабильных ядер, а для задачи изотопного разрешения – от 6 до 66. Планируемое время экспозиции и геометрический фактор составляют 5 лет и $0.8 \text{ м}^2 \cdot \text{ср}$ соответственно.

Для разделения изотопов в эксперименте используется модифицированная методика $E-dE$. Эта методика основана на измерении полной энергии частицы E и ее линейных потерь энергии dE/dx в одном из детекторов системы. Произведения этих двух величин пропорционально массе частицы M и квадрату ее заряда Z^2 .

Научная аппаратура эксперимента планируется к установке в качестве дополнительной нагрузки на российский коммерческий спутник. Планируемая орбита – солнечно-синхронного типа с высотой 400–600 км и наклоном в 97° .

Предполагаемая компоновка эксперимента состоит из 48 идентичных независимых спектрометров тяжелых изотопов космических лучей (СТИКЛ). Принципы их функционирования,

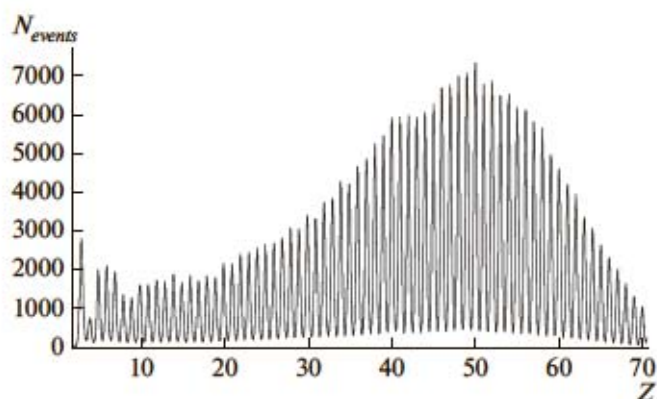


Рис. 1. Полученное заряженное разрешение на пучке фрагментированных ядер Pb при $A/Z = 2.2$.

управления и контроля максимально заимствованы из эксперимента НУКЛОН [2].

Каждый СТИКЛ состоит из 32 спаренных кремниевых калориметрических детекторов толщиной в 1 мм каждый и 8 трековых стриповых детекторов толщиной 300 мкм и имеет два симметричных входных окна с двух сторон. Масса и заряд частицы определяются через измерение потерь энергии частицей в каждом из детекторов вплоть до ее останки с соответствующим пиком Брэгга.

2. ПРОТОТИП ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проверки работоспособности аппаратуры и методов анализа был разработан прототип эксперимента НУКЛОН-2, состоящий из 13 миллиметровых и 18 300-микронных кремниевых детекторов. Устройство триггера прототипа позволяет настраивать его на регистрацию частиц, останавливающихся внутри калориметра и пролетающих его насквозь.

Прототип был протестирован на ускорителе SPS CERN на высокоэнергетическом (150 ГэВ/нуклон) фрагментированном пучке ядер с Z до 82 при различных соотношениях A/Z . Полученное зарядовое разрешение для $A/Z = 2.2$ представленное на рис. 1, составляет 0.17 зарядовых единиц вне зависимости от конкретного ядра и подтверждает работоспособность электроники прототипа и адекватный уровень ее шумов во всем планируемом диапазоне Z . Конкретное значение разрешения (0.17 зарядовых единиц) хорошо соответствует результатам, полученным для аналогичного эксперимента в Монте-Карло моделировании.

3. МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛЬ

Было также проведено Монте-Карло моделирование в программных пакетах FLUKA, GEANT3 и GEANT4 с упрощенной геометрией модели для проверки изотопного разрешения эксперимента, оптимизации его конструкции и получения допу-

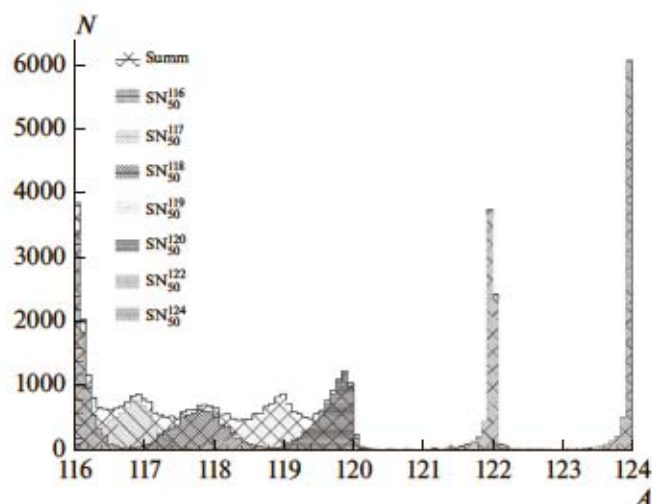


Рис. 2. Полученное изотопное разрешение для ядер олова в модели Монте-Карло.

стимого уровня шумов. Полученные данные были обработаны различными методами (нейронные сети и многомерный анализ, основанный на методе максимального правдоподобия). Было получено изотопное разрешение вплоть до $Z = 64$. Полученное разрешение для ядер олова показано на рис. 2. При обработке события с фрагментационными процессами считались фоновыми и фильтровались методами, схожими с методами обработки.

В моделировании было также показано, что при уровне приведенных шумов электроники ниже 5 МэВ сильное ухудшение изотопного разрешения не наблюдается. Важно отметить, что полученный в прототипе уровень шумов электроники ниже 1 МэВ, и тем самым подтверждается возможность разрешения изотопов во всем заявленном зарядовом диапазоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперимент НУКЛОН-2 – это планируемый спутниковый эксперимент по прямому изучению космических лучей и их изотопного и зарядового составов. Представленные результаты пучкового тестирования прототипа и Монте-Карло симуляции подтверждают работоспособность основных идей, заложенных в эксперимент. Эксперимент все еще находится в разработке и планируется к запуску в 2020–2022 годах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карманов Д.Е., Курганов А.А., Панасюк М.И. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 4. С. 436; *Karmanov D.E., Kurganov A.A., Panasyuk M.I. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* 2017. V. 81. № 4. P. 401.
2. *Atkin E., Bulatov V., Dorokhov V. et al. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. Sec. A.* 2015. V. 770. P. 189.