



200 лет назад наша страна одержала победу над Францией в Отечественной войне 1812 года. На защиту Родины встали все слои общества, яркими звездами засверкали полководческие таланты, геройски сражались солдаты и офицеры, развернулось массовое партизанское движение, оказавшее большую помощь армии. В результате разгрома наполеоновской армии, считавшейся до того непобедимой, не только была обеспечена государственная независимость России, но и коренным образом изменилось соотношение сил в Европе, что, несомненно, повлияло на дальнейший ход мировой истории.

Редакция осуществляет продажу отдельных номеров журнала и подписку на него

Адрес редакции: 119049, Москва, ГСП-1, Мароновский пер, 26. Тел./факс: 8-499-238-43-10 www.ras.ru

Издательство «Наука»: 117997, ГСП, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

ОАО «Типография «Новости», 105005, Москва, ул. Ф. Энгельса, 46

Свидетельство о регистрации № 014399 от 26.01.1996 г.

Подписано в печать 10.09.2012. Заказ № 1882

© Российская академия наук, Президиум, «Наука в России», 2012



СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ. ПОИСК. РЕШЕНИЯ

Шпак В. Плавкий предохранитель: история с продолжением..... 4

ТЕХНИКА XXI ВЕКА

Хализева М. Ловушка для кориума 14

С МЕСТА СОБЫТИЙ

Малыгина М. «Сухое» хранение отработанного ядерного топлива 19

ТОЧКА ЗРЕНИЯ

Курганова И., Кудеяров В. Экосистемы России и глобальный бюджет углерода..... 25

ИСТОРИЯ НАУКИ

Первооткрыватель космических ливней 33

Михайлин В. «Способности» релятивистского электрона 36

Варламов В., Ишханов Б., Недорезов В. Электромагнитные взаимодействия ядер..... 44

ЮБИЛЯРЫ

Авруцкая Т. «Жизнь я привык связывать с наукой» 54

Коллеги о Николае Ивановиче Вавилове 63

Ефанов В., Мартынов М., Пичхадзе К. Автоматические космические аппараты на службе науки..... 66

ГОД РОССИЙСКОЙ ИСТОРИИ

Перхавко В. Первый «Государь всея Руси» 74

Мезенцев Е. «Лев русской армии» 84

ПУТЕШЕСТВИЯ ПО МУЗЕЯМ

Писарева С. В диалоге со временем..... 97

ПАНОРАМА ПЕЧАТИ

Самолет-лаборатория «Оптик» 72

Высоты солнечно-земной физики 92

Притяжение Арктики..... 108

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДЕР

Доктора физико-математических наук
Владимир ВАРЛАМОВ, заведующий лабораторией
Научно-исследовательского института ядерной физики
им. Д.В. Скобельцына МГУ,
Борис ИШХАНОВ, заведующий кафедрой
общей ядерной физики физического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова,
Владимир НЕДОРЕЗОВ, заведующий лабораторией
Института ядерных исследований РАН

**Исследования по физике атомного ядра
и прежде всего электромагнитных взаимодействий ядер
связаны в нашей стране с именем академика Дмитрия Скобельцына.
Их основы были заложены в 1940 г., когда он организовал
первую в МГУ и в СССР экспериментальную кафедру физики
атомного ядра, и получили развитие в 1946 г.,
после создания по его инициативе Научно-исследовательского
института ядерной физики (НИИЯФ) МГУ.
В 1950-х годах новые возможности для изучения
электромагнитных взаимодействий ядер были созданы
в руководимом тогда Скобельцыным
Физическом институте АН (ФИАН) им. П.Н. Лебедева.
С начала 1960-х годов НИИЯФ и организованная на базе ФИАН
Лаборатория фотоядерных реакций (ЛФЯР)
Института ядерных исследований (ИЯИ) РАН вошли в число
мировых центров исследований
в области физики фотоядерных реакций.**



Ускорительный корпус
НИИЯФ МГУ
на Ленинских горах.

ДИПОЛЬНЫЙ ГИГАНТСКИЙ РЕЗОНАНС

Атомные ядра исследуют разными методами. Один из самых эффективных — с помощью бомбардировки гамма-квантами, т.е. фотонами высоких энергий, длина волны которых сравнима с размером ядра. Основное преимущество данного подхода в том, что свойства электромагнитного взаимодействия ядер хорошо изучены, поэтому достаточно просто разделить процессы поглощения фотонов атомным ядром и последующей динамики возбужденного ядра.

Начало исследований электромагнитных взаимодействий в НИИЯФе связано с вводом в строй в 1959 г. ускорителя электронов — бетатрона — на энергию 35 МэВ. В последующем десятилетии они были продолжены под руководством профессора Валериана Шевченко. В ЛФЯР исследованиями руководила доктор физико-математических наук Любовь Лазарева.

В 1945 г. физик-теоретик Аркадий Мигдал (академик с 1966 г.) предсказал, что при поглощении гамма-квантов ядром в нем под действием электромагнитного поля должны возникать когерентные* синхронные колебания определенной частоты (резонанс) всех протонов относительно всех нейтронов. Атомное ядро как бы уподобляется электрическому диполю, вследствие чего возникающий резонанс был назван дипольным гигантским резонансом (ДГР). После его открытия выявили — он характерен для всех атомных ядер. По поводу объяснения этого явления в последующие десятилетия шли активные научные дискуссии. Для описания природы ДГР в ядерной физике возникла принципиально новая концепция коллективных движений протон-нейтронной

среды (как известно, атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, вместе называемых нуклонами и подчиняющихся законам квантовой механики).

Однако уже к середине 1950-х годов стало ясно: на основе только такого подхода невозможно описать новые экспериментальные данные, указывавшие на существенную роль независимых движений нуклонов в ядре. Возникла оболочечная модель ядра, аналогичная модели атомных оболочек, т.е. в едином потенциале притяжения между всеми нуклонами независимые протоны и нейтроны находятся в определенных энергетических состояниях — на соответствующих ядерных оболочках. Низшие по энергии оболочки, в которых частицы связаны наиболее сильно, называются внутренними. А вот на внешних нуклоны связаны гораздо слабее.

В соответствии с принципом Паули*, распространяющемся на все частицы с полуцелым спином**, протоны и нейтроны ядра в основном состоянии занимают низшие энергетические уровни. Поскольку в оболочечной модели эти частицы находятся в различных энергетических состояниях, поглощение ядром гамма-кванта должно приводить к возникновению промежуточной структуры ДГР.

Большую роль в развитии этих новых представлений об атомном ядре сыграло открытие в НИИЯФе промежуточной структуры ДГР в средних и тяжелых

* Принцип Паули — один из основных в квантовой физике, он объясняет порядок заполнения оболочек в атоме электронами, а также оболочек в ядре протонами и нейтронами; сформулирован в 1925 г. швейцарским физиком-теоретиком Вольфгангом Паули (прим. авт.).

** Спин — собственный момент количества движения микрочастицы, являющийся аналогом классического вращения тела вокруг внутренней оси; может принимать целые или полуцелые значения (в единицах постоянной Планка) (прим. ред.).

* Когерентность — согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов (прим. ред.).



**Лаборатория фотоядерных реакций
ИЯИ РАН.**

ядрах. Оно стало результатом существенного улучшения научного инструментария — реализации «многоканального» метода измерения сечения* фотоядерной реакции, в основе которого — быстрое (с частотой 50 Гц) циклическое изменение энергии гамма-излучения. Метод позволял одновременно проводить такие измерения при 512 значениях энергии фотонов и практически исключал погрешности регистрирующей аппаратуры. Это повысило точность измерений характеристик фотоядерных реакций до рекордного значения 0,1%, что не удавалось получить прежде. Кроме того, был создан высокоэффективный детектор нейтронов, в котором их регистрировали с помощью 80 счетчиков. По своей эффективности (45%) он превосходил все аналоги, использовавшиеся в экспериментах с гамма-квантами. Под руководством математика академика Андрея Тихонова в 1960-1970-х годах были разработаны специальные методы анализа фотоядерных данных, в настоящее время активно используемые в различных лабораториях мира. Усовершенствование методов получения, обработки и анализа данных для большого (около 40) числа ядер в широком диапазоне массовых чисел** ($A = 9-208$) позволило впервые обнаружить промежуточную структуру ДГР.

Классическими стали основополагающие работы по фотоядерным реакциям, выполненные в ЛФЯР в 1955-1980-х гг. Предложенный тогда Любовью Лазаревой метод измерения сечения полного фотопоглощения широко используется в ведущих научных центрах мира. Для проведения этих измерений в той же лаборатории создали 9-канальный магнитный парный спектрометр гамма-квантов; в нем впервые

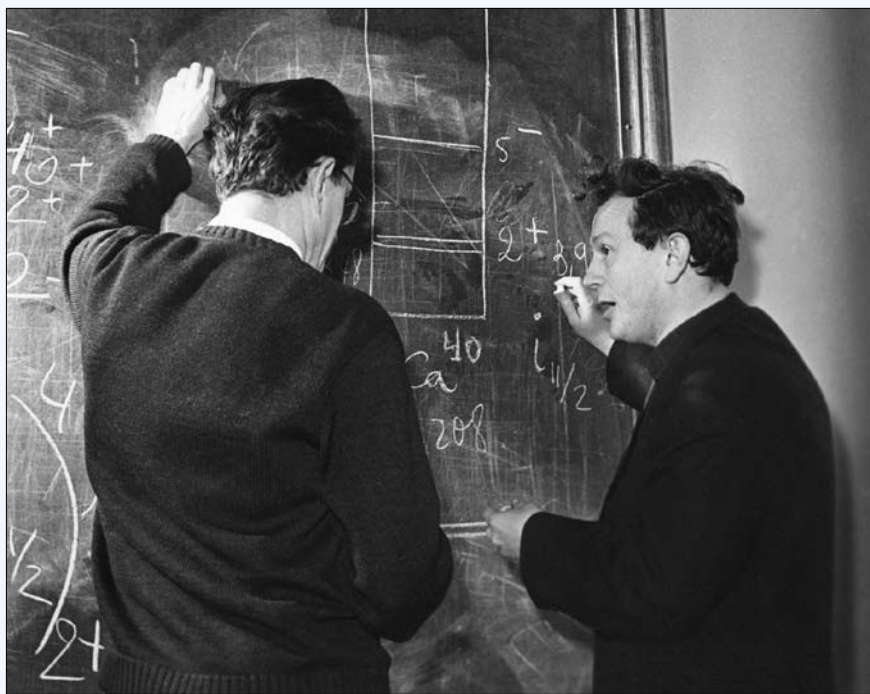
применили метод цифрового кодирования информации. Также впервые было показано влияние оболочечных эффектов на форму и расщепление ДГР для большой группы легких ядер. В частности, сечение полного фотопоглощения для ядра изотопа кислорода ^{16}O , измеренное в ЛФЯР, можно встретить во многих российских и зарубежных монографиях и учебниках.

Поглощение гамма-квантов ядром приводит к возбуждению в нем ДГР, затем распадающегося с испусканием нейтронов и протонов в легких ядрах и нескольких нейтронов — в тяжелых. Для объяснения природы ДГР в НИИЯФе в 1970–1975-х гг. предложен принципиально новый метод его изучения — на основе анализа возбужденных состояний ядер, образующихся в фотоядерных реакциях. Впервые были определены сечения примерно 300 из них ($A=11-60$). Анализ этих экспериментальных данных позволил совершить качественный скачок в понимании физики изучаемого явления. Получена информация о том, как происходит перераспределение энергии, внесенной в ядро гамма-квантом, между нуклонами. Была определена вероятность прямого механизма распада ДГР, при котором энергия налетающего гамма-кванта передается непосредственно одному из вылетающих из ядра нуклонов: на долю такого механизма в среднем в реакции гамма-квант–протон приходится 50% сечения, а в реакции гамма-квант–нейтрон — 60%. Доказано, что с увеличением энергии возбуждения и массового числа ядра вероятность прямого распада ДГР уменьшается от 100% для $A=12$ до 50% для $A=40$, тогда как для ядер с $A>100$ доминирует распад через стадию составного ядра, образующегося в том случае, когда энергия налетающего гамма-кванта перераспределяется между большим числом нуклонов ядра.

Установлено также, что промежуточная структура ДГР связана с конфигурационным расщеплением —

*Сечение ядерной реакции — величина, характеризующая вероятность ее протекания; измеряется в см^2 или в барнах ($1\text{барн} = 10^{-24}\text{см}^2$) (прим. авт.).

**Массовое число (A) выражается суммой чисел протонов (Z) и нейтронов (N) в ядре (прим. авт.).



Доктор физико-математических наук
Любовь Лазарева.

Профессора Владимир Неудачин
и Валериан Шевченко.

разделением по энергии переходов нуклонов из внутренних и внешних оболочек ядра. Выполненные в 1980–2000-х годах физиками Австралии, Бельгии, США, Швейцарии и Японии эксперименты, в которых ядра возбуждались различными налетающими частицами, показали: открытая в пионерских исследованиях сотрудниками НИИЯФа и ЛФЯР ИЯИ указанная выше закономерность имеет универсальный характер. Она проявляется в реакциях под действием не только гамма-квантов, но и других частиц. Концепция конфигурационного расщепления позволила понять «отклик» легких ядер на действие различных внешних полей.

Открытые закономерности требовали новых теоретических подходов, чему Д. Скобельцын всегда уделял большое внимание. Работы теоретиков НИИЯФа и ЛФЯР ИЯИ по микроскопическому описанию ДГР способствовали достижению прогресса в экспериментальных исследованиях. Была показана важность учета оболочечной структуры ядра при описании ширины ДГР, выяснена роль одночастичных состояний (связанных с переходами одного нуклона между оболочками) в процессах формирования коллективных возбуждений в ядрах.

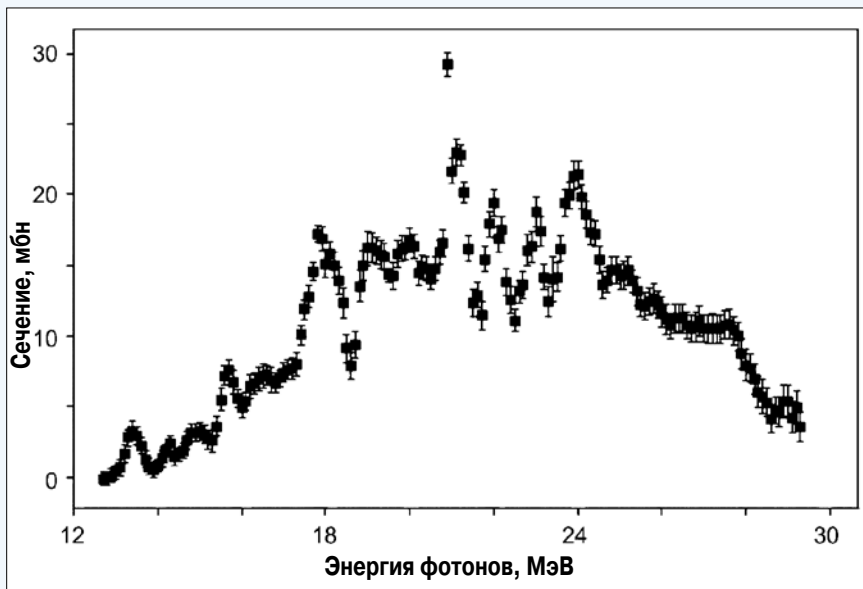
Большой вклад в теоретические исследования фотоядерных реакций внес профессор Рудольф Эрамжян, работавший в ЛФЯР ИЯИ в 1980–1990-х годах. С его участием были сформулированы основные положения концепции конфигурационного расщепления ДГР. В совместных работах сотрудников НИИЯФа и ЛФЯР ИЯИ по фоторасщеплению изотопов ${}^6,7\text{Li}$ эти положения подтвердились. Отметим также, что помимо изучения этих проблем Эрамжян совместно с российскими и зарубежными коллегами активно

участвовал в развитии нескольких научных направлений физики ядра и элементарных частиц.

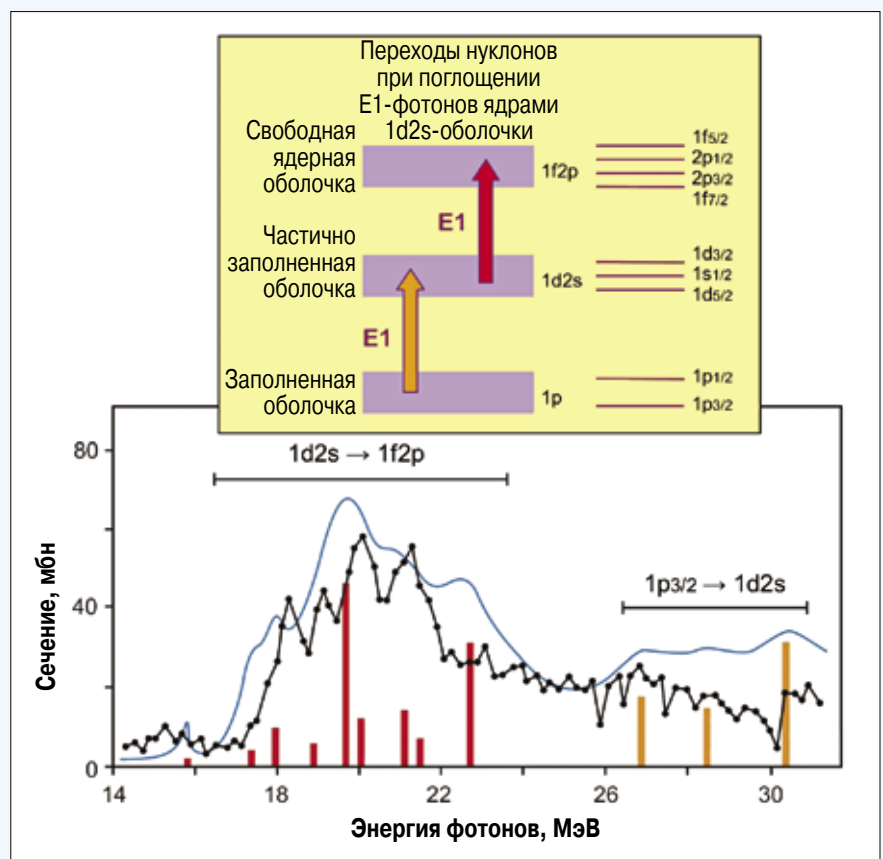
В 1987 г. Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий внес в соответствующий реестр под № 342 открытие «Закономерность конфигурационного расщепления гигантского дипольного резонанса у легких атомных ядер» (авторы — сотрудники НИИЯФа и ЛФЯР ИЯИ: профессора Борис Ишханов, Игорь Капитонов, Владимир Неудачин, Валериан Шевченко, Николай Юдин, Рудольф Эрамжян).

До сих пор мы ограничивались рассмотрением ДГР в сферических ядрах, т.е. по форме близких к сфере. Но изучение ряда реакций под действием гамма-квантов привело к неожиданному результату: оказалось, что большинство ядер деформированы, имеют форму вытянутого или сплюснутого эллипсоида. Было показано, что отражением сферической симметрии формы ядра является проявление ДГР в виде одного максимума, а наиболее яркий эффект в несферических ядрах, имеющих форму эллипсоида, — расщепление дипольного гигантского резонанса на два максимума, соответствующие колебаниям ядерного вещества под действием электромагнитного поля вдоль большой и малой осей эллипсоидального ядра. В ядрах ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{235}\text{U}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{239}\text{Pu}$ при числе протонов ~ 90 был обнаружен переход от сферической к сильно деформированной форме ядер. Эта уникальная информация была получена в проведенных в ЛФЯР ИЯИ пионерских исследованиях реакций деления урана и тория.

Изучение фотоядерных реакций на тяжелых ядрах принесло еще одну загадку. Максимумы сечений реакций с вылетом из ядра протонов, оказалось,



Промежуточная структура ДГР ядра ^{90}Zr .



Конфигурационное расщепление ДГР ядра ^{28}Si .

сдвинуты к большим энергиям относительно максимумов сечений реакций с вылетом нейтронов, а выход протонов из тяжелых ядер с $A > 100$ оказался на 2–3 порядка большим, чем предсказывала теория. Сравнение выходов протонов и нейтронов послужило первоначальным толчком к возникновению идеи изотопической инвариантности — независимости

ядерных взаимодействий от электрического заряда частиц.

СИЛЬНЫЕ И СЛАБЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НУКЛОНОВ В ЯДРЕ

Напомним, до открытия атомного ядра было известно о двух типах взаимодействий: гравитационном,

**Изменение формы и ширины ДГР
в зависимости от деформации ядра.**

описывающем взаимное притяжение массивных тел — движение планет Солнечной системы, падение предметов на поверхность Земли под действием силы тяжести и т.п., и электромагнитном, когда речь идет о движении заряженных тел, магнитов. В отличие от гравитационного, всегда приводящего к взаимному притяжению тел, электромагнитное взаимодействие ведет как к притяжению, так и к отталкиванию.

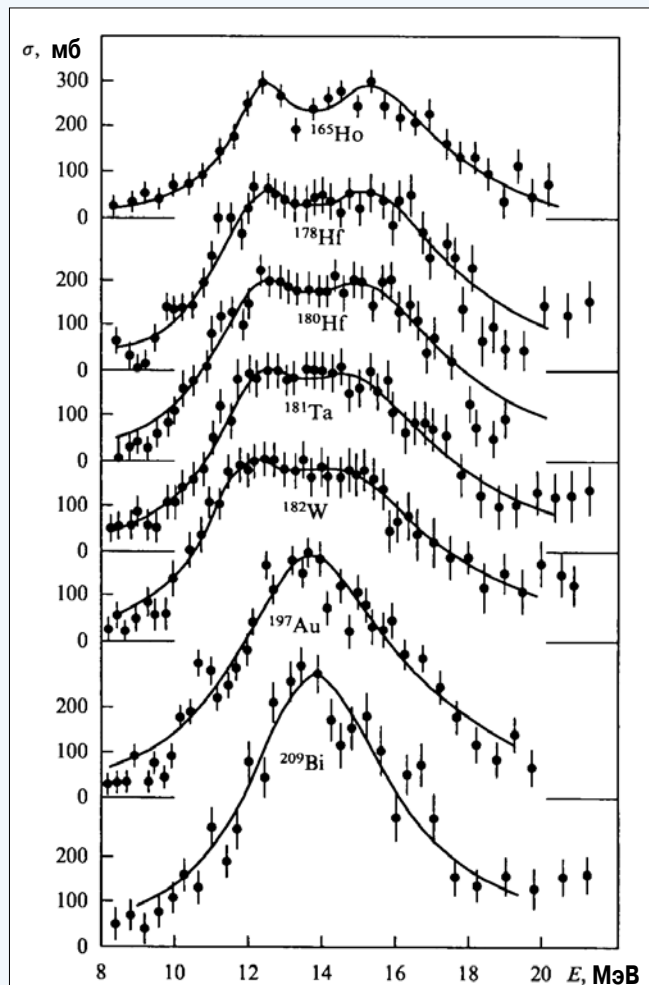
После открытия атомного ядра, состоящего из положительно заряженных протонов и имеющих нулевой электрический заряд нейтронов, стало ясно: ни то, ни другое взаимодействие не могут связать их в атомное ядро. Первое — из-за малости масс протонов и нейтронов, второе — из-за нулевого электрического заряда нейтрона. Оказалось, что эти частицы связаны в ядре за счет взаимодействия ранее неизвестного типа, названного сильным, которое в 100 раз сильнее электромагнитного. Сильное взаимодействие проявляется на расстоянии лишь $\sim 10^{-13}$ см, но этого достаточно для того, чтобы связать протоны и нейтроны, ибо характерные масштабы атомных ядер имеют такие же величины.

У протона и нейтрона много одинаковых характеристик, в том числе — равные спины и почти одинаковые массы. Однако первый в отличие от второго положительно заряжен. Поэтому с точки зрения атомной физики, в которой электрические силы доминируют, различие между данными частицами — колоссальное. Если добавление к ядру лишнего нейтрона превращает атом в другой изотоп того же элемента, обладающий практически теми же химическими свойствами, то добавление протона к ядру увеличивает на единицу его атомный номер, приводя к образованию нового химического элемента, обладающего фундаментальным образом измененными свойствами.

Подчеркнем, в ядерной физике электрические силы — не главные, они уступают первенство короткодействующим, но гораздо более интенсивным ядерным силам. Оказывается, по отношению к ядерным взаимодействиям протон и нейтрон ведут себя совершенно одинаково. Это дает основание считать их не разными частицами, а двумя зарядовыми состояниями проекциями в зарядовом пространстве квантового числа* изоспина**, характеризующего свойство зарядовой симметрии сильных взаимодействий. Обнаружение расщепления ДГР, названного изоспиновым, позволило существенно продвинуться в интерпретации большой ширины ДГР, которую не

* В квантовой физике состояние частицы описывается набором квантовых чисел, определяющих все возможные значения физической величины, характеризующей различные связанные квантовые системы — атомы и атомные ядра (прим. авт.).

** Изоспин — одна из квантовых характеристик, определяющих зарядовое состояние сильновзаимодействующих частиц (прим. авт.).

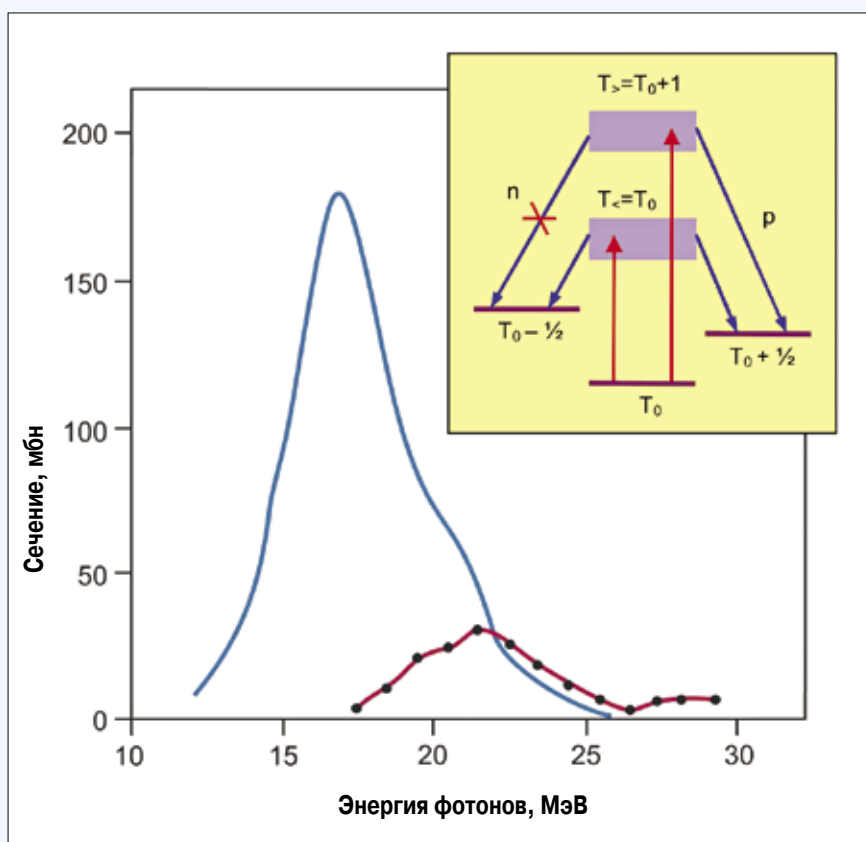


удавалось объяснить в рамках существовавших теоретических моделей.

Дальнейшее изучение свойств атомных ядер привело к открытию еще одного типа взаимодействия — слабого, проявляющегося на расстояниях $\sim 10^{-16}$ см. Свободный протон, не связанный силами, действующими внутри ядра, является стабильной частицей. Свободный нейтрон нестабилен (его период полураспада — время, в течение которого распадается половина первоначального количества частиц, — 10,23 мин). Однако в результате сильного и слабого взаимодействий внутри ядра свойства протона и нейтрона изменяются. Первый может вести себя в нем как стабильная частица или распадаться, превращаясь в нейтрон, позитрон и нейтрино. Аналогично ведет себя в ядре и нейтрон.

Сильное и слабое взаимодействия нуклонов проявляются в явлении, которого нет в классической физике — радиоактивности: превращению одних ядер в другие.

Постановка новых экспериментов сопровождалась постоянным совершенствованием методики их проведения и созданием новых методов ускорения частиц. В настоящее время в НИИЯФе действуют три



Изоспиновое расщепление ДГР ядра ^{90}Zr
 (линия — реакция: гамма-квант, нейтрон;
 точки — реакция: гамма-квант, протон).

разрезных микротрона* на энергии 35, 55 и 75 МэВ, построенные специалистами Национального исследовательского ядерного университета, ФИАНа, Института теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова, Московского физико-технического института, Саратовского государственного университета. Эти установки открыли принципиально новые возможности для экспериментов.

Механизм взаимодействия фотона с ядром существенно изменяется в зависимости от энергии первого. Если в области энергий до ~20 МэВ он взаимодействует с ядром как с целым объектом, то при больших энергиях — с отдельными системами, составленными из небольшого числа нуклонов. В итоге фотон вносит в ядро большую энергию и малый импульс. Поэтому, когда его энергия ~20 МэВ, ее доля, переданная отдельному нуклону, компенсируется за счет взаимодействия последнего с другими нуклонами ядра.

При взаимодействии фотонов с энергией 50–70 МэВ с ядрами поглощенная энергия высвобождается испусканием нескольких частиц, что приводит к образованию радиоактивных ядер. Для исследования последних разработан метод регистрации радиоактивности, образующейся в облученной фотонами мишени. В результате были получены изотопы, возникающие после вылета из исходного ядра до 6–7

нейтронов. Эти опыты показали, как изменяются свойства ядер в зависимости от соотношения в них чисел протонов и нейтронов.

Увеличение энергии фотона, соответствующее уменьшению его длины волны, приводит к тому, что во взаимодействиях начинают участвовать в основном пары близко расположенных нейтронов и протонов. В НИИЯФе было установлено: соответствующий этому явлению квазидейтронный механизм играет существенную роль в области энергий фотонов 30–70 МэВ.

ЯДРО — ГАЗ, ЖИДКОСТЬ, ПЛАЗМА?

Изучение взаимодействий гамма-кванта с атомным ядром показало: оно представляет собой уникальный физический объект, обладающий рядом взаимоисключающих свойств. На что же похоже атомное ядро?

Одно из основных его свойств — существование в нем движения независимых (слабо взаимодействующих) нуклонов. Из этого следует, что оно похоже на вырожденный ферми-газ, т. е. на плотный идеальный газ, состоящий из частиц, подчиняющихся принципу Паули. Однако эта аналогия ограничена, ибо ядро имеет конечный размер и почти постоянную плотность, а не стремится занять максимальный объем, что свойственно газу. Иначе говоря, оно «держит» само себя, сохраняя свой объем. Постоянная плотность ядерной материи делает ядро похожим на каплю жидкости, которую из-за проявления кванто-

* Разрезной микротрон — современный ускоритель электронов, в котором объединены многие свойства классического циклического микротрона и линейного ускорителя (прим. авт.).



Участники международного Семинара по электромагнитным взаимодействиям «EMIN-2009» в ЛФЯР ИЯИ.

вых свойств называют ферми-жидкостью. По аналогии с обычной жидкостью ядро должно иметь сферическую форму. Поэтому существование таких ядер, форма которых в равновесном состоянии сферическая, — сильный аргумент в пользу схожести атомного ядра и жидкой капли. В то же время присутст-

вие в природе деформированных атомных ядер сближает их с твердым телом. Однако эта схожесть также весьма приближительна из-за наличия в ядре независимых движений отдельных протонов и нейтронов, свойственных атомам в газе, а не в твердом теле.



Участники совещания Сети центров ядерных данных МАГАТЭ в НИИЯФе МГУ. 2008 г.

Существование коллективных возбужденных состояний усиливает схожесть ядра с газом (звуковые волны), твердым телом (квазичастицы-фононы) и с плазмой (квазичастицы-плазмоны). Но его схожесть с плазмой, в которой основную роль играют дальнедействующие кулоновские (их еще называют электростатическими) силы, также весьма ограничена, ибо в атомном ядре наряду с дальнедействующим кулоновским взаимодействием между протонами основную роль играет короткодействующее ядерное взаимодействие между нуклонами. Таким образом, по всей совокупности свойств ядерная материя является новым, не встречающимся в окружающем нас «макроскопическом» мире состоянием вещества с уникальными свойствами. Их многообразие породило модели, отражающие различные свойства симметрии атомных ядер.

При увеличении энергии ($E > 100$ МэВ) фотона его длина волны становится сравнимой с размером нуклона (10^{-13} см), что открывает новые возможности изучения внутренней структуры протона и нейтрона. Поглощение последними гамма-квантов приводит к образованию возбужденных состояний нуклона, проявляющихся как резонансы в сечении поглощения фотонов в области энергий $E > 300$ МэВ (нуклонные резонансы). При этом может происходить перестройка кварков* внутри нуклона, изменение их орбитальных моментов. В частности, изменение направления спина одного из кварков в протоне приводит к образованию дельта-резонанса, распадающегося затем с испусканием пионов (пи-мезонов) — легких частиц с массой ~ 140 МэВ/ c^2 .

Внутреннюю структуру протона и нейтрона изучают на специально построенных ускорителях высоких энергий. Эксперименты такого типа дорогостоящи и трудоемки, поэтому они обычно выполняются совместными усилиями ученых нескольких стран в различных коллаборациях. Физики НИИЯФа и ЛФЯР участвуют во многих из них, в частности, на ускорителях JLAB (США), MAMI (Германия), ESRF (Франция) и др. Полученные при этом данные свидетельствуют о том, что протон и нейтрон имеют сложную внутреннюю структуру. Поскольку их радиусы равны $\sim 0,8 \times 10^{-13}$ см, энергии современных ускорителей ($\sim 5-10$ ГэВ) позволяют наблюдать отдельные составные части нуклонов. Прежде всего, это — три валентных кварка, окруженных глюонами, обеспечивающими сильное взаимодействие кварков. Глюоны непрерывно рождают новые кварк-антикварковые пары, которые затем снова превращаются в глюоны.

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные и теоретические исследования фоторасщепления атомных ядер, выполненные в НИИЯФе, ЛФЯР ИЯИ, а также в ряде других инсти-

тутов, потребовали интенсивной компьютерной обработки данных. В этой связи сотрудники НИИЯФа, Научно-исследовательского вычислительного центра и факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова активно создают уникальные программные комплексы. Эти работы, развернутые в середине 1970-х годов при активном содействии ректоров МГУ академиков Рэма Хохлова и Анатолия Логунова, поддерживаются нынешним ректором академиком Виктором Садовничим. В НИИЯФе в конце 1970-х годов был организован Центр данных фотоядерных экспериментов, ориентированный на сбор, систематизацию, анализ и информирование специалистов о свойствах атомных ядер и характеристиках ядерных реакций. Он участвует в международной Сети центров ядерных данных, функционирующей под эгидой МАГАТЭ, и внес определяющий вклад в распространение соответствующих данных, полученных мировым сообществом. Они доступны пользователям Интернета (<http://cdfc.sinp.msu.ru>) и широко используются в научных исследованиях и учебном процессе.

За последние годы тематика исследований по физике электромагнитных взаимодействий ядер существенно расширилась, появились новые направления. Среди них следует отметить изучение спиновых структурных функций легчайших ядер, нуклонов и вновь открытых элементарных частиц. Изучаются также нелинейные эффекты квантовой электродинамики при взаимодействии интенсивных электромагнитных полей с веществом на пучках релятивистских ионов, электронов и фемтосекундных тераваттных лазеров. Координацию этих работ осуществляет Научный совет по электромагнитным взаимодействиям ядер РАН. Авторитет российских ученых, активно участвующих в различных международных программах, находит свое отражение в международных Семинарах по электромагнитным взаимодействиям, раз в 3 года организуемых совместно ЛФЯР ИЯИ и МГУ.

В заключение отметим: исследования, о которых говорилось выше, послужили основой для поиска в области более высоких энергий, в которой на первый план выходят особенности структуры нуклонов, входящих в состав ядра, свойства элементарных частиц, фундаментальные вопросы этого раздела физики. Полученные результаты многолетних исследований электромагнитных взаимодействий ядер привели к пересмотру многих представлений о строении атомного ядра и во многом способствовали формированию современной физической картины микромира.

* Кварки — фундаментальные частицы, из которых состоят сильно-взаимодействующие частицы; в свободном состоянии не наблюдаются; внутри протона и нейтрона кварки связаны с помощью глюонов — частиц, переносящих сильное взаимодействие (*прим. авт.*).