

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ОТДЕЛЕНИЯ НУКЛОНОВ И ЯДЕР С ПОМОЩЬЮ КАЛЬКУЛЯТОРА БАЗЫ ДАННЫХ ЦДФЭ

Ядерная физика – это совокупность экспериментальных и теоретических исследований, которые связаны с изучением и анализом структуры атомных ядер, свойств ядерных сил, законов изменения и превращения ядер при распадах и ядерных реакциях, взаимодействий ядерного излучения с веществом, фундаментальных взаимодействий и элементарных частиц. В курсе «Физика ядра и элементарных частиц» рассматривают процессы, происходящие на ядерном уровне, т.е. на масштабах длин, соизмеримых с размерами ядра порядка 1 Ферми, на очень малых расстояниях и при очень больших энергиях, приходящихся на одну частицу. При этом важно отображение и интерпретация физической сущности рассматриваемого явления, быстрота и возможность получения результата, особенно численного значения.

Использование на практических занятиях по физике ядра и при подготовке к ним такой интерактивной информационной системы как реляционные базы ядерных данных веб-сайта Центра данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ МГУ [1] позволяет превратить стандартное учебное занятие в исследовательский эксперимент. Объединенный интерфейс системы обеспечивает широкие и гибкие возможности одновременной работы со всеми базами данных (БД) сайта. Универсальная интегрированная электронная система информации по атомным ядрам и ядерным реакциям ЦДФЭ находится в свободном доступе, постоянно обновляется и предоставляет наиболее точные экспериментальные значения величин. В настоящее время на веб-сайте ЦДФЭ размещены калькулятор, состоящий из пяти частей, и графическая система для параметров атомных ядер и характеристик ядерных реакций и радиоактивных распадов.

Знание методики работы с БД, способов извлечения информации и механизмов вычислений на калькуляторе веб-сайта ЦДФЭ дает возможность пользователям эффективно организовать учебный процесс. Рассмотрим калькулятор «Энергии отделения нуклонов и ядер» БД, работа которого основана на использовании самых современных и надежных данных по массам атомных ядер и известных формулах ядерной физики. Он позволяет быстро и точно рассчитать значения энергий отделения единичных нуклонов или пары нуклонов от известных ядер, а также в наглядной графической форме представить зависимости энергий отделения одного и двух нейтронов или протонов от полного числа нуклонов A .

Методика расчетов на калькуляторе «Энергии отделения нуклонов и ядер» заключается в следующем:

– во-первых, необходимо заполнить поля на форме, т.е. задать входные параметры, такие как числа протонов Z , нейтронов N и нуклонов A , выбрать согласно условию решаемой задачи варианты расчета. При этом поля N и A могут остаться пустыми, тогда они заполнятся автоматически;

– во-вторых, при нажатии кнопки «Вычислить» начинается работа калькулятора, результатом которой является выходная форма запроса в виде таблицы с полученными численными значениями. Данная форма появляется в новой вкладке;

– в-третьих, вернувшись на входную форму, с помощью кнопки «Построить график» можно получить зависимости энергии отделения протона (B_p) и нейтрона (B_n) от полного числа нуклонов A для различных изотопов исследуемого ядра. График позволяет проанализировать полученные результаты;

– в-четвертых, кнопка «Очистить» на входной форме дает возможность повторить расчеты для любого числа ядер без обновления вкладки.

Калькулятор рассчитывает энергии по формулам:

Энергия отделения протона $B_p = m_p + M_{яд}(Z - 1, A - 1) - M_{яд}(Z, A)$.

Энергия отделения нейтрона $B_n = m_n + M_{яд}(Z, A-1) - M_{яд}(Z, A)$.

Рассмотрим, как работает эта методика на примере определения энергии отделения нейтрона и протона от изотопов ядра иттрия ${}_{39}\text{Y}$. На рисунке 1 представлена входная и выходная формы запроса, которые сформировались в результате заполнения полей «Z»: 39; «A»: 78, 88, 98, 108; «Варианты отделения»: n, p; «Тип атомных ядер»: Только четные; «На оси абсцисс»: A и нажатии кнопки «Вычислить».

2. Энергии отделения нуклонов и ядер

Каждое поле формы может быть пустым. [\[Помощь... \]](#)

Входные параметры	
Z:	<input type="text" value="39"/> Пример: 20, 40-60
N:	<input type="text"/> Пример: 20, 40-60
A:	<input type="text" value="78,88,98,108"/> Пример: 20, 40-60
Варианты отделения:	<input type="text" value="n,p"/> Примеры: n, 2n, 2d, 16O+2t+n, n+p, 13C+a, 62Ni, 13C+1H
Тип атомных ядер:	<input type="radio"/> Все ядра <input checked="" type="radio"/> Только четные <input type="radio"/> Только нечетные
На оси абсцисс:	<input type="radio"/> Z <input type="radio"/> N <input checked="" type="radio"/> A

Result - Energy of separation 1 neutron (Bn), Energy of separation 1 proton (Bp):

Elem	Z	N	A	Bn	Bp
Y	39	39	78	13.6715	1.9850
Y	39	49	88	9.3526	6.7077
Y	39	59	98	4.2805	10.9680
Y	39	69	108	3.0715	-

Рисунок 1 – Входная и выходная формы запроса калькулятора «Энергии отделения нуклонов и ядер» для изотопов ядра иттрия ${}_{39}\text{Y}$

На основе численных данных по энергии можно построить графики зависимости энергии отделения протона (B_p) и нейтрона (B_n) от числа нейтронов N и полного числа нуклонов A для различных изотопов иттрия (рисунки 2, 3), нажав кнопку «Построить график». Отличие в заполнении входной формы заключается только в выборе числа N или A в поле «На оси абсцисс».

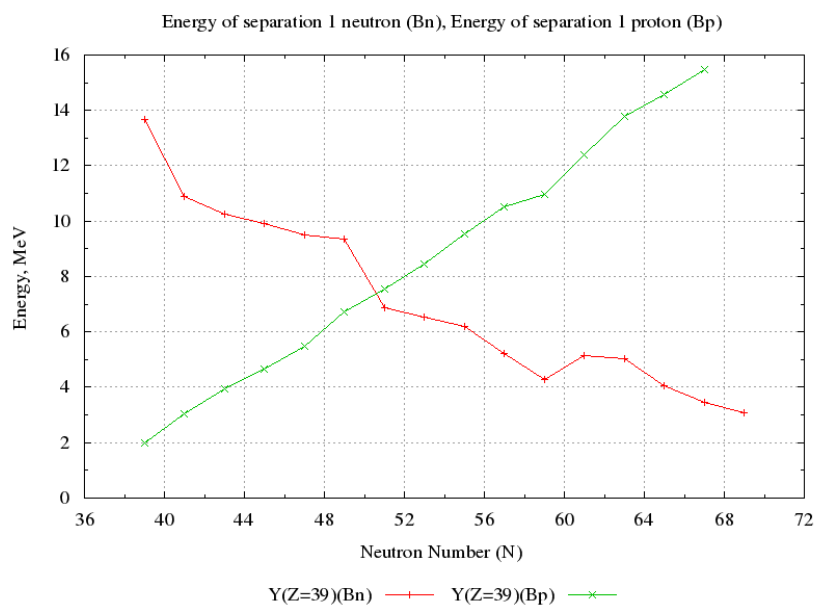


Рисунок 2 – Зависимости энергии отделения нейтрона $B_n(A, Z)$ и протона $B_p(A, Z)$ от числа нейтронов N для различных изотопов иттрия

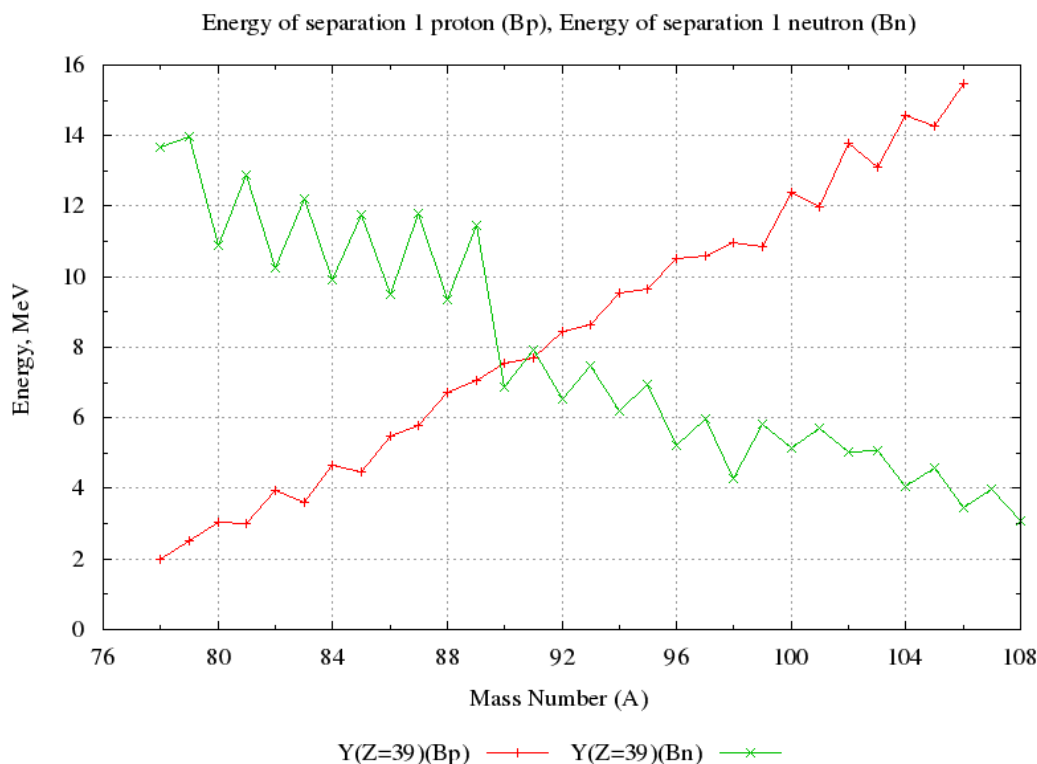


Рисунок 3 – Зависимости энергии отделения нейтрона $B_n(A, Z)$ и протона $B_p(A, Z)$ от массового числа A для различных изотопов иттрия

Из рисунков 2 и 3 видно, что энергия отделения протона B_p от изотопов иттрия увеличивается с ростом числа нейтронов N и массового числа A и лежит в интервале от 2 до 15,5 МэВ. При этом энергия отделения нейтрона B_n уменьшается с ростом этих чисел и находится в пределах от 3 до 13,8 МэВ. Такое поведение энергии отделения объясняется ролью энергии симметрии, которая возникает в ядре в результате энергетического взаимодействия пары различных нуклонов ($p-n$) или пары одинаковых ($p-p$, $n-n$). Данная энергия увеличивает энергию отделения протона B_p и приводит к уменьшению энергии отделения нейтрона B_n . Значения энергий отделения примерно совпадают вблизи окрестности магического числа нейтронов $N=50$ и лежат в интервале от 6 до 8 МэВ (рисунок 2), что указывает на влияние целиком заполненных нуклонных оболочек. Пилообразность линий зависимостей (рисунок 3) свидетельствует об эффекте спаривания нуклонов в ядре, который наиболее существенен для четно-четных ядер, обладающих наибольшей устойчивостью.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование данного калькулятора на практических занятиях по физике ядра позволит наиболее точно рассчитать численные значения энергий отделения нуклонов и легких ядер от всех известных в настоящий момент изотопов. Значительно уменьшить затраты времени на получение численных данных, нежели при решении задач вручную. Значит, интерактивная работа с электронной информационной системой ЦДФЭ позволяет студентам не только сэкономить время на решение конкретной задачи, повысить точность численных расчетов, но и дает возможность провести качественную наглядную физическую интерпретацию полученных результатов. При этом увеличивается число решенных задач, чаще используются полученные ранее знания на практике, что, в конечном счете, ведет к совершенствованию умений и приобретению необходимых навыков.

Список литературы

1. Центр данных фотоядерных экспериментов [Электронный ресурс] / ЦДФЭ. 2003. URL: <http://cdfc.sinp.msu.ru/index.ru.html> (Дата доступа: 18.10.2019).