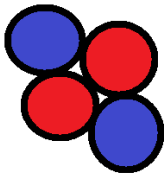
Поговорим про одночастичную и многочастичную оболочечные модели ядра (ОМО и ММО)! Это вопросы 13 и 15:
13) Модель ядерных оболочек.
15) Одночастичные возбуждения ядер. Коллективные возбуждения ядер.
Конечно, они были кучу раз прописаны, но мне хотелось бы дать простое объяснение уровня 3-го курса, дающее ПОНИМАНИЕ.

Сперва очень быстро (т.к. это как раз просто и понятно) поймём, откуда взялись оболочки. В-общем-то, из эксперимента: оказалась, что ядра с 2, 8, 20 и 56 протонами более устойчивы (их стали называть магическими). Стали думать, в чём может быть причина и придумали, что более всего устойчивы ядра, у которых заполнены оболочки.

Одночастичная модель
Начнём с вопроса: оболочки (s,p,d,f) – это понятие из атомной физики (было в школе у вас на химии). Там понятно, что электрон «вращается» вокруг атома на разных оболочках. Но в ядре-то что вращается? Где, блин, там оболочки – если



ядро, на первый взгляд, есть слепленные пластилиновые шарики?

Ответ будет развёрнутым. Начнём его вот как: перед вами две задачи по механике. Теормеха у читателя, скорее всего, ещё не было, но он наверняка сможет выбрать из этих двух задач самую простую по интуиции:

1) Дано N частиц. Каждая из которых находится в своём потенциале U(r). Найти закон движения всех частиц.
2) Дано N частиц. Между ними есть взаимодействие U(r1,r2). Найти закон движения всех частиц.

Какая из двух задач проще? Конечно, первая – в ней можно найти закон движения каждой частицы по отдельности. А во второй приходится рассматривать всю систему целиком, что приводит к катастрофе – уже для трёх тел задача не решается.
То же самое в ядре – только там и нуклонов больше, и система квантовая, что лишь усложняет выкладки.

Что же делать? Придумали вот такой способ: свести вторую задачу к первой! Давайте считать, что все частицы, кроме рассматриваемой нами, образуют некий эффективный потенциал, в котором она находится. Это так называемое приближение самосогласованного поля. Запомните, оно у вас ещё всплывёт на квантовой теории в 7-м семестре (и мимоходом на атомке в 5-м).
Пример из электростатики: пусть у нас есть два электрона, тогда первый находится в поле $\frac{e^2}{r}$. Только тут это решение точное, а в общем случае приближённого.

Так вот, в рамках этого приближения считаем, что все остальные нуклоны образуют некий потенциал U(r), в котором находится оставшийся нуклон. Явный вид потенциала U(r) вам никто не выпишет (есть разные подходы в науке, все по большинству подгонные под эксперимент), но хотя бы нам теперь понятно, откуда в ядре взялись оболочки.

Вопрос: а почему ядерные орбитали с точностью совпадает с атомными (s,p,d,f)? Ответ: это математическое свойство, связанное с центрально-симметричностью потенциала. Подробно вы это будете изучать в 5-м семестре.

Теперь понятно, что такое возбуждения в одночастичной модели – это когда нуклон перескакивает на более высокорасположенный уровень.

Дополнительные замечания к одночастичной модели

1) Полезно представлять вид потенциала U(r), т.н. нуклон-нуклонного потенциала:

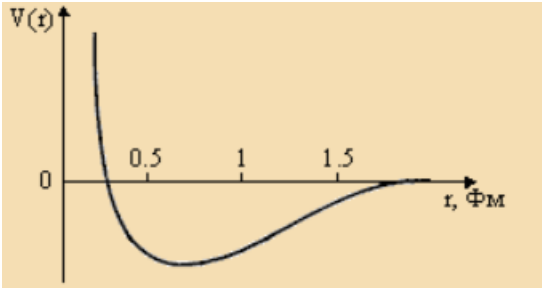
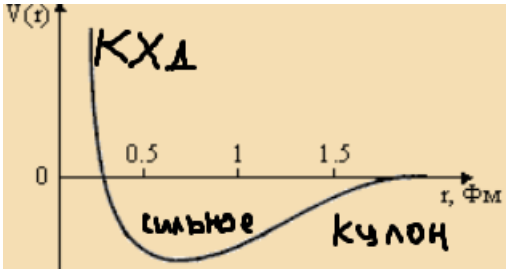


Рис. 4. Нуклон-нуклонный потенциал

Видно, что минимум обусловлен сильным взаимодействием (которое обеспечивает притяжение), правая же часть – отталкивающим Кулоном. При $r \to 0$ $U(r) \to \infty$. Это связано с тем, что при малых r начинают играть эффекты… кстати, вопрос к читателю. Чего?
а) квантовой электродинамики (КЭД)
б) квантовой хромодинамики (КХД)

в) теории струн
г) общей теории относительности
Ответ на следующей странице!
Конечно, квантовой хромодинамики – теории, отвечающей за релятивистский случай сильного взаимодействия.



В этом случае начинают возникать всякие дополнительные частицы, да и кварки подключаются (нуклоны так близко, что уже соприкасаются кварками). Короче, полная жесть, не лезьте туда ☺
2) Часто произносят словосочетание «магнитный момент ядра». Откуда они тут берутся? Потому что вращающийся электрон – это, с точки зрения электромагнетизма, кольцо с током. Но протон – тоже заряженная частица, и он тоже в рамках самосогласованной модели «вращается» вокруг остального ядра. Отсюда и возникает магнитный момент ядра.

Многочастичная модель
А что же такое многочастичная модель? Это иной подход, говорящий о том, что вместо фокусировки на частицах следует обратить внимание на колебания в ядре. Мне сразу вспоминается слэм на рок-концертах – ну знаете, когда в толпе начинаются волны из восторженных людей:

Представьте себе, что частицы скреплены между собой пружинками – тогда наверняка между ними возможны различные натяжения. Идея коллективного возбуждения состоит в том, что вместо того, чтобы рассматривать поведение

частиц, следует рассматривать поведение именно мод колебаний: какая мода появилась, какая затухла?
Обычно эту мысль дорабатывают, говоря «перейдём от частиц к фононам». Фононы – это моды колебаний. В общем они похожи на частицы: могут повлияться при наличии энергии, убиваться с высвобождением энергии, с точки зрения математики у них тоже есть общие свойства (коммутационные соотношения, не будем углубляться, что это). Поэтому их называют квазичастицы.

Ну а возбуждение в коллективной модели ядра – это возникновение фонона, т.е. возникновение моды колебаний. Пошла любимая песня – и начался слэм ☺

Итог
Подводя итог, я скажу, возвращаясь к билету, что и в рамках той, и другой моделей можно описывать возбуждения ядра. Какие-то ядра лучше описываются одной, какие-то другой (обе приближённые, поэтому где-то это приближения хорошие, а где-то не очень) – поэтому обе и живы, а не так, чтобы одна из моделей умерла за непригодностью.