

## Рецензия на продление Проекта « Исследование барионной материи на Нуклотроне (BM@N)» на 2022-2026 гг

Основная цель представленного Проекта — исследование плотной ядерной материи при низких энергиях столкновения ядер (2-4 ГэВ/нуклон) вплоть до ядер золота.

Во Введении и 2-й главе предполагаемые исследования достаточно подробно обоснованы с точки зрения имеющихся на данный момент экспериментальных и теоретических результатов, полученных в рассматриваемой области энергий. В том числе планируется изучение характеристик образующихся странных мезонов и гиперонов, гиперядер и эллиптических потоков частиц. Нужно отметить, что в этих традиционных исследованиях представляемый эксперимент может дополнить ряд имеющихся результатов в области энергий 2-4 ГэВ/нуклон. Кроме того важным фактором является предполагаемое достижение частоты следования взаимодействий (interaction rate) значения 50 kHz, что вдвое больше полученной в этой области энергий в эксперименте STAR F.t. Значительно большее значение может быть достигнуто только на будущем ускорителе SIS100. В представляемом проекте важным аспектом является сравнение с теоретическими моделями и в частности возможное изучение уравнения состояния. В этом вопросе пока есть много неясных моментов с точки зрения фазовой диаграммы в области низких температур и больших барионных плотностей, где может проявляться дуализм плотной барионной и кварковой материй (quarkyonic matter). Здесь традиционно изучаются рождение гиперядер и гиперонов с повышенной странностью, при этом статистика последних по сравнению с ранее полученной заметно возрастёт из-за увеличения энергии Нуклотрона и повышенной частоты регистрируемых взаимодействий. Специально обсуждается связь этих результатов с теоретическими представлениями о состоянии материи нейтронных звёзд, где выбор уравнения состояния с включением гиперонной материи играет решающую роль, и некоторые теоретические противоречия обозначены как «загадка гиперонов» (hyperon puzzle). Здесь можно отметить, что в этом направлении в последние годы очень популярны исследования фемтоскопических корреляций пар различных гиперонов, позволяющих определить характер сил их взаимодействия (притяжения или отталкивания). Но такие исследования, проводимые при энергиях RHIC и особенно LHC, скорее всего не могут быть выполнены при низкой энергии Нуклотрона.

В 3-й главе подробно рассмотрены все компоненты экспериментальной установки, характеристики которой должны обеспечить возможность получения запланированных результатов. Эти характеристики обсуждаются в секции 3.1 и выбраны на основании опыта, полученного в разных экспериментах при изучении столкновений релятивистских тяжелых ионов. По такому же принципу определён набор различных детекторов в комбинации с оптимальным значением величины магнитного поля анализирующего магнита. Нужно отметить, что кроме уже проверенных и широко используемых технологий применяются также и самые современные, например детекторы GEM для центральной трековой системы. В комбинации этих детекторов с силиконовыми микростриповыми детекторами и катодными стриповыми камерами вся трековая система, по результатам МК моделирования позволяет достигнуть импульсного разрешения ( $\Delta p/p$ ) (1,6 – 1,2)% в диапазоне импульсов (0,5 — 4,0) ГэВ/с и при оптимальной величине магнитного поля 0,4 Т, что достаточно для решения запланированных исследований. Одна из главных характеристик установки — возможность идентификации заряженных частиц и легких ядер, обеспечивается время-пролётным детектором (TOF) на основе камер с набором резистивных пластин (multi-gap resistive plate chambers). Такая технология в настоящее время наиболее популярна, поскольку при умеренных затратах позволяет получить хорошее временное разрешение  $85 \div 120$  ps (в конфигурации установки BM@N совместно с детектором T0), что в свою очередь позволит обеспечить идентификацию пионов, каонов и протонов на уровне большей частью 3 сигма временного разрешения. Установку дополняют электромагнитный и адронный (с кварцевым годоскопом) калориметры соответственно для исследования процессов с участием

электронов и фотонов, и для определения центральности ядерных столкновений (учёта потерь тяжёлых фрагментов). Набор триггерных детекторов предполагает эффективный "on-line" отбор необходимых событий. Важным моментом эксперимента является проведение предварительных сеансов работы установки с неполным набором детекторов на пучках лёгких и средних ядер, в процессе которых были проверены характеристики целого ряда детекторов. Первые физические исследования рождения  $\Lambda$  гиперонов показали возможности установки близкие к расчётным и также хорошие результаты калибровок детекторов.

В рассмотренном проекте BM@N планируемые физические исследования представляются актуальными, и конфигурация экспериментальной установки адекватна поставленным задачам. Запрашиваемое финансирование соответствует указанным затратам.

Указанные в 4-й главе неопределённости и возможные причины задержки начала работы эксперимента в полном объёме можно рассматривать как объективные условия, которые относятся и к полному проекту NICA, в котором безусловно будет использоваться опыт эксперимента BM@N.

Рекомендую одобрить продление Проекта «Исследование барионной материи на Нуклотроне (BM@N)» на 2022-2026 гг с первым приоритетом в рамках запрашиваемых ресурсов.

Доктор физико-математических наук ,



/Б.В.Батюня/

22.03.2021