

В. А. КРАВЦОВ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ИЗМЕНЕНИИ ЭНЕРГИЙ СВЯЗИ НУКЛОНОВ В ЯДРАХ

(Представлено академиком В. А. Фоком 16 IV 1953)

Сопоставляя энергии связи «последних» нуклонов в ядре, полученные из экспериментальных данных, автор ранее ⁽¹⁾ установил существование следующих закономерностей: 1) энергия связи последних нейтронов увеличивается с числом протонов в ядре и убывает с числом нейтронов в ядре; 2) энергия связи последних протонов увеличивается с числом нейтронов в ядре и убывает с числом протонов в ядре. Эти закономерности, но только для тяжелых ядер, были высказаны Вей и Вуд ⁽²⁾ в работе, опубликованной позже. Уточнение экспериментальных величин показало, что эти закономерности не имеют пока исключений и поэтому, вероятно, являются универсальными. Там же ⁽¹⁾ было указано, что изменение энергий связи наибольшее у легких ядер и постепенно убывает к тяжелым ядрам.

Величины изменения энергии связи нуклонов были исследованы также и количественно. Энергии связи последних нуклонов были взяты из таблиц энергий связи, составленных автором на основании масс-спектрографических измерений, энергий ядерных реакций, энергий радиоактивных превращений и других экспериментальных данных. Эти таблицы составлены на основании экспериментальных материалов, опубликованных до 1 VII 1952 г. Часть таблиц, относящаяся к тяжелым ядрам, опубликована автором ⁽³⁾.

Из этих экспериментальных энергий связи были вычислены средние величины повышения энергии связи i_n нейтрона от присоединения к ядру одного протона и средние величины повышения энергии связи протона i_p от присоединения к ядру одного нейтрона. Величины i_n и i_p вычислялись по формулам:

$$\begin{aligned} i_n &= \frac{e_{2n}(Z+K, N) - e_{2n}(Z, N)}{2K}, \\ i_p &= \frac{e_{2p}(Z, N+K) - e_{2p}(Z, N)}{2K}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $e_{2n}(Z, N)$ и $e_{2p}(Z, N)$ — энергии связи последних пар нейтронов и протонов в ядре с Z протонами и N нейтронами (см., например, формулы 12 и 13 в ⁽³⁾).

На рис. 1 построена гипербола

$$i_n = \frac{24}{N}, \quad (2)$$

а на рис. 2 гипербола

$$i_p = \frac{24}{Z}; \quad (3)$$

точки — экспериментальные значения.

Как видно из рис. 1 и 2, соответствие кривых экспериментальным точкам очень хорошее.

Из тех же экспериментальных данных вычислялись средние уменьшения энергии связи нейтрона d_n от присоединения к ядру одного

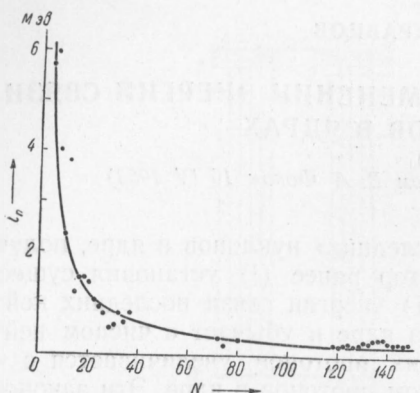


Рис. 1

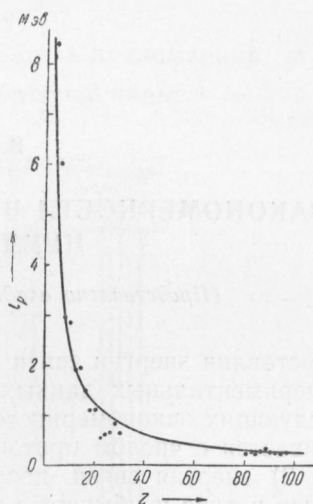


Рис. 2

нейтрона и средние уменьшения энергии связи протона d'_p от присоединения к ядру одного протона. Величины d_n и d'_p вычислялись по формулам

$$d_n = \frac{e_{2n}(Z, N) - e_{2n}(Z, N + K)}{2K},$$

$$d'_p = \frac{e_{2p}(Z, N) - e_{2p}(Z + K, N)}{2K}.$$
(4)

Так как уменьшение энергии связи протонов с ростом числа протонов в ядре зависит не только от ядерных сил, но и от электростатических сил, была вычислена энергия изменения электростатического взаимодействия E_e по формуле

$$E_e = \frac{e^2}{r_n},$$
(5)

где e — величина элементарного электрического заряда; r_n — радиус ядра, вычисленный по формуле

$$r_n = r_0 \sqrt[3]{A},$$
(5')

где A — массовое число, а r_0 — постоянная, принятая равной $1,38 \cdot 10^{-13}$ см в соответствии с экспериментальными данными работы (4).

На рис. 3 построена кривая

$$d_n = \frac{20}{Z},$$
(6)

а на рис. 4 кривая

$$d'_p - E_e = \frac{20}{N};$$
(7)

точки — экспериментальные значения.

Согласие экспериментальных точек с кривыми хуже, чем на рис. 1 и 2, но все же удовлетворительное. Как видно из расположения точек на рис. 4, электростатическая поправка улучшает расположение точек. Если бы радиус ядер r_n рос медленнее, чем следует по формуле (5'),

т. е. если плотность тяжелых ядер была бы больше, чем плотность легких, экспериментальные точки на рис. 4 приблизились бы к кривой.

Формулы (2), (3) и (6), (7) демонстрируют в известной мере зарядную независимость энергий связи нуклонов в ядре. Для удовлетворения этой зарядной независимости достаточно, чтобы законы ядерных сил взаимодействия протонов с протонами ($p-p$) были одинаковыми с законами взаимодействия нейтронов с нейтронами ($n-n$). Это не противоречит выводам из опытов по рассеянию протонов и нейтронов в работах (5, 6). Действительно, опыты по рассеянию показывают, что взаимодействие протонов с нейтронами при больших энергиях (>30 Мэв) несколько отличается от взаимодействия протонов с протонами. Но эти данные ничего не говорят о различии взаимодействия $p-p$ и $n-n$.

Энергия связи нуклона представляет собой эффективную энергию взаимодействия целого ядра с нуклоном и поэтому зависит от многих факторов. Эта энергия будет зависеть не только от закона ядерных сил, но и от состояния всех нуклонов в ядре, т. е. от орбитальных моментов, симметрии, спинов и т. д. Но все же наличие столь

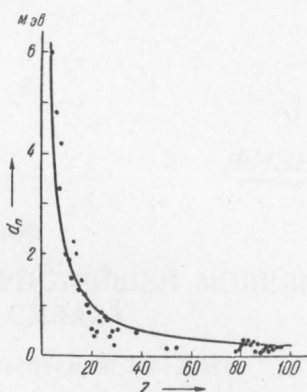


Рис. 3

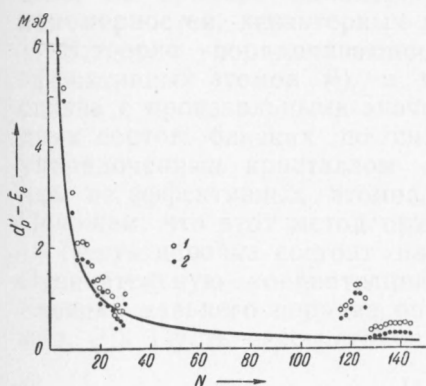


Рис. 4. 1 — экспериментальные значения d'_p , 2 — экспериментальные значения d_p за вычетом поправки на энергию электростатического взаимодействия

простой зависимости позволяет надеяться, что она вызвана каким-то основным фактором, возможно, законом ядерных сил. Отклонения экспериментальных точек от кривых имеют такой же порядок величины, как погрешности, но все же некоторые из них могут быть объяснены иначе. В частности, на рис. 4 ясно виден резкий выступ экспериментальных точек при $N = 126$, который может быть объяснен только влиянием замыкания протонно-нейтронной оболочки в районе ядра ${}_{82}\text{Pb}^{208}$. На других графиках как будто бы намечаются нерегулярности в том же районе. Таким образом, эффект оболочек в основном сказывается на зависимостях, выраженных формулами (2), (3), (6) и (7), очень незначительно.

Анализ указанных здесь экспериментальных закономерностей и их уточнение следует продолжить по мере увеличения и уточнения экспериментальных данных. Всякая теория ядерных сил и теория строения ядра наряду с объяснением других фактов должна будет найти объяснение и этим довольно простым закономерностям.

Поступило
13 X 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. А. Кравцов, ДАН, 78, 43 (1951); 78, 239 (1951). ² K. Way, M. Wood, Bull. Am. Phys. Soc., 27, No. 1, 33 (1952). ³ В. А. Кравцов, Усп. физ. наук, 47, 341 (1952). ⁴ J. De-Juren, N. Knable, Phys. Rev., 77, 606 (1950). ⁵ R. Christian, E. Hart, *ibid.*, 77, 441 (1950). ⁶ R. Christian, H. Noyes, *ibid.*, 79, 85 (1950).