

УДК 372.853+539.171

А. И. СЕРЫЙ, Д. А. МОТУЗКО

Брест, БрГУ

О РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДАХ К ИЗЛОЖЕНИЮ ТЕМЫ «ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ» НА ПРИМЕРЕ ДЕЙТРОНА

Обзор вузовских курсов физики атомного ядра позволяет выделить следующие основные подходы к ее изложению.

1. Подход, который можно назвать итеративным (итерационным). Сначала берется простейший межнуклонный потенциал (например, прямоугольная потенциальная яма), который может объяснить существование дейтрона и некоторые другие основные свойства ядерных сил, а затем показывается необходимость перехода к более сложным потенциалам, которые могут объяснить более обширную совокупность экспериментальных фактов [1, с. 9–35; 2, с. 78–92, 167–212]. Этот подход можно было бы назвать просто индуктивным, если бы каждый более сложный потенциал строился на основе предыдущего (более простого). Но основная трудность заключается в том, что для каждого модельного потенциала есть экспериментальные факты, с объяснением которых он в полной мере не справляется, поэтому такое последовательное изложение затруднительно.

2. Подход, который можно назвать индуктивно-дедуктивным. В этом случае сначала выводится выражение для общей структуры межнуклонного потенциала без указания конкретных выражений для радиальных функций (т.е. эту часть можно считать индуктивной), после чего происходит резкое упрощение потенциала до модели прямоугольной потенциальной ямы (ППЯ) для упрощения качественного исследования задачи о дейтроне [3, с. 493–499].

3. В связи с развитием методов, основанных на диаграммной технике, теория ядерных сил в последние десятилетия достигла значительных успехов с точки зрения подхода «из первых принципов». На основе этого подхода теорию ядерных сил (как и теорию дейтрона) можно было бы излагать на основе кварк-глюонной картины взаимодействия, но с математической точки зрения этот подход достаточно сложен для первой ступени обучения в вузе. Как и в случае подходов в физике атома и кристаллов, основная проблема задачи многих тел заключается в быстром росте числа переменных и уравнений в соответствии с числом частиц, входящих в систему.

4. Подход, основанный на модели ядерного ферми-газа. С точки зрения логической структуры вузовского курса физики этот подход возможен,

поскольку термодинамика и статистическая физика изучаются раньше физики атомного ядра. Вместе с тем этот подход может быть приемлемым лишь для тяжелых ядер, а в случае дейтрона он не годится не только по причине малого количества нуклонов, но и по причине затруднений математического характера при выборе конкретного потенциала межнуклонного взаимодействия.

5. Изложение на основе метода функционала плотности. Преимущество этого метода перед третьим из перечисленных выше заключается в том, что функционал плотности описывается лишь тремя пространственными переменными независимо от числа частиц в системе (как в случае электронов, так и в случае нуклонов). Преимущество перед предыдущим методом заключается в более последовательном учете обменно-корреляционных эффектов. Основные недостатки: высока чувствительность результата к выбору конкретного приближения, а в случае дейтрона количество нуклонов слишком мало (а при переходе к кваркам и глюонам возникают трудности, связанные с неабелевостью кварк-глюонных полей).

6. Указанные выше подходы можно дополнить сравнительным анализом, который позволяет сразу оценить преимущества и недостатки конкретного модельного потенциала, но при этом оказывается более уместным не в основной части курса физики атомного ядра, а, к примеру, при обобщении и закреплении материала определенной главы.

Дополнительная сравнительная характеристика подходов 1 и 2 дана в таблице 1.

Таблица 1 – Два основных подхода к изложению темы «ядерные силы»

Подход	Итерационный	Индуктивно-дедуктивный
Первый этап	Перечисляются основные сведения о свойствах атомных ядер и нуклонов (без математических формул)	
Дальнейшие этапы	а) Изложение теории дейтрона в модели ППЯ; б) более общее изложение теории ядерных сил.	а) Вывод общей структуры выражения для межнуклонного потенциала на основе мезонной теории; б) изложение теории дейтрона в модели ППЯ.
Примечания	Необходимость уточнения выражения для межнуклонного потенциала выводится на основе того, что модель ППЯ объясняет не все свойства дейтрона.	Сначала по индукции осуществляется вывод общей структуры выражения для межнуклонного потенциала, а затем на примере дейтрона оно по дедукции упрощается до ППЯ.

Примеры применения сравнительного анализа даны в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика ППЯ и потенциала с центральной и тензорной частями

Потенциал	ППЯ [1, с. 9]	Центрально-тензорный [1, с. 35]
1. Существование дейтрона	объясняется.	объясняется.
2. Волновая функция	сферически симметричная $\psi(r) = u(r)/r$, внутри ямы – синусоидальная, вне ямы – экспоненциальная.	функция Рариты и Швингера $\psi_0 = \frac{1}{\sqrt{4\pi}} \left\{ \frac{u(r)}{r} + \frac{1}{\sqrt{8}} \cdot \frac{\omega(r)}{r} S_{12} \right\} \chi_{1M}.$
3. Тензорный характер ядерных сил	не учитывается.	учитывается.
4.1. Расчетная формула для магнитного момента	$\mu_d = \mu_n + \mu_p.$	$\mu_d = \mu_n + \mu_p - \frac{3}{2}(\mu_n + \mu_p - \frac{1}{2})p_D.$
4.2. Значение в ядерных магнетонах	0,8802 (экспериментальное значение 0,8574).	можно добиться точного согласия с экспериментальным значением путем подбора p_D .
5.1. Расчетное значение вклада d-волны	вклад в точности равен нулю	$p_D = 0.04$ [1, с. 38].
5.2. Согласие с экспериментом	хуже, чем в случае центрально-тензорного потенциала.	лучше, чем в случае сферически симметричного потенциала.
6.1. Расчетное значение электрического квадрупольного момента	в точности равен нулю.	$Q = 2.82 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2.$
6.2. Согласие с экспериментом	приближенное в том смысле, что на самом деле значение отлично от нуля, хотя и очень мало.	лучше чем в случае сферически симметричного потенциала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ситенко, А. Г. Лекции по теории ядра. / А. Г. Ситенко, В. К. Тартаковский. – М. : Атомиздат, 1972. – 351 с.
2. Маляров, В. В. Основы теории атомного ядра / В. В. Маляров. – М. : Физматгиз, 1967. – 511 с.
3. Соколов, А. А. Квантовая механика / А. А. Соколов [и др.]. – М. : Учпедгиз, 1962. – 592 с.
4. Machleidt, R. Nuclear Forces – Scholarpedia [Electronic resource] / R. Machleidt. – Mode of access: http://www.scholarpedia.org/article/Nuclear_Forces. – Date of access: 19.02.2020.