



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

1096/2-80

18/3-80

P4 - 12931

В.Г.Соловьев

СИЛЬНЫЕ И СЛАБЫЕ УТВЕРЖДЕНИЯ  
В ТЕОРИИ АТОМНОГО ЯДРА

1979

P4 - 12931

В.Г.Соловьев

СИЛЬНЫЕ И СЛАБЫЕ УТВЕРЖДЕНИЯ  
В ТЕОРИИ АТОМНОГО ЯДРА

Направлено в "Труды IX школы по ядерной физике"  
/Ташкент, 1979/

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Соловьев В.Г.

P4 - 12931

Сильные и слабые утверждения в теории  
атомного ядра

Изложены общие положения в теории атомного ядра. Дана классификация достоверности квантовых чисел и отдельных членов гамильтониана в полумикроскопической теории атомного ядра.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Soloviev V.G.

P4 - 12931

Strong and Weak Statements in the Theory  
of Atomic Nucleus

General statements in the theory of atomic nucleus are given. The classification of reliability of quantum numbers and some terms of Hamiltonian in semimicroscopic theory of atomic nuclei is made.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Изложение общих положений в теории атомного ядра и классификация достоверности выполнены по предложению Б.С.Джеллепова. Здесь я излагаю некоторые предварительные соображения, касающиеся особенностей постановки задачи и ее решения в теории ядра. Несомненно, что некоторые положения являются общими и применимы ко многим разделам теоретической физики, другие - достаточно спорные. Классификация достоверности относится только к квантовым числам и ядерным взаимодействиям.

#### 1. ПРИБЛИЖЕННОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАКОНОВ ФИЗИКИ

Все тела в мире взаимно связаны. По крайней мере это относится к нашей части вселенной. Точное выполнение законов сохранения принципиально провести невозможно из-за взаимосвязи материи. Точное выполнение законов сохранения возможно в модели. Чтобы изучать какую-либо систему, отключают очень слабые связи /такие, например, как влияние далекой звезды/ и достаточно слабые связи. В изолированной системе законы сохранения выполняются с большой точностью, и обычно их выполнение считают точным. В физике каждая величина измерена с определенной точностью.

Атомное ядро в подавляющем числе случаев можно рассматривать само по себе, не принимая во внимание существования электронной оболочки, других атомов и молекул, а также макро-объектов типа магнитов, приборов и других тел. Исключение составляют такие свойства ядра, которые связаны, например, с захватом орбитального электрона, с существованием  $\mu$ -мезона на оболочке и т.д. За этим исключением приближение изолированного атомного ядра - очень точное приближение.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ В ТЕОРИИ АТОМНОГО ЯДРА

### 1. Невозможность математически корректной постановки задачи и ее решения

Строго в математическом смысле решить ядерную задачу многих тел нельзя. Строго математически - это значит с корректной оценкой точности результатов, без привлечения физических соображений. В теории ядра такая математически строгая постановка задачи возможна в задаче двух и трех тел.

Первая особенность решения задачи: результаты имеют ясный физический смысл и объясняют совокупность экспериментальных данных. Имеются математические соображения о том, что приближение является достаточно точным, но отсутствует математически корректная оценка точности.

### 2. Одновременная формулировка вида эффективных сил и приближенное решение задачи

В микроскопических теориях выбирается тот или иной потенциал нуклон-нуклонного взаимодействия. В этом выборе существует большой произвол, т.к. нет экспериментальных данных о поведении нуклон-нуклонной амплитуды вне энергетической поверхности, и трудно трактовать потенциал на малых расстояниях. Далее с выбранным потенциалом приближенно решается ядерная задача многих тел. В полумикроскопических теориях выбирается потенциал среднего поля, уточняются его параметры, вводятся остаточные силы и далее приближенно решается ядерная задача многих тел. Нет смысла более точно решать модельную задачу /что нередко делается/, чем точность самой постановки задачи, т.е. в какой-то мере - точность трактовки эффективных ядерных сил.

### 3. Расчеты опираются на одну совокупность экспериментальных данных, объясняют другую и предсказывают третью

В теории ядра в основе модели лежит определенная физическая картина, построенная на устоявшихся экспериментальных фактах. Ряд экспериментальных данных используется для определения параметров модели. В результате приближенного решения уравнений модели и нахождения физических величин:

а/ достаточно точно объясняется определенная совокупность экспериментальных данных;

б/ грубо объясняется другая совокупность экспериментальных данных;

в/ предсказываются величины определенных ядерных характеристик.

Таким образом, задача состоит в том, чтобы на основе имеющихся экспериментальных данных построить такую модель, в рамках которой можно наиболее просто и достаточно точно вычислить искомые ядерные характеристики. Нужно найти совокупность ядерных характеристик, отражающих свойства ядер и не вступающих в противоречие с общей картиной ядерной структуры, а также с величинами конкретных параметров.

### 4. Отсутствие универсальных ядерных констант

Ядерная задача многих тел формулируется так, что силы и потенциалы не являются универсальными. Нет таких перенормируемых универсальных констант, как, например, электрический заряд  $e$ . Все константы эффективных сил являются перенормируемыми. Это - дополнительная свобода, помимо определенной свободы выбора функциональной зависимости эффективных сил. Константы эффективных сил перенормируются при увеличении одночастичного пространства. Константы изменяются с ростом массового числа  $A$ , энергии возбуждения  $\mathcal{E}$ , деформации  $\beta_2$ , углового момента  $\mathcal{I}$  и т.д. Это связано с тем, что в сложной задаче многих тел имеет место параметризация эффективных сил и потенциалов среднего поля. Вся сложность задачи сводится к достаточно простой функциональной зависимости и константам. Изменением констант /плавным и небольшим/ производится подгонка эффективных сил и потенциалов. Положение именно таково, хотя имеются претензии на некую универсальность отдельного выбора констант.

## III. ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ЗАДАЧИ МНОГИХ ТЕЛ

### 1. Приближенное решение ядерной задачи многих тел

Более точно учитываются те части эффективных сил и те компоненты волновых функций, которые непосредственно связаны с рассчитываемой характеристикой. Производится соответствующая параметризация. Другие части сил и другие компоненты волновых функций учитываются грубо. В начальный период развития теории ядра одни модели противоречили другим, как, например, одночастичная оболочечная модель и модель заряженной жидкой капли. Теперь одни модели дополняют другие, под-

водится общая база для всех моделей. Можно утверждать, что сделан существенный шаг в построении последовательной теории ядра.

## 2. Приближенное выполнение законов сохранения

Успех в теории ядра связан с развитием таких методов, когда основные законы сохранения трактуются приближенно. Такая постановка задачи привела к прогрессу по сравнению с приближенным решением задачи при точном выполнении законов сохранения. Математически корректная постановка задачи с приближенным учетом законов сохранения стала возможной после фундаментальной работы Н.Н.Боголюбова о квазисредних<sup>1/</sup>. Приближенно или в среднем выполняются законы сохранения энергии, углового момента, числа частиц и другие. Приближенно выполняются условия галилеевой, трансляционной и градиентной инвариантности. В большинстве задач в теории ядра приближенно /а в отдельных случаях очень грубо/ выполняется принцип Паули, приближенно учитывается непрерывный спектр и т.п.

Можно утверждать, что при приближенном решении ядерной задачи многих тел в том же приближении следует учитывать законы сохранения, условия инвариантности, принцип Паули и др. Следует отметить, что более точный, чем необходимо, учет законов сохранения, условий инвариантности и т.п. как правило, нежелателен, т.к. он связан с:

- а/ увеличением времени счета на ЭВМ,
- б/ упрощением постановки задачи,
- в/ потерей точности вычисления конечного результата.

## 3. "Хорошие" и приближенные квантовые числа

Законы сохранения энергии, импульса, углового момента следуют из однородности времени и пространства, а также из изотропии пространства. Поэтому энергия  $\hat{E}$  и угловой момент  $\hat{I}$  считаются "хорошими" квантовыми числами, их можно отнести к категории "А". Следствия законов сохранения также относятся к категории "А". Например, из инвариантности гамильтониана относительно операции отражения времени следует, что одночастичные состояния потенциала среднего поля должны быть дважды вырожденными.

Хорошо известно, что пространственная четность сохраняется в сильных и электромагнитных взаимодействиях и не сохраняется в слабых взаимодействиях. В атомном ядре все три

типа взаимодействий играют важную роль. Со слабыми взаимодействиями связана, в основном, стабильность ядер. Однако при решении ядерной задачи многих тел слабыми взаимодействиями можно пренебречь, считать четность  $\pi$  хорошим квантовым числом и отнести его к категории "А". Это связано с тем, что несохраняющая четность компонента ядерной волновой функции очень мала. Точность решения ядерной задачи многих тел сравнительно невелика, ядерная волновая функция вычисляется так грубо, что несохраняющая четность компонента незаметна. Исключения составляют такие случаи, когда интересуются именно несохраняющими четность компонентами волновых функций ядра. Поэтому к категории "А" относятся правила отбора  $E\lambda$ - и  $M\lambda$ -переходов в ядрах, зависимость четности от орбитального момента, такая, как  $(-1)^l$  и другие.

В теории ядра используется ряд приближенных квантовых чисел. К ним относятся:

- а/  $T$  - изотопический спин,
- б/  $N$  - главное осцилляторное число,
- в/  $K$  - проекция  $\hat{I}$  на ось симметрии деформированного ядра,
- г/  $l_j$  - подоболочка в сферическом ядре,
- д/  $s$  - сеньорити и другие.

По степени достоверности отнесем их к категориям "В" и "С". В одних случаях приближенное квантовое число можно отнести к категории "В", в других - к категории "С".

## 4. Классификация достоверности

Чтобы ответить на предложение Б.С.Джелепова о сильных и слабых утверждениях в теории атомного ядра, будем классифицировать достоверность по четырем категориям: "А", "В", "С", "Д". Если к категории "А" отнесем наиболее достоверные утверждения, что продемонстрировано ранее, то к категории "Д" отнесем наиболее слабые утверждения.

Основываясь на такой классификации, проанализируем полумикроскопическую теорию атомного ядра<sup>2/</sup>.

## IV. СИЛЬНЫЕ И СЛАБЫЕ УТВЕРЖДЕНИЯ В ПОЛУМИКРОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ АТОМНОГО ЯДРА

В полумикроскопической теории взаимодействие между нуклонами в ядре разделено на две части: среднее поле ядра и остаточные, или эффективные взаимодействия. В большинстве полумикроскопических теорий гамильтониан ядра можно записать в виде:

$$H = H_{av} + T_{rot} + H_{cor} + H_{pair} + H_{\lambda} + H_{\sigma\lambda}.$$

Гамильтониан содержит среднее поле ядра  $H_{av}$ , кинетическую энергию вращения  $T_{rot}$ , кориолисово взаимодействие  $H_{cor}$ , взаимодействие, приводящее к парным корреляциям сверхпроводящего типа  $H_{pair}$ , остаточные силы  $H_{\lambda}$ , разложенные в ряды по мультиполям, и  $H_{\sigma\lambda}$  - по спин-мультиполям. В полумикроскопической теории вычисляются относительные, а не абсолютные величины.

Вспользуемся введенной классификацией для оценки достоверности отдельных членов гамильтониана полумикроскопической теории.

### 1. Среднее поле $H_{av}$

Среднее поле отражает фундаментальное свойство атомных ядер, оно ответственно за разнообразие их свойств. Сам факт существования среднего поля ядра можно отнести к категории "А". Как следствие существования среднего поля, потенциал которого содержит центральную и спин-орбитальную части, является наличие оболочек и подоболочек. Факт существования оболочек и подоболочек следует отнести к категории "В". Конкретный вид локального потенциала среднего поля, например, потенциала Саксона-Вудса, можно отнести к категории "С". К этой же категории относятся одночастичные энергии и волновые функции в сферических и деформированных ядрах. Последовательность подоболочек в сферических ядрах и одночастичных состояний, характеризующих асимптотическими квантовыми числами  $[N n_z \lambda]$  в деформированных ядрах, а также энергетические интервалы отнесем к категории "Д".

### 2. Кинематическая энергия вращения $T_{rot}$

Вращение как вид ядерного движения можно отнести к категории "В". В низколежащих состояниях сильно деформированных ядер оно выделяется достаточно определенно, и здесь можно говорить о категории "С". При больших энергиях возбуждения и в переходных ядрах вращение плохо отделяется от других типов движения, поэтому вращение отнесем к категории "Д".

### 3. Кориолисово взаимодействие $H_{cor}$

Кориолисово взаимодействие как отражение связи вращения и других типов движения отнесем к категории "В". Конкретное

проявление кориолисова взаимодействия в разных ядрах и при различных энергиях возбуждения отнесем к категориям "С" и "Д".

### 4. Взаимодействие, приводящее к спариванию

Сам тип взаимодействия

$$\sum_{qq'} G(q_+, q_-; q'_-, q'_+) a_{q_+}^+ a_{q_-}^+ a_{q'_-} a_{q'_+},$$

связывающий нуклоны в состояниях, сопряженных относительно операции отражения времени, отнесем к категории "В". Это подтверждается тем, что следствие такого взаимодействия  $I^{\pi} = 0^+$  для основных состояний четно-четных ядер не имеет исключения. Конкретный выбор взаимодействия

$$G(q_+, q_-; q'_-, q'_+) = \frac{\text{Const}}{A} \quad \text{или} \quad G \langle q_+, q_- | \delta(r) | q'_-, q'_+ \rangle,$$

а также приближенные методы решения задачи определим как категорию "С". Не улучшает положения точная диагонализация, проецирование и другие приемы, т.к. груб конкретный вид взаимодействия. К категории "С" относятся выводы /или следствия/ модели независимых квазичастиц.

### 5. Разложение остаточных взаимодействий $H_{\lambda} + H_{\sigma\lambda}$ по мультиполям и спин-мультиполям

Этот тип взаимодействия отнесем к категории "С". В мультипольном и спин-мультипольном разложениях угловая зависимость однозначна и принадлежит категории "В", радиальная зависимость в значительной степени произвольна и принадлежит категории "Д".

Одночастичные и двухчастичные матричные элементы от  $H_{\lambda}$  и  $H_{\sigma\lambda}$  по волновым функциям потенциала Саксона-Вудса, используемые в расчетах многих ядерных характеристик, можно отнести к категории "С". Здесь важно правильное поведение сил вблизи границы ядра, а не детальная радиальная зависимость. Одночастичные волновые функции выбирают главные компоненты сил. Это - важная особенность расчетов. Выбор констант  $\kappa^{(\lambda)}$ ,  $\kappa^{(\sigma\lambda)}$  и эффективных масс  $m_{эфф}$ , зарядов  $e_{эфф}$ , гиромангнитных отложений  $g_{эфф}^{(e)}$ ,  $g_{эфф}^{(s)}$  на основе экспериментальных данных отнесем к категории "С", феноменологические оценки этих величин - к категории "Д".

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные здесь общие положения и особенности теории атомного ядра, а также классификация достоверности носят предварительный характер и могут служить лишь основой для дальнейших обсуждений. Классификация достоверности по категориям "А", "В", "С" и "Д" - это способ выразить сильные и слабые утверждения в теории атомного ядра. Несомненно, что классификация достоверности не должна ограничиваться квантовыми числами и типами взаимодействий в ядрах. Следует дать достоверность описания тех или иных ядерных характеристик, уровней, ширин, силовых функций и т.п. Представляет интерес проанализировать достоверность результатов расчетов по разным моделям ядра, в том числе по квазичастично-фононной модели ядра<sup>3/</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбов Н.Н. ОИЯИ, Д-781, Дубна, 1961. См. также Избранные труды, "Наукова Думка", Киев, 1971, т.3, с.174.
2. Соловьев В.Г. Теория сложных ядер. "Наука", М., 1974.
3. Соловьев В.Г. ЭЧАЯ, 1978, т.9, с.580.  
Soloviev V.G., Nucleonika, 1978, v.23, p.1149.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 ноября 1979 года.