

МГУ имени М.В. Ломоносова

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.  
Скобельцына

№ госрегистрации  
115041510015

УТВЕРЖДАЮ  
Директор/декан

\_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

УДК  
539.142 Модели ядер  
539.141 Ядерные силы

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Ядерная физика  
по теме:

Фундаментальные и прикладные проблемы физики ядерных реакций  
(промежуточный)

Зам. директора/декана  
по научной работе

\_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

Руководитель темы  
Еременко Д.О.

\_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

Юминов О.А.

\_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы:

заведующий отделом, доктор физико-математических наук, доцент/с.н.с. по специальности, доцент/с.н.с. по специальности

\_\_\_\_\_ (Еременко Д.О.)

ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор по специальности

\_\_\_\_\_ (Юминов О.А.)

Исполнители темы:

старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, доцент/с.н.с. по специальности

\_\_\_\_\_ (Беспалова О.В.)

научный сотрудник

\_\_\_\_\_ (Востриков В.Г.)

старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук

\_\_\_\_\_ (Галанина Л.И.)

профессор, доктор физико-математических наук, доцент/с.н.с. по специальности

\_\_\_\_\_ (Гончаров С.А.)

старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук

\_\_\_\_\_ (Дроздов В.А.)

главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор по специальности

\_\_\_\_\_ (Зеленская Н.С.)

младший научный сотрудник

\_\_\_\_\_ (Климочкина А.А.)

ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор по специальности

\_\_\_\_\_ (Комаров В.В.)

ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук, доцент/с.н.с. по специальности

\_\_\_\_\_ (Лебедев В.М.)

научный сотрудник, кандидат физико-математических наук

\_\_\_\_\_ (Никитина Л.И.)

ведущий специалист

\_\_\_\_\_ (Орлова Н.В.)

ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук, доцент по кафедре

\_\_\_\_\_ (Платонов С.Ю.)

ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор по специальности

\_\_\_\_\_ (Попова А.М.)

научный сотрудник

\_\_\_\_\_ (Сажина И.П.)

ведущий специалист

\_\_\_\_\_ (Спасская Т.И.)

старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, доцент/с.н.с. по специальности

\_\_\_\_\_ (Спасский А.В.)

младший научный сотрудник, кандидат технических наук

\_\_\_\_\_ (Ткаченко Н.В.)

старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, доцент/с.н.с. по специальности

\_\_\_\_\_ (Фотина О.В.)

## РЕФЕРАТ

Ключевые слова:

оптическая модель, радиофармпрепараты, деление, дозы облучения, время жизни ядра

Ключевые слова по-английски:

fission, nuclear reactions, optical model, nucleus lifetime, radiation dose, radiopharmaceuticals

Отчет состоит из 1 части:

Реферат — стр. 4

Введение — стр. 7

Основная часть — стр. 9

Заключение — стр. 13

Список использованных источников — 23 ссылки — стр. 14

Приложение А. — Таблица А.1 — стр. 17

Приложение В. — Иллюстрации в формате pdf — 3 рисунка

Приложение С. — Текст содержания отчета в формате pdf

Цель НИР: развитие новых теоретических и экспериментальных подходов к изучению механизмов ядерных реакций и свойств образующихся в реакциях ядерных систем в области низких и средних энергий, а также новых подходов к решению прикладных задач, включая анализ свойств новых материалов и ядерную медицину.

Основные задачи пятого этапа НИР:

1) Провести оценки эволюции нейтронных одночастичных характеристик ядер с  $N = 20$  и протонных одночастичных характеристик ядер с  $Z = 50$  вплоть до границ нуклонной стабильности в дисперсионной оптической модели и выяснить предпосылки для формирования острова инверсии для изотонов с  $N = 20$  и сохранения магичности числа  $Z = 50$  вблизи этих границ.

2) В результате анализа имеющихся экспериментальных данных по средним спидам осколков вынужденного деления в рамках новой динамической модели получить информацию о деформационных зависимостях времени релаксации для tilting-моды и коэффициента затухания коллективного ядерного движения (ядерной вязкости).

3) В результате экспериментальных исследований получить новые данные об ориентационных характеристиках возбужденных состояний ядер  $^{14}\text{C}(3^-)$  и  $^{24}\text{Mg}(2^+)$ , а также об угловой зависимости дифференциального сечения реакции  $^{27}\text{Al}(\alpha, p)^{30}\text{Si}$  для основного и первого возбужденного состояний конечного ядра при энергии  $\alpha$ -частиц 30.3 МэВ. Выполнить теоретический анализ вклада механизма срыва тяжелого кластера в реакции  $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}$  для основного и первого возбужденного состояний конечного ядра при  $E_p = 7.4$  МэВ. В результате анализа рассеяния ионов гелия He-3,4 на ядре  $^9\text{Be}$  исследовать влияние различных конфигураций кластерной структуры ядра-мишени.

4) На основе теоретического анализа новых экспериментальных данных планируется получение качественно новой информации о распределении нейтронов в основном состоянии ядра  $^7\text{He}$ .

5) Продолжены исследования фармакокинетики и фармакодинамики радиофармпрепарата с радионуклидом  $^{211}\text{At}$  с целью создания альфа-

эмиттерных радиофармацевтических препаратов для тераностики онкологических и аутоимунных заболеваний щитовидной железы.

6) Провести исследования и получить данные о влиянии гипомагнитных условий на развитие эмбрионов японского перепела, а также на хромосомные нарушения семян салата, предварительно облученных тяжелыми ионами.

7) Планируется разработка и развитие новых методик анализа пористых и неоднородных структур гидридов и оксидов металлов на основе спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов.

8) Провести исследование временных параметров импульсов мощного рентгеновского излучения, получаемые в современных лазерах на свободных электронах, которые имеют стохастическую природу и различны по форме и длительности каждого импульса. Предполагается провести теоретические исследования возможности определения временных параметров импульсов методом стрикинга (развёртки) в линейно-поляризованном поле терагерцового излучения.

Основные полученные результаты пятого этапа НИР:

1) Получена новая актуальная информация об одночастичных характеристиках изотонов с числом нейтронов  $N = 20$  при приближении к границе нейтронной стабильности

Выполнен расчет протонных одночастичных свойств изотопов олова с  $A$  от 100 до 132 по дисперсионной оптической модели. Исследовалась возможность описания данных по зарядовым радиусам  $r_{ch}$ .

2) В рамках динамической модели проведен анализ экспериментальных данных по средним спином осколков деления для реакций  $^{12} + ^{232}Th$ ,  $^{12} + ^{209}Bi$  и  $^{160} + ^{209}Bi$ . Определены значения времени релаксации для tilting - моды и коэффициента вязкости. С этими параметрами исследовано влияние начальных распределений по компонентам полного углового момента составного ядра на спины осколков деления.

3) Измерены угловые зависимости дифференциального сечения реакции  $^{27}Al(\alpha, p)^{30}Si$  при энергии  $\alpha$ -частиц 30.3 МэВ с образованием конечного ядра в основном ( $0^+$ ) и первом возбужденном ( $2^+; 2.235$ ) состояниях.

4) Выполнена оценка радиуса распределения нейтронов в основном состоянии ядра  $^7He$

5) Проведены исследования зависимости фармакокинетики  $^{211}At$  в щитовидной железе от длительности безйодовой диеты.

6) Совместно с сотрудниками ГНЦ РФ - ИМБП РАН выполнены работы связанные с радиационной и гипомагнитной безопасностью дальних и длительных космических полетов. Получены новые данные о влиянии гипомагнитных условий на развитие эмбрионов японского перепела, а также на хромосомные нарушения семян салата, предварительно облученных тяжелыми ионами

7) Разработана методика, основанная на спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов, позволяющая определять концентрацию водорода при одновременном элементном анализе состава изделий на глубину до 100 мкм, что позволяет анализировать пригодность различных защитных покрытий для предотвращения гидрирования конструкционных материалов или выхода водорода из гидридов без разрушения образца во время анализа

8) На основе квантовомеханического описания фотоионизации атомов импульсами лазера на свободных электронах в присутствии терагерцового

электромагнитного поля, предложен простой метод восстановления формы импульса и его длительности, пригодный для on-line анализа каждого импульса в течении эксперимента.

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования ядерных реакций при низких и средних энергиях являются важным и перспективным направлением современной теоретической и экспериментальной физики. Они обеспечивают возможность получить новые знания о ядерной материи, свойствах разнообразных промежуточных ядерных систем, образующихся в ходе ядерных реакций, свойствах экзотических ядерных систем (сверхтяжелые ядра и ядра, удаленные от долины стабильности). Изучения этого круга вопросов представляется чрезвычайно важным для поиска ответа на целый ряд фундаментальных вопросов современной науки. Например, пределы существования ядерных структур, динамика протекания взрывного нуклиосинтеза и эволюции звезд, свойства предельно несимметричной нейтронной материи и многое др. Важную роль физика ядерных реакций играет в решении целого ряда прикладных задач в области ядерной энергетики, материаловедения и ядерной медицины.

Цель НИР: развитие новых теоретических подходов к изучению механизмов ядерных реакций при низких и средних энергиях, а также новых подходов к решению прикладных задач, включая анализ свойств новых материалов и ядерную медицину.

План работ пятого этапа НИР был следующим:

1) Получить результаты расчета эволюции нейтронных одночастичных характеристик ядер с  $N = 20$  и протонных одночастичных характеристик ядер с  $Z = 50$  вплоть до границ нуклонной стабильности в дисперсионной оптической модели и выяснить предпосылки для формирования острова инверсии изотонов с  $N = 20$  и сохранения магичности числа  $Z = 50$  вблизи этих границ.

2) В рамках разрабатываемой новой динамической модели исследовать влияние начальных распределений по компонентам полного углового момента составного ядра на спины осколков деления.

3) Выполнить экспериментальные исследования для получения новых данных об ориентационных характеристиках возбужденных состояний ядер  $^{14}\text{C}(3^-)$  и  $^{24}\text{Mg}(2^+)$ , а также об угловой зависимости дифференциального сечения реакции  $^{27}\text{Al}(\alpha, p)^{30}\text{Si}$  для основного и первого возбужденного состояний конечного ядра при энергии  $\alpha$ -частиц 30.3 МэВ. Выполнить теоретический анализ вклада механизма срыва тяжелого кластера в реакции  $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}$  для основного и первого возбужденного состояний конечного ядра при  $E_p = 7.4$  МэВ. В результате анализа рассеяния ионов гелия  $\text{He-3,4}$  на ядре  $^9\text{Be}$  исследовать влияние различных конфигураций кластерной структуры ядра-мишени.

4) На основе теоретического анализа новых экспериментальных данных по реакции  $^{11}\text{B}(^3\text{He}, d)^{12}\text{C}$  при энергии 25 МэВ получить информацию о свойствах ядра  $^{12}\text{C}$  в возбужденных состояниях непрерывного спектра по передаваемому протону в области энергий возбуждения 15-25 МэВ.

5) Планируется поиск новых перспективных химических носителей радионуклида  $^{211}\text{At}$  с целью создания альфа-эмиттерных радиофармацевтических препаратов для терапии онкологических и аутоиммунных заболеваний щитовидной железы.

6) Провести исследования и получить данные о влиянии гипомагнитных условий на развитие эмбрионов японского перепела, а также на хромосомные нарушения семян салата, предварительно облученных тяжелыми иона-

ми.

7) Планируется разработка и развитие новых методик анализа пористых и неоднородных структур гидридов и оксидов металлов на основе спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов.

8) Провести исследование временных параметров импульсов мощного рентгеновского излучения, получаемые в современных лазерах на свободных электронах, которые имеют стохастическую природу и различны по форме и длительности каждого импульса. Предполагается провести теоретические исследования возможности определения временных параметров импульсов методом стрикинга (развёртки) в линейно-поляризованном поле терагерцового излучения.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### I.

Получена новая актуальная информация об одночастичных характеристиках изотонов с числом нейтронов  $N = 20$  при приближении к границе нейтронной стабильности, вычисленных в рамках дисперсионной оптической модели. Расчет предсказывает смену последовательности уровней  $2p_{3/2}$  и  $1f_{7/2}$  в  $^{32}Mg$  ( $Z = 12$ ) и, как следствие, формирование частично-дырочной щели между уровнями  $1d_{3/2}$  и  $2p_{3/2}$  с одинаковым  $j$ , таким, что  $2j+1 = 4$  (рис 1). Этот результат находится в согласии с выводами недавних работ, связавших положение ядра  $^{32}Mg$  на границе острова инверсии с возрастанием вероятности переходов  $4p4h$ . Расчет эволюции одночастичных энергий изотонов с  $N = 20$  по дисперсионной оптической модели выполнен впервые[1].

Выполнен расчет протонных одночастичных свойств изотопов олова с  $A$  от 100 до 132 по дисперсионной оптической модели. Исследовалась возможность описания данных по зарядовым радиусам  $r_{ch}$ . Замедление роста  $r_{ch}$  с увеличением  $N$  при  $N > 76$  было получено за счет увеличения интервала энергий вблизи энергии Ферми, в котором мнимая часть близка к нулю. Продемонстрирована предсказательная возможность дисперсионной оптической модели в отношении распределения плотности ядер вдали от долины бета-стабильности[2].

### II.

В рамках динамической модели деления проведен анализ энергетических зависимостей средних спинов осколков деления, формирующихся в реакциях полного слияния  $^{12}C + ^{232}Th$ ,  $^{12}C + ^{209}Bi$  и  $^{16}O + ^{209}Bi$  при энергиях столкновений выше кулоновского барьера. Определены значения параметров динамической модели, обеспечивающие хорошее описание экспериментальных данных. С этими параметрами выполнен анализ динамики процесса формирования средних спинов осколков деления для реакций полного слияния  $^{12}C + ^{235,236}U$  и  $^{13}C + ^{235}U$  в широкой области энергий столкновения, включая подбарьерные энергии. Показано, что при подбарьерных энергиях столкновений существенное влияние на средние спины осколков деления оказывают начальные распределения составного ядра по величине проекции полного углового момента на ось пучка налетающих частиц[3].

### III.

Измерены угловые зависимости дифференциального сечения реакции  $^{27}Al(\alpha, p)^{30}Si$  при энергии  $\alpha$ -частиц 30.3 МэВ с образованием конечного ядра в основном ( $0^+$ ) и первом возбужденном ( $2^+; 2.235$ ) состояниях. Сравнение результатов эксперимента с расчетами показывает, что механизм срыва тритона в коллективной модели, реализованный в коде FRESKO с использованием рассчитанных в модели Нильссона спектроскопических амплитуд, в основном описывает форму угловых распределений протонов и абсолютные значения дифференциальных сечений. Вклад механизма образования составного ядра заметен только при больших углах вылета протонов (рис. 2).

Продолжены измерения двойных дифференциальных сечений реакции  $^{13}C(d, p\gamma)^{14}C(3^-, 6.73 \text{ МэВ})$  в четырех плоскостях регистрации  $\gamma$  квантов при энергии дейтронов 15.3 МэВ. Получены значения всех 16 четных по  $k$  компонентов  $A_k(\theta_p)$  спин-тензоров матрицы плотности ядра  $^{14}C$  в состоянии  $3^-$  (6.73 МэВ) для 6 углов вылета протонов в интервале от 20 до 140°. На их ос-

нове восстановлены различные ориентационные характеристики этого ядра. Экспериментальные результаты сравнены с рассчитанными в предположении различных механизмов реакции. Анализ показал, что основным механизмом реакции в области углов передней полусферы является срыв нейтрона. В области задних углов заметный вклад в сечение реакции дает и механизм образования составного ядра (рис. 3).

Продолжен анализ поляризационных характеристик ядра  $^{24}\text{Mg}$  в состоянии  $2^+$  (1.369 МэВ), образованного в экспериментально исследованной ранее при  $E_p = 7.4$  МэВ реакции  $^{27}\text{Al}(p, \alpha\gamma)^{24}\text{Mg}$ . В частности, восстановлена квадрупольная и гексадекапольная поляризация этого ядра. Определены основные механизмы реакции.

Проведен анализ данных по упругому и неупругому рассеянию  $\alpha$ -частиц и ионов  $^3\text{He}$  на ядре  $^9\text{Be}$ , полученных на циклотроне ИЯИ Алматы, Казахстан. Для расчетов использован метод связанных каналов (МСК), реализованный в коде FRESKO. Показано, что вклад модели ротатора доминирует во всем уловом диапазоне измеренных дифференциальных сечений. Механизм обмена тяжелым кластером увеличивает сечение при углах, больших  $150^\circ$ . Учет кластерной  $\alpha + ^5\text{He}$  структуры ядра  $^9\text{Be}$  в модели одночастичного возбуждения ядра мишени в целом улучшает описание угловых распределений, причем наблюдается как конструктивная, так и деструктивная интерференция обоих механизмов.

Выполнен цикл работ совместно с сотрудниками ИЯИ РАН по исследованию в области структуры малонуклонных систем в реакциях, вызываемых заряженными частицами [6-7, 9-17].

#### IV.

Выполнена оценка радиуса распределения нейтронов в основном состоянии ядра  $^7\text{He}$  на основе сравнения дифракционных составляющих дифференциальных сечений реакций перезарядки ( $t, ^3\text{He}$ ), измеренных на ядрах-мишенях  $^6\text{Li}$  и  $^7\text{Li}$ . Его величина оказалась примерно такой же, как у  $^6\text{He}$  и  $^8\text{He}$ . Полученный результат свидетельствует о существовании структуры в распределении нейтронов  $^7\text{He}$ , которая занимает промежуточное положение между нейтронным гало в  $^6\text{He}$  и нейтронной оболочкой в  $^8\text{He}$  [4,5].

#### V.

Зависимость фармакокинетики  $^{211}\text{At}$  в щитовидной железе от длительности безйодовой диеты исследовалась на четырех группах животных. Первая группа получала нормальное питание, вторая находилась на трехдневной, третья на 7-ми дневной и четвертая на 60-ти дневной безйодовой диете. Найдено, что  $^{211}\text{At}$  всегда тропен к щитовидной железе. Однако, чем больше была длительность безйодовой диеты, тем больше повышалась концентрация радионуклида  $^{211}\text{At}$  в щитовидной железе. Это свидетельствует о важности соблюдения длительной безйодовой диеты при лечении  $^{211}\text{At}$ . При этом продолжительность безйодовой диеты нуждается в более детальном изучении

#### VI.

Совместно с сотрудниками ГНЦ РФ - ИМБП РАН выполнен цикл работ, связанных с радиационной и гипомагнитной безопасностью дальних и длительных космических полетов. Получены новые данные о влиянии гипомагнитных условий на развитие эмбрионов японского перепела, а также на хромосомные нарушения семян салата, предварительно облученных тяжелыми ионами.

Вместе с сотрудниками кафедры биофизики биологического факультета МГУ выполнен цикл облучений на циклотроне НИИЯФ МГУ цианобактерий (*Synechocystis* sp. PCC6803)  $\alpha$ -частицами с энергией около 30 МэВ, по ионизирующей способности эквивалентными релятивистским ядрам космических лучей группы неона - кремния. Эти результаты вместе с результатами, полученными во время космического полета спутника Фотон-М4, проанализированы с целью определения влияния ионизирующего излучения на функциональную организацию фотосинтетического аппарата и первичные стадии фотосинтеза. Цианобактерии ответственны за производство кислорода на ранних этапах эволюции Земли, и, так называемую «кислородную катастрофу», которая определила образование озонового слоя и ионосферы, ограничив уровни ионизирующей радиации, достигающие нашей планеты. Показано, что фактическое существование и расщепление фикобилисом может играть определенную роль не только в фото-, но и в радиозащите, что могло иметь решающее значение для эволюции Жизни на Земле [8].

#### VII.

Разработана методика, основанная на спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов, позволяющая определять концентрацию водорода при одновременном элементном анализе состава изделий на глубину до 100 мкм, что позволяет анализировать пригодность различных защитных покрытий для предотвращения гидрирования конструкционных материалов или выхода водорода из гидридов без разрушения образца во время анализа [18-21].

#### VIII

Разработано теоретическое описание циркулярного стрикинга (развертки) Оже электронов, возбуждаемых импульсами лазера на свободных электронах, в терагерцовом электромагнитном поле. Рассмотрены различные варианты соотношения времени жизни распадающегося состояния атома и периода терагерцового поля. Предложен эксперимент по стрикингу одновременно фото и Оже-электронов, позволяющий измерять параметры импульса лазера и время распада Оже. [22]

На основе квантовомеханического описания фотоионизации атомов импульсами лазера на свободных электронах в присутствии терагерцового электромагнитного поля, предложен простой метод восстановления формы импульса и его длительности, пригодный для on-line анализа каждого импульса в течении эксперимента. [23]

#### IX

Изучены индукционные процессы в нанокластерах содержащих три органические нейтральные молекулы одна из которых имеет дипольный момент. Рассматривались нанокластеры различного состава и пространственной конфигурации. Получены аналитические выражения для расчётов величин индуцированных дипольных моментов молекул в указанных нанокластерах с целью определения электростатических полей и потенциалов и определения возможностей применения этих нанокластеров.

Предложен новый метод выделения радионуклида  $^{97}\text{Ru}$  из облученного альфа-частицами молибдена для потенциального применения в ядерной медицине.  $^{97}\text{Ru}$  без носителя отделяли от макроколичеств молибдена и трансуранических количеств технеция методом экстракционной хроматографии на коммерческом сорбенте DGAresin. Предпочтительно использовать для облучения обогащенные молибденовые мишени, что позволит избавиться от

долгоживущей примеси  $^{103}\text{Ru}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленные задачи пятого этапа НИР были успешно выполнены. Получены следующие основные результаты:

1)

Получена новая актуальная информация об одночастичных характеристиках изотонов с числом нейтронов  $N = 20$  при приближении к границе нейтронной стабильности

Выполнен расчет протонных одночастичных свойств изотопов олова с  $A$  от 100 до 132 по дисперсионной оптической модели. Исследовалась возможность описания данных по зарядовым радиусам  $r_{ch}$ .

2)

В рамках динамической модели проведен анализ экспериментальных данных по средним спинам осколков деления для реакций  $^{12} + ^{232}Th$ ,  $^{12} + ^{209}Bi$  и  $^{160} + ^{209}Bi$ . Определены значения времени релаксации для tilting - моды и коэффициента вязкости. С этими параметрами исследовано влияние начальных распределений по компонентам полного углового момента составного ядра на спины осколков деления.

3)

Измерены угловые зависимости дифференциального сечения реакции  $^{27}Al(\alpha, p)^{30}Si$  при энергии  $\alpha$ -частиц 30.3 МэВ с образованием конечного ядра в основном ( $0^+$ ) и первом возбужденном ( $2^+; 2.235$ ) состояниях.

4)

Выполнена оценка радиуса распределения нейтронов в основном состоянии ядра  $^7He$

5)

Проведены исследования зависимости фармакокинетики  $^{211}At$  в щитовидной железе от длительности безйодовой диеты.

6)

Совместно с сотрудниками ГНЦ РФ - ИМБП РАН выполнены работы, связанные с радиационной и гипомагнитной безопасностью дальних и длительных космических полетов. Получены новые данные о влиянии гипомагнитных условий на развитие эмбрионов японского перепела, а также на хромосомные нарушения семян салата, предварительно облученных тяжелыми ионами

Вместе с сотрудниками кафедры биофизики биологического факультета МГУ выполнен цикл облучений на циклотроне НИИЯФ МГУ цианобактерий (*Synechocystis* sp. PCC6803)  $\alpha$ -частицами с энергией около 30 МэВ, по ионизирующей способности эквивалентными релятивистским ядрам космических лучей группы неона - кремния. Показано, что фактическое существование и расщепление фикобилисом может играть определенную роль не только в фото-, но и в радиозащите, что могло иметь решающее значение для эволюции Жизни на Земле

7)

Разработана методика, основанная на спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов, позволяющая определять концентрацию водорода при одновременном элементном анализе состава изделий на глубину до 100 мкм, что позволяет анализировать пригодность различных защитных покрытий для предотвращения гидрирования конструкционных материалов или выхода водорода из гидридов без разрушения образца во время анализа

8)

На основе квантовомеханического описания фотоионизации атомов импульсами лазера на свободных электронах в присутствии терагерцового электромагнитного поля, предложен простой метод восстановления формы импульса и его длительности, пригодный для on-line анализа каждого импульса в течении эксперимента.

Список использованных источников

1. O.V. Bespalova, A.A. Klimochkina. Eur. Phys. J. A. 2019. 55: 212
2. О. В. Беспалова, А. А. Климочкина, Т. И. Спасская, ЯФ, т. 81, № 6 (2019).
3. Eremenko D.O., Denisova D.I., Drozdov V.A., Platonov S.Yu, Fotina O.V., Yuminov O.A. Effect of the Input Channel of Heavy-Ion Reactions on Fission-Fragment Spins. Physics of Atomic Nuclei, 2019. V. 82. No. 4. pp. 395-401
4. Chernyshev B. A., Demyanova A. S., Goncharov S.A., Gurov Yu.B., Lapushkin S.V., Ogloblin A.A., Sandukovsky V. G., Trzaska W.H.. The neutron structure of the ground state of  $^7\text{He}$ . Письма в ЖЭТФ, 2019, т.110, № 2, стр. 83 – 84 (Chernyshev B. A., Demyanova A. S., Goncharov S.A., Gurov Yu.B., Lapushkin S.V., Ogloblin A.A., Sandukovsky V. G., Trzaska W.H.. Neutron Structure of the Ground State of  $^7\text{He}$ . JETP Letters, 2019, Vol. 110, No. 2, pp. 97-101).
5. Гончаров С.А., Оглоблин А.А., Демьянова А.С., Данилов А.Н., Дмитриев С.В., Старостин В.И.. Анализ рассеяния  $\alpha + ^9\text{Be}$  с полумикроскопическим потенциалом. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2019. № 2. стр.44-49 (Goncharov S.A., Sukhorukov R.V., Ogloblin A.A., Demyanova A.S., Danilov A.N., Dmitriev S.V., Starostin V.I.. Analysis of  $\alpha + ^9\text{Be}$  Scattering with a Semimicroscopic Potential. Moscow University Physics Bulletin, 2019, Vol. 74, No. 2, pp. 137-143).
6. Галанина Л.И., Зеленская Н.С., Лебедев В.М., Орлова Н.В., Спасский А.В., Тюрин И.С. Поляризационные характеристики ядра  $^{24}\text{Mg}(2+)$ , образованного в реакции  $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}(2+)$ . Ядерная физика, 2019. Том 82, № 3, с. 218-227; Galanina L.I., Zelenskaya N.S., Lebedev V.M., Orlova N.V., Spassky A.V., Tiurin I.S. Polarization Features of the  $^{24}\text{Mg}(2+)$  Nucleus Produced in the Reaction  $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}(+)$ . Physics of Atomic Nuclei, 2019, том 82, № 3, с. 233-242.
7. Конобеевский Е.С., Афонин А.А., Зуев С.В., Каспаров А.А., Мицук В.В., Мордовской М.В., Лебедев В.М., Спасский А.В. Изучение кластерной структуры легких ядер в  $D-^9\text{Be}$ -взаимодействии Известия Российской академии наук. Серия физическая, 2019.Том 83, № 4, с. 482-486; Konobeevski E.S., Afonin A.A., Zuyev S.V., Kasparov A.A., Mitcuk V.V., Mordovskoy M.V., Lebedev V.M., Spassky A.V. Probing the Cluster Structure of a Light Nucleus with  $d^9\text{Be}$  Scattering. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2019, том 83, № 4, с. 433-437.
8. Klementiev Konstantin E., ..., Lebedev Victor M., Spassky Andrew V., ... Radioprotective role of cyanobacterial phycobilisomes Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics, издательство Elsevier BV (Netherlands), том 2019. 1860, № 2, с. 121-128.
9. Платова Н.Г., Лебедев В.М., Спасский А.В., Труханов К.А. Хромосомные aberrации в корневой меристеме проростков салата при облучении семян ускоренными ионами углерода и прорастании в гипомагнитных условиях. Авиакосмическая и экологическая медицина, 2019, том 53, № 4, с. 93-100.
10. Платова Н.Г., Лебедев В.М., Спасский А.В., Труханов К.А. Влияние гипомагнитных условий на прорастание семян салата и формирование хромо-

сомных нарушений в корневой меристеме (Стендовый доклад). Съезд ОФР, Физиология растений - основа создания растений будущего, Казань, 2019, Россия, 18-24 сентября 2019.

11. Зеленская Н.С. Study of the  $^{27}\text{Al}(\alpha, p)^{30}\text{Si}$  reaction mechanism at  $E_\alpha = 30.3$  MeV and the spectroscopic amplitudes in the desintegration vertex:  $^{28}\text{Si} - ^{27}\text{Al} + p$ ,  $^{30}\text{Si} - ^{27}\text{Al} + t$  (Приглашенный доклад).

12. Konobeevski E.S., Afonin A.A., Kasparov A.A., Lebedev V.M., Mitcuk V.V., Mordovskoy M.V., Spassky A.V., Zuyev S.V. A coincident  $^9\text{Be}(d, d'n)X$  experiment at deuteron energy of 15 MeV. в сборнике LXIX International conference "NUCLEUS-2019" on nuclear spectroscopy and nuclear structure, book of abstracts, Dubna, Russia, 1-5 July 2019, издательство ОИЯИ (Дубна), тезисы, с. 9.

13. A study of pp-correlations in  $d+1h \rightarrow p+p+n$  reaction Konobeevski E.S., Afonin A.A., Kasparov A.A., Lebedev V.M., Mitcuk V.V., Mordovskoy M.V., Spassky A.V., Zuyev S.V. в сборнике LXIX International conference "NUCLEUS-2019" on nuclear spectroscopy and nuclear structure, book of abstracts, book of abstracts, Dubna, Russia, 1-5 July 2019, издательство ОИЯИ (Дубна), тезисы, с. 375.

14. Galanina L.I., Zelenskaya N.S., Lebedev V.M., Orlova N.V., Spassky A.V., Tiurin I.S. Study of the  $^{27}\text{Al}(\alpha, p)^{30}\text{Si}$  reaction mechanism at  $E_\alpha = 30.3$  MeV. Сборник LXIX International conference "NUCLEUS-2019" on nuclear spectroscopy and nuclear structure, book of abstracts, book of abstracts, Dubna, Russia, 1-5 July 2019, издательство ОИЯИ (Дубна), тезисы, с. 296.

15. Lebedev V.M., Platova N.G., Spassky A.V., Trukhanov K.A., Zagirdinova E.F. Use of 120-cm cyclotron for the study of the accelerated deuterons and hypomagnetic environment combined effect on the lettuce seeds в сборнике LXIX International conference "NUCLEUS-2019" on nuclear spectroscopy and nuclear structure, book of abstracts, book of abstracts, Dubna, Russia, 1-5 July 2019, издательство ОИЯИ (Дубна), тезисы, с. 362-362.

16. Галанина Л.И., Зеленская Н.С., Лебедев В.М., Орлова Н.В., Спасский А.В., Алибаева А.Г. Анализ угловых t-гамма-корреляций в реакции  $^{27}\text{Al}(\alpha, t\gamma)^{28}\text{Si}(2+)$  ПРИ  $E_\alpha = 30.3$  МэВ в сборнике II International Scientific Forum, NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGIES ABSTRACTS, 12th International Conference "Nuclear and Radiation Physics, 10th Workshop «Asian Nuclear Reaction Database Development», 24-27 June, 2019, Almaty, Republic of Kazakhstan, место издания РГП «Институт ядерной физики» г. Алматы, институт ядерной физики, тезисы, с. 33-34.

17. Платова Н.Г., Лебедев В.М., Спасский А.В., Труханов К.А. Влияние гипомагнитных условий на прорастание семян салата и формирование хромосомных нарушений в корневой меристеме в сборнике IX Съезд общества физиологов растений России «Физиология растений - основа создания растений будущего» (Казань, 18-24 сентября 2019 г.): тезисы докладов, место издания Издательство Казанского университета Казань, тезисы, с. 351-351.

18. S. Savushkina, M. Polyansky, E. Vysotina, A. Ashmarin, N. Tkachenko Formation and investigation of nanocomposite gradient coating with upper layer of hafnia // в журнале Surface and Coatings Technology, издательство Elsevier BV (Netherlands), 2019, № 361, с. 212-221

19. Savushkina S.V., Ashmarin A.A., Borisov A.M., Vinogradov A.V., Tkachenko N.V., Vostrikov V.G., Zilova O.S. Investigation of zirconia plasma electrolytic oxidation coatings by nuclear backscattering spectrometry // в журнале Journal of Physics: Conference Series, издательство Institute of Physics (United Kingdom), 2019, том 1147, № conference 1

20. Востриков В.Г., Каменских А.И., Ткаченко Н.В. Исследование дисперсных и порошковых материалов с применением спектрометрии ядерного обратного рассеяния // XVI Международная научно-техническая конференция "Быстрозакаленные материалы и покрытия", Москва, Россия, 15-16 октября 2019

21. Ткаченко Н.В., Востриков В.Г., Каменских А.И. Разработка методик на основе спектрометрии ядерного обратного рассеяния для анализа водородосодержащих материалов // 49-я Международная Тулиновская конференция "Физика взаимодействия заряженных частиц с кристаллами", Москва, Россия, 28-30 мая 2019

22. Kazansky A.K., Sazhina I.P., Kabachnik N.M. Angular streaking of Auger-electrons by THz field в журнале Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, издательство Institute of Physics Publishing (United Kingdom), том 52, с. 045601-045607 (2019)

23. Kazansky A.K., Sazhina I.P., Kabachnik N.M. Fast retrieval of temporal characteristics of FEL pulses using streaking by THz field в журнале Optics Express, издательство Optical Society of America (United States), том 27, № 9, с. 12939-12944 (2019)

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
Объем финансирования темы в 2019 году  
Таблица А.1

Источник финанси- рования	Объем (руб.)	
	Получено	Освоено собственными силами
Денежные сред- ства в виде субси- дии на выполнение фундаментальных научных исследо- ваний в соответ- ствии с госзадани- ем МГУ, часть 2 (р. 01 10)	20 813 000,0	20 813 000,0