**Отзыв**

**Батюни Б.В. на работу:** «**Изучение процессов рождения адронов, образования ядер и гиперядер при столкновениях тяжёлых ионов в модели PHQMD и возможности их исследования на экспериментах ускорительного комплекса NICA**» **, представленную В.А.Киреевым в виде диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц.**

Указанная диссертационная работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И.Векслера и А.М.Балдина в период с 2012 по 2022 гг.

Работа посвящена теоретическому изучению процессов рождения адронов, ядер и гиперядер в плотной барионной материи, образованной при столкновении тяжёлых ионов в рамках генератора событий Parton-Hadron-Quantum-Molecular Dynamics (PHQMD) .

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена повышенным в последние годы интересом к экспериментальным и теоретическим изучениям динамики образования адронов, ядер и гиперядер при взаимодействиях тяжёлых ионов в области энергий будущего коллайдера NICA. Наибольший интерес представляет детальное теоретическое описание механизмов рождения ядер и гиперядер, поскольку здесь ещё достаточно надёжные модельные предсказания отсутствуют, хотя экспериментальные исследования для разных ядер и при разных энергиях (вплоть до энергий LHC) проводились не одно десятилетие, в том числе и в ОИЯИ. В представленной диссертации именно эта область исследования занимает значительную часть, и актуальность этой работы не вызывает сомнений.

Научная новизна и практическая значимость работы заключается в следующем:

Заслуживает внимания очень полная компиляция сравнения экспериментальных и теоретических данных для элементарных столкновений «p+p» в широком диапазоне энергий от 3 ГэВ до 7 ТэВ в системе центра масс сталкивающихся нуклонов. Развит и адаптирован к области энергий экспериментов на ускорительном комплексе NICA генератор событий PHQMD, в котором впервые в рамках этой модели реализован процесс динамического образования ядер и гиперядер. На основе детального Монте-Карло моделирования с использованием транспортного подхода PHQMD проведено исследование механизмов образования ядер и гиперядер в столкновениях тяжелых ионов в области энергий ускорителя NICA. Продемонстрированы зависимости выходов ядер от: энергии столкновения, атомного веса сталкивающихся ядер, прицельного параметра столкновения, уравнения состояния ядерной материи. С помощью генератора событий PHQMD проведено детальное моделирование столкновений ионов 209Bi с энергией в системе центра масс 9.2 ГэВ, даны оценки множественности рождения гиперядер для планируемого первого периода набора данных эксперимента NICA/MPD. Разработана новая универсальная библиотека поиска ядерных фрагментов psMST (Phase-space Minimum Spanning Tree), которая может быть применена совместно с различными генераторами событий. С применением библиотеки psMST впервые проведено исследование множественности рождения ядер и гиперядер в генераторах событий с различными реализациями ядерной динамики в области энергий коллайдера NICA. С помощью библиотеки psMST впервые в рамках одной кодовой базы проведено сравнение двух различных алгоритмов поиска ядер: коалесценции и MST с двумя транспортными моделями PHQMD и UrQMD.

Личный вклад соискателя:

* Соискатель принял непосредственное участие в реализации, тестировании и оптимизации транспортного подхода PHQMD для динамического описания рождения ядер и гиперядер. Личный вклад включал в себя создание комплекса программ для осуществления всех перечисленных выше этапов.
* Соискателем были проведены многочисленные перекрестные проверки, необходимые для согласованности и достоверности полученных результатов.
* Соискателем была разработана универсальная библиотека поиска ядер и гиперядер. Исследование различий в описаниях транспортных подходов и их влияния на динамику образования ядер выполнены исключительно соискателем.

В целом диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, содержащее новые, достоверные результаты, которые важны для понимания процессов образования адронов, ядер и гиперядер, рождающихся в столкновениях тяжелых ионов. Результаты опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и прошли апробацию на различных международных совещаниях и конференциях.

Диссертация «Изучение процессов рождения адронов, образования ядер и гиперядер при столкновениях тяжёлых ионов в модели PHQMD и возможности их исследования на экспериментах ускорительного комплекса NICA» Киреева Виктора Александровича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Доктор физико-математических наук /Б.В.Батюня/

22.04.2022