

§ 15. Учет нуклон-нуклонных корреляций.

Фолдинг-модель очень усредненно (косвенно) учитывает корреляции движения нуклонов. Однако, модель свертки все равно работает! Это связано с тем, что в сечении рассеяния дает основной вклад область около радиуса сильного поглощения r_{sa} (strong absorption) – см. рис. 6.2. Область A_1 важна при взаимодействии тяжелых ионов. Они слабо проникают в ядро и здесь хорошо работает метод свертки. Область α ответственная за взаимодействие с альфа-частицами, так как они сильнее проникают в ядро. Область N соответствует глубокому проникновению в ядро. Именно в двух последних областях при $r < r_{sa}$ и важны нуклон-нуклонные корреляции, а фолдинг-модель работает плохо. Нужно учесть два типа корреляций : обменные и многочастичные.

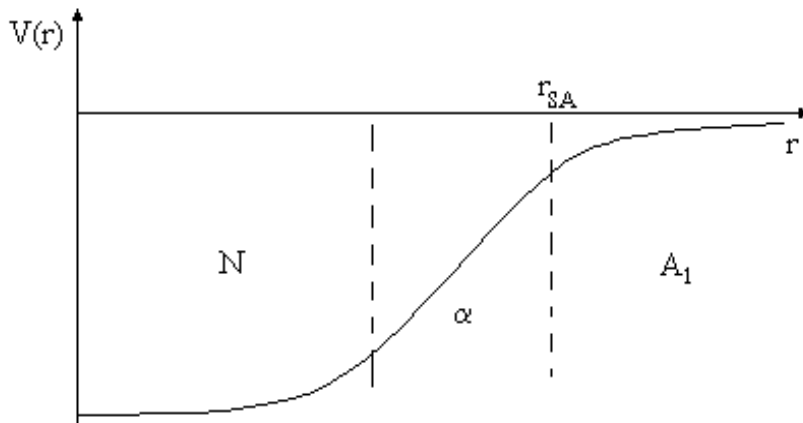


Рис.6.2.

1. Метод матрицы плотности.

Матрица плотности облегчает учет принципа Паули (т. е. учет обменных корреляций). Запишем интеграл свертки для центральных эффективных сил:

$$U_{NA}(\vec{r}) = \int \rho(\vec{r}') \cdot V(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}' = \int \sum_{i=1}^A \phi_i^*(\vec{r}') \phi_i(\vec{r}') \cdot V(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}' \quad (6.56)$$

Выражение (6.56) представляет собой прямой потенциал свертки. Учтем принцип Паули. Для фермионов волновые функции должны быть антисимметризованы. Например, для двух нуклонов мы имеем:

$$\phi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot [\phi_1(\vec{r}_1) \phi_2(\vec{r}_2) - \phi_1(\vec{r}_2) \phi_2(\vec{r}_1)]$$

В этом примере видно, что $\phi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = -\phi(\vec{r}_2, \vec{r}_1)$. Таким образом, для учета обменных корреляций надо добавить обменный потенциал свертки, действие которого на волновую функцию системы дает:

$$- \int \sum_{i=1}^A \phi_i^*(\vec{r}') \phi_i(\vec{r}') \cdot V(|\vec{r} - \vec{r}'|) \phi(\vec{r}') d\vec{r}'$$

Сумма, стоящая в этом интеграле, есть матрица плотности в координатном представлении:

$$\rho(\vec{r}', \vec{r}) = \sum_{i=1}^A \phi_i^*(\vec{r}') \phi_i(\vec{r}) \quad (6.57)$$

Потенциал свертки стал нелокальным. Его действие на волновую функцию системы можно записать в виде:

$$U_{NA}(\vec{r})\phi(\vec{r}) = \int \rho(\vec{r}')V(|\vec{r} - \vec{r}'|)d\vec{r}' \cdot \phi(\vec{r}) - \int \rho(\vec{r}', \vec{r})V(|\vec{r} - \vec{r}'|)\phi(\vec{r}')d\vec{r}' \quad (6.58)$$

Уравнение Шредингера принимает вид интегро-дифференциального уравнения:

$$\{T(\vec{r}) + U_d(\vec{r}) - E\}\phi(\vec{r}) + \int U_e(\vec{r}, \vec{r}')\phi(\vec{r}')d\vec{r}' = 0 \quad (6.59),$$

где $U_d(\vec{r}) = \int \rho(\vec{r}') \cdot V(|\vec{r} - \vec{r}'|)d\vec{r}'$ - прямой фолдинг-потенциал (6.60),

а $U_e(\vec{r}, \vec{r}') = -\rho(\vec{r}', \vec{r})V(|\vec{r} - \vec{r}'|)$ - обменный потенциал (6.61).

Найти решение уравнения (6.59) затруднительно, поэтому проводят локализацию обменного члена, и уравнение принимает простой вид :

$$\{T(\vec{r}) + U_d(\vec{r}) + U_e^{loc}(\vec{r}) - E\}\phi(\vec{r}) = 0 \quad (6.62).$$

Для практических расчетов важно, что подходящий выбор эквивалентного локального потенциала обнаруживает зависимость от энергии.

2. Учет многочастичных корреляций.

Эффективный ядерный потенциал зависит от плотности. Это связано как с неоднородностью ядерной среды, так и с наличием трехчастичных сил. Для введения зависимости эффективного потенциала от плотности руководствуются принципом насыщения ядерных сил. Так как плотность зависит от расстояния, то эффективные силы тоже зависят от расстояния. Расчеты показывают, что величина эффективных сил обратно пропорциональна плотности.

Взаимодействие строят в следующем виде:

$$V_{eff}(\vec{r}, \vec{r}', \rho) = V(s) \cdot F(\rho) \quad (6.63),$$

где s – модуль вектора относительного расположения частиц, а плотность ρ берут в точке, лежащей посередине между налетающим нуклоном и нуклоном ядра мишени. В качестве $V(s)$ берут обычное двухчастичное взаимодействие, например, МЗУ – взаимодействие. Зависимость от плотности в функции $F(\rho)$ представляется различными способами. Например,

$$V_{eff}(\vec{r}, \vec{r}', \rho) = V(s) \cdot C \cdot \left\{ 1 - \alpha \rho \left(\frac{|\vec{r} + \vec{r}'|}{2} \right) \right\} \quad (6.64)$$

Параметры C и α в общем случае зависят от энергии. Эту зависимость находят из ядерно-структурных расчетов. Очевидно, что параметр $\alpha > 0$, так как в центре ядра эффективные силы имеют малую величину.

Оказалось, что обменные и многочастичные корреляции почти компенсируют друг друга и их учет приводит к отступлениям от теоремы свертки не более, чем на 10-15%.