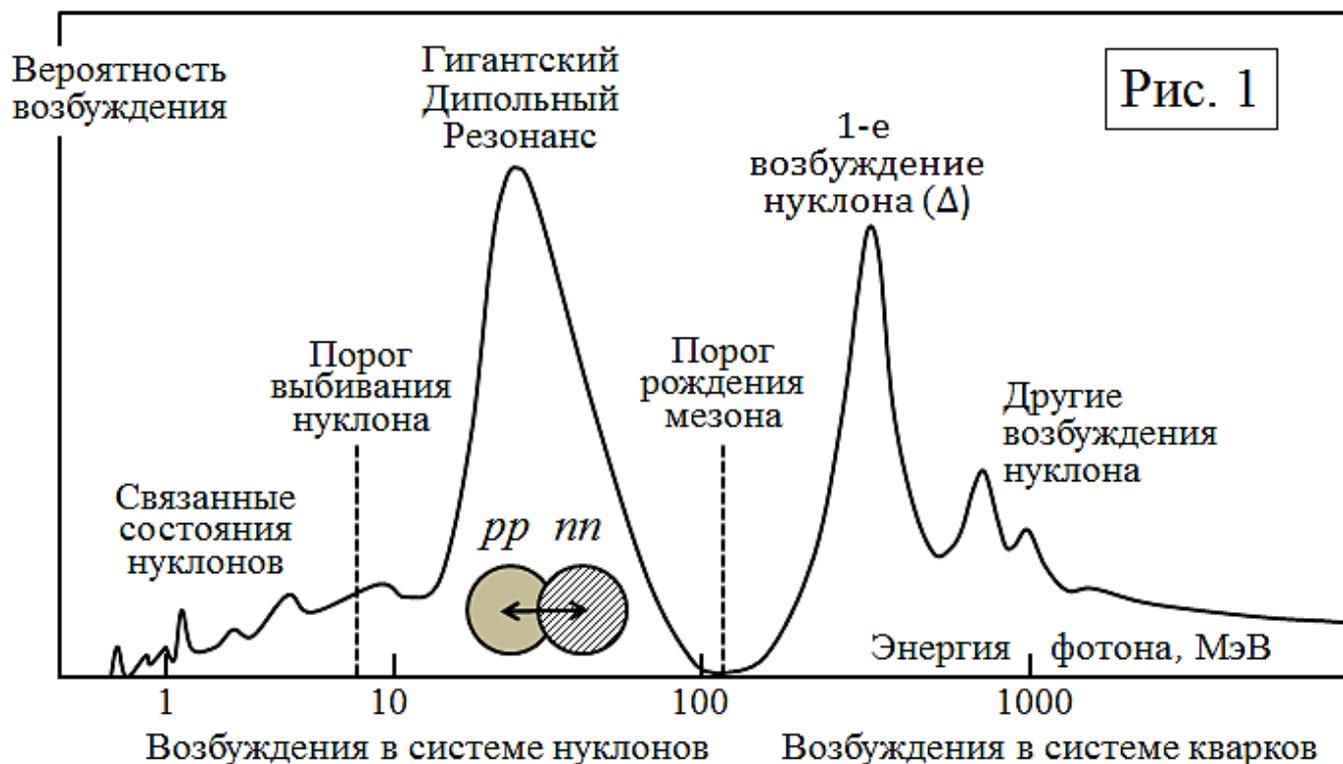


ГИГАНТСКИЙ ДИПОЛЬНЫЙ РЕЗОНАНС АТОМНЫХ ЯДЕР - 75 ЛЕТ

В 1944 г. советский теоретик будущий академик А.Б. Мигдал (ученик Л.Д. Ландау) в своей статье, опубликованной в Журнале Теоретической и Экспериментальной Физики, предсказал существование электрических дипольных возбуждений атомных ядер. Эта работа, опубликованная в СССР в конце Второй мировой войны, осталась незамеченной зарубежными физиками. Однако, когда в 1947 г. появились первые эксперименты, выполненные на ускорителях электронов, в которых был обнаружен широкий и мощный резонанс в спектре поглощения фотонов атомными ядрами, названный гигантским, стало ясно, что обнаружено ядерное возбуждение, предсказанное Мигдалом. На изучение этого нового явления были брошены силы многих ядерных лабораторий. Оказалось, что этот резонанс – является наиболее сильной реакцией атомных ядер на электромагнитное излучение и представляет собой универсальное и фундаментальное ядерное возбуждение. Оно присуще всем ядрам. Его изучение сыграло исключительную роль в понимании структуры и динамики атомных ядер. В резонансе все протоны ядра согласованно (синхронно) колеблются относительно всех нейтронов с частотой 10^{22} Гц, образуя своеобразный колеблющийся диполь ядерных размеров (10^{-12} см). Такие колебания проще всего вызвать, заставив ядро поглотить гамма-квант с энергией около 20 МэВ. Резонанс затухает за время 10^{-21} сек посредством выброса из ядра протона или нейтрона. Масштаб этого явления на шкале ядерных и нуклонных энергий возбуждения схематически иллюстрируется рис. 1.



Важность сделанного открытия состояла в том, что было обнаружено первое коллективное ядерное возбуждение (ядерный резонанс, имеющий коллективную природу). Коллективное ядерное возбуждение – это возбуждение, возникающее за счёт скоррелированного движения больших групп протонов и нейтронов внутри ядра. Это чрезвычайно интересный и бурно развивающийся раздел ядерной физики. Дело в том, что коллективные возбуждения характерны именно для ядер. У атома доминируют одночастичные (одноэлектронные) возбуждения, когда отдельный электрон переходит с одной оболочки на другую. При этом остальные электроны играют роль пассивных наблюдателей. Аналогичные (одночастичные) возбуждения есть и у ядер. В них отдельный нуклон (протон или нейтрон) переходит с одной ядерной оболочки на другую (оболочечная структура имеет место и для ядра). Однако чистые одночастичные возбуждения для ядра редкость. Ядро, в отличие от атома, плотно упакованная система сильно связанных частиц, и когда один из нуклонов под воздействием внешнего возмущения начинает двигаться, он «тянет» за собой соседние нуклоны и возникает согласованное (совместное) движение группы нуклонов, т.е. коллективное возбуждение. Резонанс такого возбуждения и является коллективным ядерным резонансом.

Существуют коллективные ядерные возбуждения различного типа. Гигантский дипольный резонанс (ГДР) – первый из обнаруженных и самый мощный из них. В его исследование физики нашей страны и, в частности, сотрудники кафедры Общей ядерной физики и НИИЯФ МГУ внесли существенный вклад. Это оказалось возможным благодаря своевременному оснащению НИИЯФ МГУ ускорителями заряженных частиц. В создании современной ускорительной базы института неопределимая роль принадлежит его первому директору академику Д.В. Скобельцыну. В распоряжении экспериментаторов оказался первоклассный ускоритель электронов – бетатрон – на энергию 35 МэВ, что позволило исследовать ГДР практически на всей энергетической шкале. Используя для генерации пучка высокоэнергичных фотонов этот ускоритель электронов, они выполнили многочисленные эксперименты по изучению ГДР. Эти эксперименты, проведённые с высоким энергетическим разрешением, привели к обнаружению структуры ГДР. Обнаружение этой структуры имело большой международный отклик и потребовало существенного пересмотра теоретических подходов к описанию высокоэнергичных коллективных ядерных резонансов.

Одним из наиболее ярких результатов этих исследований явилось открытие явления конфигурационного расщепления ГДР. Его суть в том, что у ядер с незамкнутыми нуклонными оболочками (а таких подавляющее большинство) гигантский дипольный резонанс расщепляется на компоненты, отвечающие дипольным колебаниям нуклонов, расположенных на разных ядерных оболочках. Нуклоны глубоких (внутренних замкнутых оболочек) колеблются с большими частотами, чем нуклоны внешних незамкнутых (частично заполненных) оболочек. В результате у таких ядер образуется широкая полоса поглощения фотонов вместо одного узкого пика, характерного для массивных ядер с замкнутыми оболочками. Эффект особенно ярко проявляется у легких ядер. По существу у таких

ядер возникает как бы два гигантских резонанса (на рис. 2 они отмечены буквами А и Б).

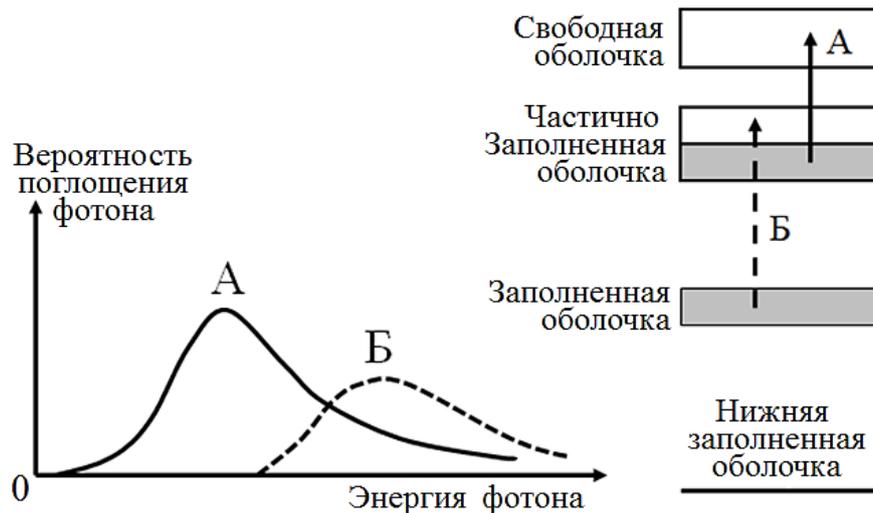


Рис. 2. Формирование двух ветвей гигантского дипольного резонанса, приводящее к его конфигурационному расщеплению.

Для получения таких доказательств потребовалась постановка качественно новых экспериментов, в которых с большой точностью фиксировалась энергия возбуждения конечного ядра (т.е., по существу, определялся конечный энергетический уровень) после вылета из него нуклона. Если конечное ядро оказывалось в состоянии с нуклонной дыркой в заполненной оболочке, то это означало, что ему предшествовало возбуждение резонанса Б. Если же дырка в конечном ядре оказывалась в частично заполненной оболочке, то возбуждалась ветвь А гигантского резонанса. Такие эксперименты и соответствующий анализ данных удалось выполнить сотрудниками кафедры Общей ядерной физики и НИИЯФ МГУ в 1975-1985 гг., после чего существование конфигурационного расщепления ГДР у ядер с числом нуклонов вплоть до 60 перестало вызывать сомнения. На рис. 3 в качестве примера показаны экспериментальные данные о конфигурационном расщеплении четырех ядер – ^{23}Na , ^{24}Mg , ^{27}Al и ^{28}Si .

Результаты этих пионерских работ были позже подтверждены в аналогичных экспериментах японских, австралийских и бельгийских исследователей и получили международное признание (авторство учёных МГУ в теоретическом предсказании и первом экспериментальном наблюдении конфигурационного расщепления ГДР широко признано). Более того, эксперименты выполненные физиками США, Швейцарии, Японии и СССР, в которых ядра возбуждались самыми различными элементарными частицами, показали, что открытая в МГУ закономерность конфигурационного расщепления ГДР имеет универсальный характер – она не зависит от типа частиц, возбуждающих ядро, т.е. проявляется не только в электромагнитных, но также в сильных и слабых взаимодействиях. Сделанное открытие вносит коренные изменения в сложившиеся представления о структуре лёгких ядер и механизме возникновения у них возбуждений высокой энергии.

Проделанные авторами открытия исследования суммированы в ряде обзоров, из которых выделим обзор, занявший полностью три номера журнала Physics Reports и публикацию в котором санкционировал его главный редактор Джерри Браун с оценкой «excellent».

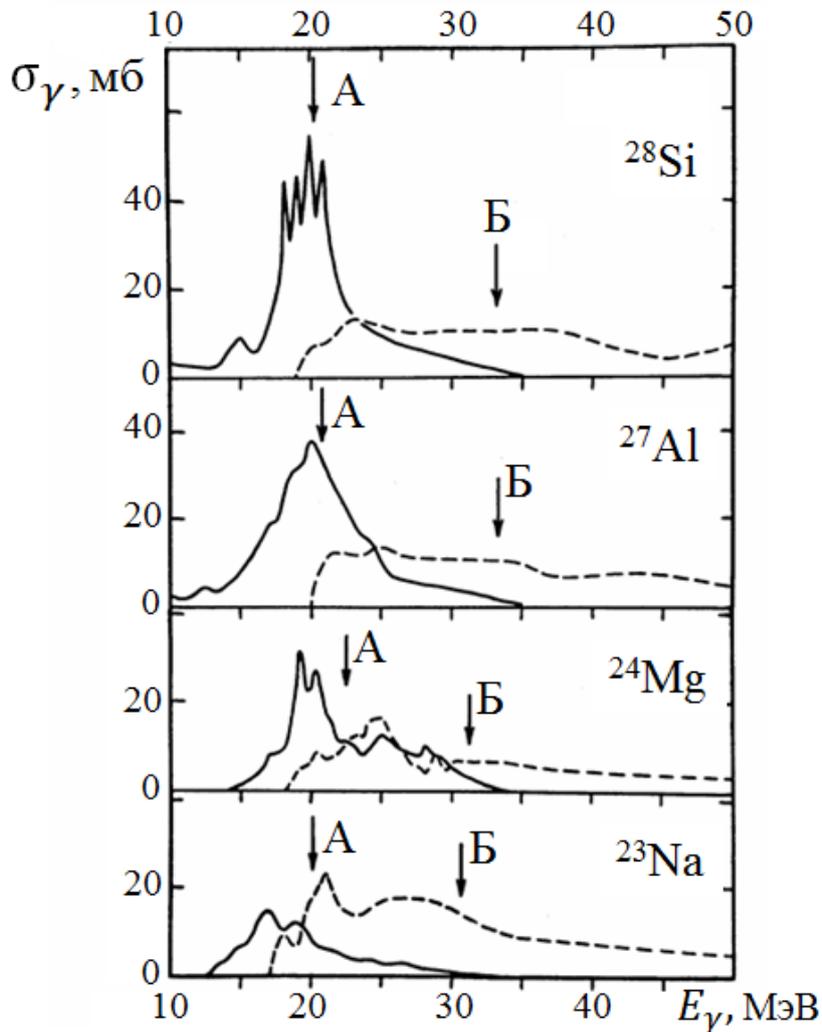


Рис. 3. Гигантский дипольный резонанс ядер ^{23}Na , ^{24}Mg , ^{27}Al и ^{28}Si , разделенный на компоненты А и Б. Стрелки указывают центры тяжести этих компонент.

Решающей инстанцией в признании открытия в нашей стране явилось заседание Бюро отделения ядерной физики АН СССР, состоявшееся 8 сентября 1987 г. под председательством академика-секретаря Бюро М.А. Маркова. Было заслушано сообщение назначенного отделением эксперта по данному открытию академика Г.Н. Зацепина. Присутствовало много известных физиков (2 лауреата Нобелевской премии – И.М. Франк и П.А. Черенков, а также А.М. Балдин, Г.Н. Флёрв, Ю.Д. Прокошкин, А.Н. Тавхелидзе, Д.В. Ширков и др). Единогласно было принято постановление, рекомендуемое Госкомизобретений СССР зарегистрировать открытие. Состоявшееся 5 ноября 1987 г. в Госкомизобретений процедура регистрации открытия была уже формальным актом. Авторы открытия –

Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, В.Г. Шевченко, В.Г. Неудачин и Н.П. Юдин. Трое первых – профессора кафедры Общей ядерной физики. Достижения кафедры в исследовании фотоядерных реакций и внедрении результатов этих исследований в учебный процесс были отмечены Премией Совета министров СССР.

В 1994 г. за цикл работ «Новые представления о механизме взаимодействия гамма-квантов с атомными ядрами» профессора кафедры Б.С. Ишханов и И.М. Капитонов и выпускник кафедры доктор физ.-мат наук В.И. Шведунов были удостоены Ломоносовской премии.

Экспериментальная база ведущихся в МГУ фотоядерных исследований постоянно совершенствуется. Усилиями выпускников кафедры создано новое поколение ускорителей, на которых молодые сотрудники кафедры, аспиранты и студенты продолжают изучение фотоядерных реакций в области энергий выше ГДР. Созданы методики, позволяющие изучать различные каналы ядерных реакций под действием высокоэнергичных фотонов, в том числе и такие экзотические, которые приводят к многочастичному распаду (например, с вылетом из ядра до 10-ти нейтронов) и делению. Результаты этих новых исследований оказались востребованными для расшифровки процессов нуклеосинтеза (синтеза ядер химических элементов) во Вселенной.

В завершении этой заметки отметим, что коллективные резонансы, впервые найденные в атомных ядрах, позже были обнаружены в атомах и таких новых и интенсивно исследуемых объектах, состоящих из большого числа молекул и атомов, как металлические кластеры и фуллерены. Методы их изучения и анализа используют богатый опыт фотоядерных исследований.

И.М. Капитонов