

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

О СТРУКТУРЕ АТОМНЫХ ЯДЕР

О. Бор*)

Как известно, уже ранние исследования ядерных превращений показали, что ядра представляют собой сложные системы, которые можно считать состоящими из двух родов «строительных кирпичей», именно протонов и нейтронов, называемых нуклонами. Число нуклонов меняется от 1 для ядра водорода до более чем 200 для ядер наиболее тяжелых элементов, таких как уран.

Центральной проблемой ядерной физики явилось выяснение природы сил, связывающих воедино эту совокупность частиц. Эти связующие силы не могут быть электрическими, так как нейтроны не имеют заряда. Более того, было установлено, что обычные электрические силы слишком слабы для того, чтобы удерживать нуклоны вместе в том крайне малом объеме, который занимают ядра. Таким образом, к известным гравитационным и электромагнитным силам пришлось добавить совершенно новые ядерные силы.

Наиболее благоприятные условия для изучения ядерных сил представляет исследование соударений между двумя нуклонами. Измеряя частоту таких столкновений (эффективное сечение взаимодействия) и угловое распределение рассеянных частиц, можно сделать заключение о напряженности поля ядерных сил и ее зависимости от расстояния. Так было найдено, что ядерные силы практически становятся заметными, когда расстояние между нуклонами имеет порядок 10^{-13} см. Но на таких расстояниях ядерные силы почти в 100 раз сильнее электрического отталкивания между двумя протонами. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в этих исследованиях, наше понимание ядерных сил еще недостаточно. Поиски простого закона для них, подобного закону Кулона для электрических сил, не увенчались успехом.

Мы знаем, однако, что ядерные силы тесно связаны с существованием недавно открытых неустойчивых частиц—мезонов и гиперонов, поскольку эти частицы возникают в больших количествах при столкновениях нуклонов, обладающих исключительно высокими энергиями (> 1000 Мэв). Подобные процессы первоначально наблюдались в космических лучах; в последнее время создание ускорителей для получения нуклонов сверхвысоких энергий позволяет изучать их в экспериментальных условиях.

Быстрое развитие исследований ядерных процессов при высоких энергиях привело к открытию различных мезонов и гиперонов. Пришлось предположить, что эти частицы тесно связаны с нуклонами

*) А. Bohr, Fys. Tidsskr. 54, 1 (1956).

и что мезоны, нуклоны и гипероны можно рассматривать в качестве, если можно так выразиться, различных проявлений одной и той же «субстанции». Таким образом проблема ядерных сил оказалась тесно связанной с исследованием многочисленных новых явлений, обнаруженных в области высоких энергий.

Хотя на сегодняшний день мы располагаем лишь качественным знанием ядерных сил, исключительно богатый экспериментальный материал в отношении свойств атомных ядер уже позволяет составить довольно подробное представление о ядерной структуре. В частности, оказывается возможным привести в соответствие результаты наиболее важных экспериментов на основе простого предположения, которое можно было бы назвать условием существования ядерного вещества, иными словами, предположения о том, как нуклоны «организуются», т. е. как они движутся в ядрах.

Одним из наиболее значительных шагов в этом направлении явилось открытие того, что многие аспекты ядерных реакций можно просто истолковать, если сравнить ядро с маленькой каплей жидкости. Если, например, протон или нейтрон проникает в ядро и передает ему свою энергию, то можно говорить о нагревании капли и о последующем постепенном рассеивании этой энергии либо в виде теплового излучения (т. е. испускания гамма-лучей), либо путем испарения (т. е. испускания нуклонов с поверхности ядра). Разумеется, ядерные «температуры» исключительно велики и, как показывает расчет, должны составлять миллионы градусов.

Предложенная модель жидкой капли уже спустя несколько лет получила удивительное подтверждение в связи с открытием деления ядер. В этом процессе наблюдается, как в тяжелом ядре, испытывавшем удар нейтрона, могут возникнуть такие неустойчивые «колебания», в результате которых оно развалится на две части. Здесь действительно имеет место весьма близкая аналогия с механизмом, посредством которого колеблющаяся капля жидкости может разбиться на две меньшие капли. Вскоре стало очевидным, что на основе этой аналогии можно объяснить многие важные характеристики процесса деления ядер—в частности, вклад в процесс деления, вносимый в случае обычного урана медленными нейтронами, благодаря их взаимодействию с ядрами более легкого изотопа U^{235} .

Однако исследование других ядерных свойств привело к совершенно иному аспекту ядерной структуры, никоим образом не укладывающемуся в рамки модели жидкой капли. Тщательные и систематические определения энергий связи ядер, являющихся мерой их устойчивости, а также измерения спинов и магнитных моментов ядер выявили замечательную их зависимость от числа нуклонов, образующих ядро. Так, было установлено, что ядра оказываются особенно устойчивыми, если число протонов или число нейтронов, входящих в них, равны 2, 8, 20, 28, 50, 82 или 126. Также выяснилось, что по соседству с этими числами нуклонов другие свойства ядер, подобные указанным выше, обнаруживают резкие изменения, особенно в случае ядер, имеющих сравнительно низкие энергии возбуждения. Физики назвали эти числа «магическими числами» ядерной структуры.

Эти закономерности в ядерной структуре были открыты вскоре после войны, и сразу стало ясно, как их следует истолковывать. Совершенно аналогичные закономерности уже были известны в отношении структуры атомов—те самые закономерности, которые определяют существование периодической системы химических элементов. Ядра, соответствующие «магическим числам», представляют собой как бы химически инертные элементы, т. е. благородные газы. Числа электронов в атомах этих элемен-

тов образовывали набор чисел, почти точно совпадающий с набором «магических чисел».

Теперь нам следует коротко остановиться на том, как объясняются эти периодические изменения свойств атома. Для атомов, содержащих значительное число электронов, детальное описание движения электронов вокруг ядра является исключительно сложной задачей, в которой необходимо учесть как взаимное отталкивание, так и притяжение электронов к ядру. Можно, однако, предположить, что все взаимодействия между электронами с хорошим приближением можно заменить некоторым усредненным силовым полем, т. е. электрическим полем, которое дается некоторым усредненным распределением плотности электронов. Тогда каждый электрон можно рассматривать движущимся независимо от других в поле силы, возникающей отчасти благодаря притяжению ядра, а отчасти благодаря среднему полю, созданному прочими электронами, вне зависимости от мгновенного состояния их движения.

Так первоначальная задача многих тел свелась к задаче двух тел. Очевидно, при этом возникает проблема подыскания подходящего усредненного поля; его следует определить так, чтобы в конце концов получить согласованное описание,—в том смысле, что движение электронов в этом поле должно привести к такому распределению плотности электрического заряда, которое необходимо для создания этого поля. Мы, однако, не будем углубляться в эту задачу, а коротко рассмотрим очевидные следствия такого представления состояния движения системы, определяющие движение отдельной частицы в некотором фиксированном «само-согласованном» поле.

Согласно квантовой теории, электрон, движущийся в таком поле, может находиться только на определенных дозволенных орбитах, или в определенных квантовых состояниях, а его энергия может принимать лишь соответствующие дискретные квантовые значения. Каждому дозволенному «уровню энергии» обычно соответствует несколько квантовых состояний, отличающихся друг от друга в сущности лишь ориентировкой их орбит в пространстве. Все они имеют одну и ту же энергию, поскольку предполагается, что поле обладает центральной симметрией. В объединенном поле такого рода могут существовать два квантовых состояния, соответствующие самому нижнему уровню энергии, шесть— для следующего уровня и так далее.

Электроны в атоме соответственно находятся каждый в своем квантовом состоянии; следующим вопросом является, как они группируются по различным состояниям. Здесь уже необходимо привлечь так называемый принцип исключения, или принцип Паули, согласно которому в каждом квантовом состоянии может находиться только один электрон; как говорят, состояние занято только одним электроном.

Когда электроны в надлежащих количествах находятся в квантовых состояниях, соответствующих самому нижнему уровню энергии, а остальные занимают следующие по энергии уровни, не пропуская ни одного из них, атом как целое пребывает в своем наинизшем энергетическом состоянии (называемом основным состоянием атома). Когда электроны заполняют все квантовые состояния, соответствующие данному уровню энергии, о такой группе электронов говорят как о «замкнутой оболочке».

Теперь становится очевидным, что атом будет особенно устойчив, если число электронов в нем в точности соответствует числу, определяющему замкнутые оболочки, причем эта устойчивость возрастает с увеличением состояния до следующего более высокого уровня энергии. Тогда следующий электрон, если он войдет в состав атома, должен обладать энергией,

значительно превышающей энергию остальных, и следовательно, существенно меньшей энергией связи. Числа электронов в атомах, в которых замкнутые оболочки расположены на особенно значительных энергетических «расстояниях» друг от друга, в точности равны числам электронов в атомах благородных газов.

Периодические закономерности такого рода, которые были найдены также для ядер, свидетельствовали, что ядра также обладают аналогичной «оболочечной структурой», т. е. система образующих их частиц должна удовлетворять двум условиям: во-первых, нуклоны должны следовать принципу Паули и, во-вторых, можно в хорошем приближении заменить взаимодействия нуклонов друг с другом некоторым усредненным «самосогласованным» полем, а отдельные частицы рассматривать как движущиеся в этом поле определенным орбитам.

Так физики пришли к предположению, что движение нуклонов в ядре имеет простой упорядоченный характер и что в первом приближении действие ядерных сил можно принять во внимание, вводя усредненное поле, в котором нуклоны движутся независимо друг от друга. Из простых предположений о виде этого поля удалось теоретически получить наблюдаемую совокупность магических чисел нуклонов.

Эта «оболочечная модель» ядра оказалась способной на большее, нежели простое объяснение значительной устойчивости ядер с замкнутыми оболочками нуклонов. Если к такому ядру с замкнутыми оболочками добавить один нуклон, то его можно будет рассматривать как «валентный», аналогично электрону сверх замкнутой оболочки в атоме, а тогда основное и низшие возбужденные состояния ядра должны будут соответствовать другим квантовым состояниям, в которых может пребывать «лишний» нуклон. И действительно, это предположение подтвердилось наблюдением спектра энергий ядер этого типа*).

Такое представление о движении нуклонов в ядре проливает также новый свет на протекание ядерных реакций. Ранее предполагалось, по аналогии с молекулой, конденсирующейся на поверхности жидкой капли, что нуклон, проникая в ядро, немедленно распределяет свою энергию по большому числу степеней свободы системы путем столкновений с другими нуклонами; при этом должно было бы образоваться «составное ядро», которое вследствие весьма сложного состояния своего движения должно просуществовать относительно долгое время перед тем, как оно распадется, испустив гамма-излучение или «испарив» нуклон. Позднее более тщательные исследования различных ядерных процессов привели, однако, к необходимости предположить, что проникший в ядро нуклон вначале некоторое время движется по орбите во внутреннем поле ядра. Только впоследствии он вступает в столкновения с нуклонами ядра; последние в свою очередь соударяются с остальными нуклонами, и система быстро приходит в состояние «составного ядра».

Ввиду плотной «упаковки» нуклонов в ядре и сильного взаимодействия, наблюдаемого при столкновениях между нуклонами, относительно устойчивые и невозмущенные орбиты движения нуклона в ядре представлялись весьма удивительными. Поэтому было выдвинуто предположение, что силы, действующие между двумя нуклонами в ядре, вероятно, значительно слабее тех, которые наблюдаются при столкновении двух свободных нуклонов, вследствие некоторого эффекта насыщения. Эта гипотеза

*) Элементарное описание оболочечной модели ядра и ее применений недавно было дано М. Г. Майер и Дж. Г. Д. Иенсенем, которые внесли значительный вклад в разработку этой модели в их книге «Элементарная теория оболочечной структуры ядер» (J. Wiley, New York, 1955 г.).

теза до сих пор остается необъясненной, но тем не менее возможно, что упорядоченное движение нуклонов можно рассматривать прежде всего как следствие самого принципа Паули. Легко видеть, что сама природа в виде этого принципа запрещает столкновения нуклонов в ядре: такие соударения должны были бы переводить сталкивающиеся нуклоны на новые орбиты, но поскольку все соседние орбиты уже заняты другими нуклонами, вероятность подобных соударений значительно снижается.

Так исследования различных свойств ядер привели физиков к двум совершенно несхожим представлениям о структуре ядер—к модели жидкой капли и к оболочечной модели. И все же скомбинировать наиболее существенные свойства обеих моделей не представляет труда.

С одной стороны, открытие эффектов, обусловленных оболочечной структурой, показало, что между структурой жидкости и ядерного вещества имеются существенные различия. В то время как молекулы в капле жидкости движутся совершенно хаотическим образом, движение нуклонов в ядре обнаруживает простой порядок *). С другой стороны, мы должны прибегнуть к модели жидкой капли, чтобы учесть те колебания поверхности ядер, которые имеют место в процессе их деления, а также наблюдаются, как выяснилось позже, и в других ядерных процессах. Упорядоченное, коррелированное движение, связанное с подобными колебаниями, было названо «коллективным» движением совокупности нуклонов, образующих ядро.

Эти две модели в известном смысле соответствуют попыткам описать движение ядра, используя два взаимоисключающих метода приближения. В оболочечной модели основной формой движения считается орбитальное движение отдельных нуклонов в усредненном ядерном поле; в модели жидкой капли такой формой полагается простое коллективное движение нуклонов. Обе эти формы движения в ядрах наблюдаются экспериментально, так что имеет смысл попытаться дать более общее описание ядерной структуры, рассматривая общее состояние движения, как наложение этих двух основных его составляющих.

Это описание можно рассматривать как такое обобщение оболочечной модели, в котором ядерное поле, прежде предполагавшееся постоянным, теперь считается динамической переменной, причем изменение коллективного ядерного поля связывается с колебаниями формы ядра. Эту связь можно использовать для установления уравнений движения коллективных колебаний, вычисляя энергию ядерной системы как функцию формы поля и скорости его изменения.

Важным свойством такой деформируемой и колеблющейся оболочечной структуры, которая предполагается для ядра, является то, что форма системы в состоянии равновесия часто значительно отклоняется от сферической симметрии. Это впервые было отмечено Дж. Рэйнуотером и было приписано им действию центробежной силы на внутреннюю сторону поверхности ядра со стороны нуклонов, движущихся по своим орбитам, поскольку со стороны поверхности на нуклоны, чтобы удержать их на своих орбитах, должна действовать противоположно направленная центробежная сила. Эта сила и создает эллипсоидальную деформацию формы ядра.

Каждый нуклон испытывает эту центробежную реакцию в плоскости своей орбиты, так что результирующая форма ядра должна

*) Это в особенности справедливо, когда «содержание» энергии в ядре невелико; с увеличением энергии бомбардирующей частицы, как, например, в ядерных реакциях, ведущих к образованию составного ядра, движение нуклонов все более усложняется, а его характеристики сближают его с движением молекулы в капле жидкости.

теперь зависеть от степени заполнения каждой оболочки нуклонами. Ориентировки плоскостей орбит различных состояний распределены в пространстве однородно, так что суммарным эффектом замкнутой оболочки оказывается равномерное направленное наружу давление, действующее на всю поверхность ядра. Поэтому ядра, состоящие исключительно из замкнутых оболочек, сохраняют сферическую форму. Присутствие же «лишнего» нуклона должно, напротив, приводить к эллипсоидальной форме ядра; при этом чем значительнее отклонение от замкнутой оболочки, тем выше становится эксцентриситет. Для большинства рассматриваемых нами ядер эллипсоидальность выражена среди ядер, полное число нуклонов в которых лежит между 150 и 185, а также превышает 225.

То, что форма ядер часто заметно отклоняется от сферической симметрии, было известно уже давно, но не находило объяснения. Возникающая в результате асимметрии в распределении электрического заряда нуклонов приводила к тому, что энергия связи электрона зависела от ориентировки его орбиты по отношению к ядру. Это давало вклад в сверхтонкую структуру линий атомных спектров. Несмотря на крайнюю малость этого эффекта, его все же можно измерить с помощью спектроскопов высокой разрешающей силы; путем этих измерений и можно установить эксцентриситет ядер.

Равновесная форма ядра, естественно, оказывает большое влияние на многие его свойства; коллективные движения в некоторых случаях резко проявляются в энергетическом спектре ядер.

Для сферического ядра коллективное движение соответствует колебаниям поверхности ядра около равновесной ее формы. Как известно из теории поверхностных колебаний жидкой капли, каждое такое нормальное колебание носит характер гармонического колебания. Движение эллипсоидального ядра, с другой стороны, можно рассматривать как комбинацию вращения и колебаний около равновесной формы. Это движение существенно отличается от вращения твердого тела и напоминает скорее волновое движение, происходящее по поверхности ядра (рис. 1). При вращательном движении такого рода поле скоростей пропорционально амплитуде волны, которая в свою очередь определяется деформацией ядра. Чем меньше эта деформация, тем меньше становится вращательная энергия при данной угловой скорости вращения, а значит, тем меньше эффективный момент инерции ядра. При достижении сферической формы момент инерции обращается в нуль, т. е. для ядра сферической формы вращательное движение уже не играет никакой роли, поскольку ориентировку такого тела определить нельзя.

Согласно квантовой механике, энергии дозволённых вращательных движений образуют дискретную последовательность, определяемую выражением

$$E_{\text{вращ}} = \frac{(P)^2}{2J} = \frac{h^2}{8\pi^2 J} I(I+1), \quad (1)$$

где P —момент количества движения, J —момент инерции, а h —постоянная Планка*). Величина I , являющаяся квантовым числом для момента коли-

*) Как известно из классической механики, общее вращательное движение тела характеризуется тремя моментами инерции, соответствующими решениям уравнения движения относительно трех главных осей. Однако для ядер эти соотношения существенно упрощаются, так как ядро имеет ось симметрии, т. е. имеет форму эллипсоида вращения. Ядро не может вращаться вокруг той оси симметрии, момент инерции относительно которой равен нулю, и все оси, направленные под прямым углом к данной, имеют один и тот же момент инерции J .

чества движения, принимает целые значения для ядер, состоящих из четного числа нуклонов, и полуцелые для ядер с нечетным числом нуклонов. Поскольку согласно (1) энергия вращения обратно пропорциональна моменту инерции, вращение ядра усиливается при уменьшении его эксцентрисичности. Однако если вращение слишком быстро, центробежные силы начнут воздействовать на равновесное состояние ядра; отсюда следует, что и момент инерции зависит от I . Поэтому чистый вращательный спектр, описываемый уравнением (1) с приблизительно постоянным J , характерен лишь для сильно деформированных ядер *).

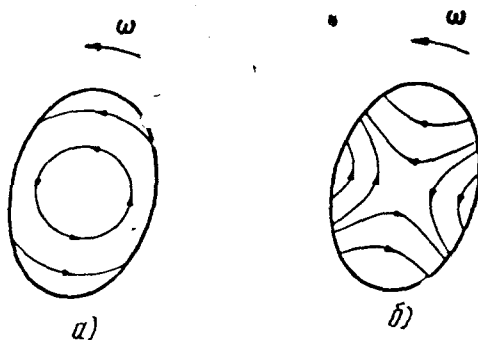


Рис. 1. Поля скоростей для различных типов вращательных движений. а) при вращении твердого тела; б) «линии тока» для волноподобного вращательного движения, имеющего характер распространяющейся поверхностной волны. В последнем случае мы имеем дело с безвихревым вращательным движением ($\text{rot } \mathbf{v} = 0$), тогда как при вращении твердого тела $\text{rot } \mathbf{v} = 2\omega$. Вращательное движение ядра является промежуточным между этими крайними типами. Установлено, что движение походит на волноподобное вращение тем больше, чем более часты столкновения ядра. Измеренный эффективный момент инерции, следовательно, является мерой среднего свободного пробега в ядре. (Смысл момента инерции ядра более глубоко обсуждается в статье, написанной автором совместно с Б. Р. Моттельсоном (см. перевод в сб. «Пробл. Совр. физ.», № 9, 34 (1955)).)

Благодаря простым закономерностям, управляющим вращательными спектрами ядер, их особенно легко идентифицировать; недавно было установлено, что такие спектры весьма распространены среди ядер, обладающих заметным эксцентриситетом. В качестве примера мы приводим рис. 2.

Экспериментальный метод, который мы опишем, особенно хорошо приспособлен к изучению вращательных состояний ядер; он был разработан несколько лет назад Макклелланом и Гудмэном в Массачусетском технологическом институте и одновременно Хуусом и его сотрудниками в Копенгагенском университете.

В этом методе, названном процессом «кулоновского возбуждения», ядра возбуждаются действием электрического поля пролетающих мимо электрически заряженных ядерных «снарядов», таких как протоны или альфа-частицы. Если пучок таких частиц, обладающих достаточной энергией; направить на вещество, которое желательно исследовать, то частицы, проникая в ядра, дадут начало весьма сложным процессам. При меньшей энергии, однако, «снаряды» будут отклонены электрическим от-

*) Элементарное изложение теории и обзор эмпирических данных по ядерным вращательным спектрам можно найти в книге О. Бора «Вращательные состояния атомных ядер» (Copenhagen, 1954 г.).

талкиванием ядер. Если подобрать эту энергию соответствующим образом, то протон пройдет весьма близко к поверхности ядра, но не сможет проникнуть в него. В этом случае на ядро будет действовать только

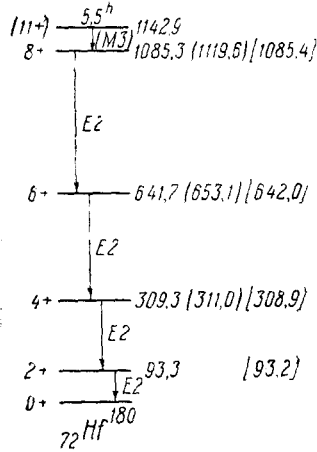


Рис. 2. Вращательный спектр Hf^{180} . Захват нейтрона ядром Hf^{179} может привести к образованию изомерного состояния Hf^{180} с энергией 1143 кэв и временем жизни 5,5 часа. Это состояние, квантовое спиновое число которого имеет весьма высокое значение — около 11 — распадается путем испускания гамма-кванта с энергией 57 кэв на вращательный уровень (обладающий большим вращательным квантовым числом $I=8$) основного состояния Hf^{180} . Следует отметить, что для подобных ядер, состоящих из четного числа протонов и четного числа нейтронов, квантовое число момента количества движения I должно быть четным; кроме того, четность такого вращательного состояния ядра положительна, как показано на схеме. Первоначальный вращательный уровень распадается на все более низкие вращательные уровни путем эмиссии серии гамма-лучей, причем все переходы относятся к электрическому квадрупольному типу ($E2$); это — излучение, испускаемое вращающимся электрически заряженным эллипсоидом. Числа, стоящие непосредственно справа от обозначений уровней, дают их энергии в кэв. В круглых скобках приведены энергии, вычисленные с помощью уравнения (1), в котором принят момент инерции, найденный по энергии низшего вращательного уровня ($I=2$). Измеренные энергии, особенно для высших состояний, несколько меньше вычисленных. Это можно объяснить тем, что эксцентricность ядра (а вместе с ней и момент инерции) возрастает с увеличением скорости вращения вследствие центробежного эффекта. Учет последнего в (1) можно прояснить, добавив член

$$-BI^2(I+1)^2,$$

где B — положительная постоянная, зависящая от деформируемости ядра. Включение этого члена при соответствующем подборе значения постоянной B позволяет достичь лучшего согласия с измеренными энергиями, что можно видеть из чисел в квадратных скобках на рисунке. (Более поздние исследования показали, что изомерное состояние распадается путем излучения $E1$ и, вероятно, имеет спин 8 или 9.)

электрическое поле пролетающего «снаряда», а поскольку это поле можно вычислить точно, мы получаем возможность исследовать поведение ядра при вполне определенных обстоятельствах*).

В качестве аналогии можно указать комету, пролетающую в непосредственной близости к Земле. Если происходит ее столкновение с Зем-

*) Более полное изложение метода можно найти в статье Alder, Bohr, H u u s, M o t t e l s o n & W i n t h e r, Rev. Mod. Phys. 28, 432 (1956).

лей, то последствия окажутся совершенно неопределенными, даже с чисто физической точки зрения. Если же, с другой стороны, комета просто проходит близко к Земле, астрономы и геофизики могут проанализировать ход этого «соударения» весьма подробно и проведут много ценных наблюдений. Основной эффект близкого прохождения кометы должен заключаться в небольшом изменении вращения Земли отчасти вследствие изменения формы Земли, а отчасти из-за сильной океанской приливной волны, которую вызовет комета.

Нечто подобное будет наиболее вероятным эффектом при пролетании протона вблизи ядра: последнее придет во вращение. Сообщенная ядру вращательная энергия будет впоследствии испущена им в виде гамма-лучей, причем энергия квантов будет соответствовать разности между парами дозволённых значений энергии. Таким образом, из измерений энергии излучения удастся определить момент инерции ядра. Кроме того, вероятность того, что столкновение вызовет изменение вращательного движения ядра, тем больше, чем значительнее форма ядра отклоняется от сферически симметричной. Таким образом, интенсивности наблюдаемых излучений будут мерой эксцентricности ядра. Подобные измерения уже значительно обогатили нас знанием форм ядер. Ценные сведения о свойствах ядерного вещества также даст связь, установленная между эксцентricностью и моментом инерции ядер (рис. 1).

Хотя, как было отмечено выше, мы получаем все более полную картину простейших аспектов структуры ядер, следует подчеркнуть, что мы пока находимся на довольно низкой ступени познания в различных вопросах. Можно, однако, надеяться, что новые тонкие эксперименты, поставленные в ближайшие годы, и дальнейшее развитие теории позволят достичь более глубокого понимания сущности ядерных сил и обусловленных ими наблюдаемых свойств ядер.