

УДК 539.18

И. С. КУХТА

РАСЧЕТ ПОСТОЯННЫХ ДЛЯ РАЗНЫХ ВАРИАНТОВ ФОРМУЛЫ БЕТЕ – ВАЙЦЕККЕРА

В данной работе с помощью метода наименьших квадратов вычислены постоянные для вариантов формулы Бете – Вайцеккера, приведенных под номерами (6)–(8) в [1]. Приведем здесь эти формулы с той ж нумерацией:

$$E_{bBW} = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_{sym} \frac{(A-2Z)^2}{A} + a_p \delta \cdot A^{-1/2}, \quad (6)$$

$$E_{bBW} = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_{sym} \frac{(A-2Z)^2}{A} + a_p \delta \cdot A^{-3/4}, \quad (7)$$

$$E_{bBW} = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_{sym} \frac{(A-2Z)^2}{A} + a_p \delta \cdot A^{-3/4}. \quad (8)$$

Вычисления проводились на основе 100 и 250 изотопов. Значения поправок приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Значения коэффициентов в формуле Вайцеккера на основе 100 изотопов

Формула	a_V , МэВ	a_S , МэВ	a_C , МэВ	a_{sym} , МэВ	a_p , МэВ
6	15,55397	17,50815	0,698666	22,6159	10,52614
7	15,54407	17,16294	0,697478	22,80673	28,18459
8	15,55043	17,50064	0,698183	22,6032	27,24857

Таблица 2 – Значения коэффициентов в формуле Вайцеккера на основе 250 изотопов

Формула	a_V , МэВ	a_S , МэВ	a_C , МэВ	a_{sym} , МэВ	a_p , МэВ
6	15,85970	18,33804	0,722744	23,59624	10,58154
7	15,82051	17,89219	0,719738	23,73161	26,36254
8	15,86885	18,36325	0,723338	23,62213	26,28551

В таблице 3 приведены средние значения относительной погрешности энергии связи для 250 изотопов. 79 изотопов для вычисления постоянных использовалось в [1].

Видно, что использование большего числа изотопов для расчета постоянных приводит к более высокой точности предсказаний формулы Бете – Вайцеккера. Причем для формул (7) и (8) средняя погрешность для 250 изотопов, вычисленная при использовании постоянных, полученных на основе 100 изотопов, оказалась ниже.

Таблица 3 – Среднее значение относительной погрешности $\langle \delta E_b \rangle$, % для 250 изотопов

Число изотопов при вычислении поправок	79	100	250
Формула (6)	0,458	0,272	0,271
Формула (7)	0,458	0,276	0,279
Формула (8)	0,463	0,273	0,274

Проверим точность предсказаний для 79 изотопов, рассмотренных в [1]. Погрешность приведена в таблице 4. Здесь также приведены результаты для формулы (5) [1].

Таблица 4 – Среднее значение относительной погрешности $\langle \delta E_b \rangle$, % для 79 изотопов

Число изотопов при вычислении поправок	79	100	250
Формула (5)	0,362	0,378	0,370
Формула (6)	0,357	0,362	0,350
Формула (7)	0,357	0,380	0,371
Формула (8)	0,350	0,363	0,351

В большинстве случаев большую точность для 79 изотопов обеспечивают значения постоянных, вычисленных на основе этих же изотопов. Однако в случае формулы (6) выше оказалась точность при использовании значения постоянных, вычисленных на основе 250 изотопов. Также наибольшую точность эти значения дают и для 250 изотопов. Таким образом, при используемом критерии оптимальности наилучшие результаты обеспечивает использование формулы (6) со значениями поправок, найденных для 250 изотопов. Отметим, что в [1] самые точные результаты также получились для формулы (6), для другого метода нахождения значений поправок.

Представляет интерес исследование точности предсказаний формул со значениями постоянных, вычисляемых другими способами из [1], а также расчет значений постоянных для большего числа изотопов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кац, П. Б. Формула Бете – Вайцзеккера. Обзор и подбор коэффициентов / П. Б. Кац, С. М. Удовенко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 4, Фізіка. Матэматыка. – 2021. – № 2. – С. 26–45.

УДК 539.171

А. В. ЛАВРЕНТИКОВ

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ПРОТОНОВ ПРИ НИЗКИХ И ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Изучение взаимодействия протона с протоном осуществляется в основном через эксперименты по рассеянию протонов на протонах при различных энергиях. При этом есть возможность сравнить особенности взаимодействия в различных диапазонах энергии. Перечислим некоторые из них.

1. При энергиях $E < 1$ МэВ ядерное взаимодействие полностью экранируется кулоновским отталкиванием, поэтому учитывается только кулоновское взаимодействие и взаимодействие магнитных моментов как поправка. При E от нескольких МэВ появляется поправка к фазам рассеяния, обусловленная ядерным взаимодействием.

2. При более высоких энергиях, но с соблюдением условия, что орбитальный момент относительного движения протонов все еще равен нулю, ядерное взаимодействие между ними проявляется только в синглетном состоянии (вследствие малости радиуса действия ядерных сил и принципа Паули для триплетного состояния). С дальнейшим повышением E ядерное взаимодействие проявляется и в триплетном состоянии (с суммарным спином, равным единице).

3. При $E < 500$ МэВ рассеяния упругое, при $E > 500$ МэВ – неупругое (начинают рождаться пионы, а затем и более тяжелые частицы).

4. Пусть угол рассеяния равен 90° . Если при низких энергиях произведение квадрата волнового вектора относительного движения протонов на сечение рассеяния растет от нуля, то для $E > 20$ МэВ оно начинает убывать и достигает минимума при $E \approx 70$ МэВ, после чего вновь возрастает, и это позволяет сделать вывод о наличии ядерных сил отталкивания между нуклонами при малых расстояниях, т. е. если кулоновские силы между протонами всегда отталкивающие, то ядерные могут быть как отталкивающими, так и притягивающими.