

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук Курганова Александра  
Андреевича на тему: «Методики регистрации сверхтяжелых ядер  
многоканальными системами кремниевых детекторов»  
по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц,  
физика высоких энергий**

Одной из фундаментальных проблем современных исследований является выяснение распространенности тяжелых и сверхтяжелых ядер в космическом пространстве и процессов их нуклеосинтеза. Если для ядер до железа ( $Z=26$ ) существуют данные об их распространенности, например, по измерениям эксперимента НУКЛОН, то для сверхтяжелых ядер ( $Z>26$ ) информация очень ограничена. Для продвижения исследований в область сверхтяжелых ядер планируется спутниковый эксперимент НУКЛОН-2. Детектор эксперимента представляет собой многоканальный спектрометр на основе кремниевых детекторов, задачей которого является идентификация электрического заряда ( $Z$ ) и атомного номера ( $A$ ) тяжелых и сверхтяжелых ядер, регистрируемых в космическом пространстве. Идея установки подобна реализованной ранее в эксперименте CRIS, где были получены первые данные для сверхтяжелых ядер по элементному составу с  $Z \leq 40$  и по изотопному составу до ядер с зарядом  $Z = 32$ . Статистика этих данных невелика и требует увеличения, а для более высоких  $Z$  просто отсутствует. Особенностью эксперимента НУКЛОН-2 является большой геометрический фактор прибора, в десятки раз превышающая геометрический фактор детектора CRIS.

Важным этапом создания установки является разработка методик регистрации сверхтяжелых ядер в кремниевом спектрометре НУКЛОН-2 с применением математической модели спектрометра. Созданию математической модели детектора, оптимизации параметров спектрометра и разработке методики измерения сверхтяжелых ядер в области сравнительно низких энергий (от 0,1 до 1-3 ГэВ), где работает методика измерения по

полной остановке ядер в детекторе, посвящена диссертация Александра Андреевича Курганова. Необходимость решения этих задач для проведения эксперимента НУКЛОН-2 определяет **актуальность темы диссертации.**

Выполненные в диссертации разработки математических моделей детекторов и создание методик обработки и анализа данных определяют **новизну выполненных работ и полученных результатов.** Представленные в работе методики не ограничиваются измерением останавливающихся в спектрометре ядер, но могут быть использованы для измерения пролетных ядер большей энергии. Эти результаты демонстрируют работоспособность рассмотренных в диссертации установок - спектрометра НУКЛОН-2 и детекторной части станции по облучению микросхем на ускорительном комплексе NICA ОИЯИ (ДЧС-NICA). Результаты для установки ДЧС-NICA имеют важное **практическое значение** для исследования радиационной стойкости больших микросхем, используемых в том числе при экспозиции в космическом пространстве.

**Достоверность** полученных в диссертации А.А. Курганова результатов определяется применением стандартного программного обеспечения при разработке математических моделей и разработке методик, включающим программные пакеты Geant4 и ROOT, использованием правильного теоретического описания ионизационных потерь тяжелых и сверхтяжелых ядер в веществе и проведением пучковых испытаний прототипа спектрометра НУКЛОН-2 и аппаратуры ДЧС-NICA.

**Положения диссертации,** вынесенные на защиту, определяют оптимальные параметры спектрометра НУКЛОН-2 для достижения необходимого изотопного разрешения спектрометра: толщину одного слоя детекторов величиной ~2 мм при величине допустимого шума электроники ~5 МэВ. Модельные величины разрешения при измерении изотопного состава ядер найдены в диапазоне от значения для ядра неона ( $Z=7$ ), равному 0,24 а.е.м., до значения для ядра диспрозия ( $Z=66$ ), равному 1,6 а.е.м., которые могут обеспечить выполнение поставленных перед НУКЛОН-2

задач. Найденные значения разрешений подтверждаются полученным экспериментально массовым разрешением для пучка ядер аргона ( $Z=18$ ), составившим 0,28 а.е.м.

Детальное моделирование и тестирование аппаратуры ДЧС-НИСА на ускорительных пучках позволило определить ожидаемую погрешность определения линейных потерь энергии (ЛПЭ) в исследуемых микросхемах, оказавшуюся не более 7%.

Применение проведенной системы коррекций относительного положения детекторов установки ДЧС-НИСА (юстировки детекторов) позволило определять пространственные координаты основных исследуемых элементов микросхем (ИМС) в закрытом объеме конструкций разного типа, содержащих такие микросхемы. Методу дано наименование «ядерной томографии».

**Обоснованность положений диссертации**, вынесенных на защиту, не вызывает сомнений, так как обеспечена надежным программным моделированием и проведением экспериментальных испытаний на ускоренных пучках ядер аргона и ксенона в ЦЕРН (Женева, Швейцария) и ОИЯИ (Дубна, Россия).

**Личный вклад** А.А. Курганова в получение представленных в диссертации результатов не вызывает сомнений.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Все основные результаты диссертации опубликованы.

В качестве **замечаний** можно отметить следующее.

- В автореферате на стр.17 указаны ссылки на рис. 10 и 11 вместо ссылок на рис.9 и 10.
- Неясно, каким методом получена оценка разрешения 1.6 а.е.м. для диспрозия, процедура не формализована.
- Рис.15а на стр.33 диссертации не соответствует подписи, сама подпись содержит опечатку.

- Для качества выделения сигнала ядра в работе используется параметр «чистота»  $S/(S+N)$ , где  $S$  – количество событий сигнала, а  $N$  – число фоновых событий. Статистически более обоснованным желательно использовать параметр значимости  $S/\sqrt{N}$ , имеющим ясный смысл и широко применяемый в физике высоких энергий.
- Экспериментальные данные в разделе 6.3 для изотопного разрешения ядер ксенона ( $Z=56$ ) представляют большой интерес, но требуют более полного статистического описания, определения формы измеряемого сигнала.
- Метод изложения в диссертации и автореферате использует стиль, близкий к разговорному, включает лишние слова, что иногда затрудняет уяснение смысла утверждений, в тексте присутствуют опечатки.

Приведенные замечания относятся в основном к форме представления результатов.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.15.- Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, а именно ее направлению - методы обработки и анализа экспериментальных данных в области физики атомных ядер и элементарных частиц и физики высоких энергий (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание

ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Александр Андреевич Курганов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 - Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,  
Профессор кафедры общей ядерной физики  
Физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова  
«Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский государственный  
университет имени М.В.Ломоносова»».

СМИРНОВА Лидия Николаевна

  
12.02.2024г.

Контактные данные:

тел.: +7(915)4804164, e-mail: [lns@physics.msu.ru](mailto:lns@physics.msu.ru); [Lidia.Smirnova@cern.ch](mailto:Lidia.Smirnova@cern.ch)  
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:  
01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, Физический  
факультет  
Тел.: +7 (495) 939-16-82  
e-mail: [info@physics.msu.ru](mailto:info@physics.msu.ru)

Подпись сотрудника физического факультета МГУ  
Л.Н. Смирновой удостоверяю:





