

§ 6. Другие модели и заключительные замечания

1. Кроме рассмотренных выше для объяснения различных деталей структуры ядра используется целый ряд других моделей. Почти все эти модели являются вариантами (упрощенными или, напротив, обобщенными) предыдущих.

2. *Ферми-газ*. Предельно упрощенный вариант оболочечной модели, в котором нуклоны трактуются как идеальный ферми-газ, заключенный внутри большого (в пределе неограниченного) объема. Область применимости: простое качественное объяснение некоторых общих свойств ядра, таких как насыщение ядерных сил, существование большой энергии симметрии и др.

3. *Ядерная материя*. В этой модели изучаются свойства несуществующей в природе гипотетической сплошной среды, состоящей из одинакового количества нейтронов и протонов. При этом не учитывается кулоновское взаимодействие протонов, препятствующее созданию ядер очень больших размеров. Считается, что центральные области тяжелых ядер по своим свойствам близки к ядерной материи. Область применимости модели: вычисление плотности и удельной энергии связи ядерной и нейтронной материи, объяснение насыщения ядерных сил и др.

4. *Модель оболочек со спариванием*. В этом варианте модели оболочек остаточное взаимодействие учитывается введением сил спаривания, действующих только между нуклонами одного сорта, у которых квантовые числа n , l , j совпадают, а проекции m_j равны по абсолютной величине и противоположны по знаку. (Математический аппарат учета сил спаривания был создан Н. Н. Боголюбовым.) В этой модели хорошо объясняются (уже не феноменологическим постулированием результата, а расчетным путем) спины и четности основных и многих низших возбужденных состояний почти всех ядер. Замечательным успехом модели со спариванием является объяснение частичной сверхтекучести ядерной материи, т. е. получение правильных значений моментов инерции ядер (см. § 3, п. 3).

5. *Модель нуклонных ассоциаций*. В старом переупрощенном варианте этой модели ядро трактуется как состоящее из более легких ядер. Например, ядро ${}^6_3\text{Li}$ считалось связанным состоянием α -частицы и дейтрона, ядро ${}^{12}_6\text{C}$ — связанным состоянием трех α -частиц и т. д. В современном варианте волновая функция ядра берется в виде суперпозиции волновых функций различных связанных состояний указанного выше типа. С помощью модели нуклонных ассоциаций успешно объясняется структура большого числа состояний различных легких ядер. Область применимости модели ограничена определенным кругом состояний легких ядер.

6. *Модель оболочек с остаточным взаимодействием*. Это наиболее общая (и наиболее современная) форма модели оболочек, в кото-

рой тем или иным способом подбирается потенциал остаточного взаимодействия. Модель очень громоздка математически, но позволяет объяснять (а часто и предсказывать) большое количество данных о характеристиках различных уровней и о многих свойствах ядерных реакций и ядерных распадах.

7. В заключение попробуем, воспользовавшись модельными представлениями, ответить на вопрос, на что же похоже ядро, с каким из знакомых состояний вещества более всего сходно ядерное вещество.

На сегодняшний день главным свойством ядерной структуры следует считать существование в ядре независимых движений, скажем осторожно, одночастичного типа. Путь к пониманию этого свойства был долгим и мучительным, так как оно обосновывается не одним-двумя определяющими фактами, а лишь обширной совокупностью данных о статических свойствах, спектрах возбужденных состояний, а также о ядерных реакциях. Из этого свойства следует, что ядро более всего похоже на вырожденный ферми-газ, т. е. на плотный идеальный газ, состоящий из частиц, подчиняющихся принципу Паули, и находящийся при температуре, соответствующей энергии kT , намного меньшей кинетической энергии последнего заполненного состояния. Такой «ядерный газ» похож на электронный газ в кристаллах.

Эта аналогия с газом, однако, весьма ограничена уже потому, что ядро само по себе имеет конечный объем и почти постоянную плотность, а не стремится занимать максимальный объем, как это положено газу. Постоянство плотности роднит ядро с жидкостью, которую из-за резкого проявления квантовых свойств называют ферми-жидкостью. Но капля жидкости должна иметь сферическую форму.

Поэтому существование большого числа ядер, форма которых в равновесном состоянии несферична, с определенностью показывает, что у ядра имеются свойства, роднящие его с кристаллическим состоянием вещества.

Но и на кристалл в целом ядро похоже мало из-за наличия в последнем одночастичных внутренних движений, свойственных атомам не кристалла, а газа. Круг замкнулся. Заметим, что в этот круг не попало четвертое (и самое распространенное во Вселенной) агрегатное состояние вещества — плазма. Это не случайно. Ядро менее всего похоже на плазму, основными свойствами которой являются низкая плотность и главенствующая роль дальнедействующих (кулоновских) сил.

Мы приходим к выводу, что ядро является новым своеобразным состоянием вещества, имеющим общие черты с ферми-газом, ферми-жидкостью и твердым телом.