

WOLFRAM MATHEMATICA КАК ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Андреев В.В., Максименко Н.В., Дерюжкова О.М.

Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины,
Гомель, Беларусь

В работе предложен вариант использования системы *Wolfram Mathematica* в качестве электронного образовательного ресурса, необходимого при проведении лабораторно-практических занятий по ядерной физике. Возможности этой системы позволяют получить экспериментальные данные о статических свойствах атомных ядер, таких как, атомный номер, массовое число, энергия связи, а также о видах распадов всех ядерных изотопов при обращении к оператору *IsotopeData*. Визуализацию результата, а также анализ информации по свойствам атомных ядер можно проводить в режиме *on-line*.

Ключевые слова: программный модуль, статические свойства ядер.

WOLFRAM MATHEMATICA AS AN ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCE FOR THE PROBLEM SOLVING IN NUCLEAR PHYSICS

Andreev V.V., Maksimenko N.V., Deryuzhkova O.M.
Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

The paper offers the option of using the Wolfram Mathematica system as an electronic educational resource necessary for conducting laboratory-practical classes in nuclear physics. The capabilities of this system make it possible to obtain experimental data on the static properties of atomic nuclei, such as atomic number, mass number, binding energy, and also on the decay types of all nuclear isotopes when addressing the IsotopeData operator. The visualization of the result, as well as the analysis of information on the properties of atomic nuclei, can be carried out on-line.

Keywords: program module, static properties of nuclei.

Современное образование в Вузах Беларуси все больше опирается на информационные и коммуникационные технологии, использование которых в учебном процессе позволяет решить ряд важнейших педагогических задач. С их помощью можно не только повысить научно-методический уровень преподавания, мотивации студентов к обучению, но и регулярно осуществлять мониторинг и контроль знаний с помощью тестовых заданий. Инновационные методы обеспечивают интенсивный процесс формирования необходимых умений и навыков; углубление и систематизацию полученных знаний и возможности применять их на практике; индивидуальный подход и дифференциацию учебного материала, практических и лабораторных заданий, контролирующих тестов. При этом студенты достаточно активно и с явным интересом осваивают новые информационные технологии и инновационные методики их использования, которые дают возможность обучающимся самостоятельно оценивать степень своей подготовки, осуществлять самоконтроль, корректировать усвоение знаний в процессе обучения или самообразования.

Продуктивное использование в учебном процессе информационных технологий основано на электронных образовательных ресурсах (ЭОР), размещенных в Интернете на образовательных сайтах или разработанных преподавателем самостоятельно. Необходимость в ЭОР на некоторых этапах занятия или на занятии в целом определяется

только педагогической целесообразностью. В рамках такого подхода часть функций преподавателя выполняет компьютер, а применение ЭОР становится систематическим.

Одним из важнейших современных элементов образования является возможность решения и анализа задач с использованием экспериментальных физических данных, и в частности, в области ядерной физики. Для такой работы необходим мощный, но в тоже время, относительно простой ЭОР (программный комплекс). Он должен поддерживать работу с базами данных, графикой, давать пользователю средства анализа и многое другое. В качестве такого комплекса можно использовать пакет *Wolfram Mathematica* [2].

Система *Wolfram Mathematica* является одновременно и базой знаний и набором вычислительных алгоритмов. *Wolfram Mathematica* содержит мощную справочную базу примеров по ее использованию в центре документации (*Documentation Center*). С его помощью можно узнать назначение различных функций системы. Изучая примеры, которые встроены в систему в готовом для работы виде, пользователь может достаточно быстро создать собственный код, состоящий из фрагментов (или целиком) из примеров справочной системы.

Внедрение ЭОР на практических занятиях по ядерной физике позволяет применить метод учебного компьютерного моделирования. Он обладает заметными преимуществами в сравнении со стандартным проведением занятия в виде решения задач вручную. Во-первых, компьютерные модели объектов микромира реализованы наглядно, что приводит к формированию и росту визуальных представлений о моделируемой системе. Во-вторых, их удобно использовать в тех случаях, когда реальные эксперименты невозможны или затруднены, например, при изучении явления радиоактивности. В-третьих, логичность и общий подход к построению компьютерных моделей позволяют определить основные физические характеристики и свойства изучаемого микрообъекта, выявить закономерности ядерного процесса, исследовать отклик моделируемой системы на изменения ее параметров и начальных условий, проведя графическую интерпретацию. В результате использования разнообразных возможностей ЭОР при решении задач ядерной физики происходит более глубокое осмысление и усвоение учебного материала, активно растет познавательная деятельность студента и интерес к изучаемому явлению. Таким образом, ЭОР обладают огромным потенциалом в формировании профессиональных компетенций и критического мышления обучающихся.

Рассмотрим, как реализуется одно из лабораторно-практических занятий по ядерной физике, на котором в качестве электронного образовательного ресурса выбрана система компьютерной алгебры *Wolfram Mathematica*. Проиллюстрируем возможности этой системы при изучении статических свойств атомных ядер, таких как, атомный номер, массовое число, энергия связи.

Данное занятие состоит из трех частей. Первая часть подразумевает индивидуальную самостоятельную работу студента с конспектом лекций или предложенным преподавателем теоретическим материалом, который в дальнейшем будет использован при решении практической задачи. В рамках занятия необходимо изучить основные понятия и формулы, касающиеся статических характеристик и свойств атомных ядер, с помощью которых студент способен сформировать целостное представление об этих величинах.

Во время основной части занятия необходимо разработать аналитическую модель и реализовать компьютерную модель с последующим анализом, систематизацией и графической интерпретацией полученных результатов. Аналитическая модель подразумевает вывод необходимых при исследовании формул. Алгоритм решения включает формулы для определения энергии связи атомного ядра [1]:

$$E_{bin}(Z, A) = (Z m_p + (A - Z)m_n - M_Z^A)c^2,$$

удельной энергии связи:

$$\epsilon_{Z,A} = \frac{E_{bin}(Z, A)}{A}$$

и формулу Вайцзеккера для энергии связи:

$$E_{bin}(Z, A) = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 \frac{Z^2}{\sqrt[3]{A}} - a_4 \frac{(A - 2Z)^2}{A} + a_5 A^{-3/4} \delta_{Z,A},$$

$$\delta_{Z,A} = \begin{cases} 1, & \text{для чётно-чётных ядер} \\ 0, & \text{для ядер с нечётным } A \\ -1, & \text{для нечётно-нечётных ядер} \end{cases}$$

На основе аналитической модели строится компьютерная модель, при этом на первый план выходит ЭОР. Так для выбора экспериментальных данных о статических свойствах и возможности распадов всех ядерных изотопов в *Wolfram Mathematica* необходимо обратиться к оператору *IsotopeData*. Использование этого оператора позволяет получить информацию об основных характеристика атомных ядер: атомный номер или число протонов Z , массовое число A , удельная энергия связи $\mathcal{E}_{Z,A}$, квантовая статистика, масса изотопов в атомных единицах и др. Также может быть получена информация по квантовым числам и структурным свойствам ядер: спин и четность ядра, магнитный дипольный и электрический квадрупольный моменты ядер. Имеющиеся данные, связанные с распадами ядер, содержат информацию о периоде полураспада радиоактивного ядра, времени жизни, возможных каналах распада и др.

Приведем ряд примеров, позволяющих получить информацию о статических свойствах стабильных изотопов. Для выбора стабильных изотопов из всей базы данных используется команда *IsotopeData*[«Stable»]. С помощью примера из справочной системы легко создать программный код, который «выводит» на экран информацию о стабильных изотопах. На рисунке 1 представлен программный модуль, который позволяет извлечь информацию об атомном номере Z , массовом числе A и энергии связи $E_{\text{я.}}(Z, A)$ (в мегаэлектронвольтах (МэВ)).

```

In[ ]:= energybinding[{x_, y_, z_, s_}] := {x, y, z, y s};
vals =
  Table[IsotopeData[#, prop],
    {табл... | данные об изотопах
      {prop, {"AtomicNumber", "MassNumber", "Symbol", "BindingEnergy"}}] & /@
    IsotopeData["Stable"];
    | данные об изотопах
vals1 = Map[energybinding, vals];
    | преобразовать
Text[Grid[Prepend[vals1, {"Z", "A", "Символ", "Ez,A"}, Frame → All]]
    | текст | таб... | добавить в начало | рамка | все

```

Рисунок 1. Программный модуль, позволяющий создать информационную таблицу об атомном номере Z , массовом числе A и энергии связи $E_{\text{я.}}(Z, A)$ стабильных ядер

На рисунке 2 представлен результат работы программного модуля для легких стабильных изотопов.

Z	A	Символ	$E_{Z,A}$
1	1	^1H	0. MeV
1	2	^2H	2.224566 MeV
2	3	^3He	7.718043 MeV
2	4	^4He	28.29566 MeV
3	6	^6Li	31.99407 MeV
3	7	^7Li	39.24404 MeV
4	9	^9Be	58.16482 MeV
5	10	^{10}B	64.75071 MeV
5	11	^{11}B	76.20482 MeV
6	12	^{12}C	92.16173 MeV
6	13	^{13}C	97.10804 MeV

Рисунок 2. Фрагмент работы программного модуля, отображенного на рисунке 1

Также с помощью примера из справочной системы можно построить список, содержащий численные данные зависимости удельной энергии связи $E_{Z,A}$ от атомного номера Z и массового числа A (функция **g1** на рисунке 3).

```
g1 = Table[{z, a, IsotopeData[{z, a}, "BindingEnergy"]}, {z, 1, 100},
|таблица значе... |данные об изотопах
  {a, IsotopeData[#, "MassNumber"] & /@ IsotopeData[z]} // Flatten[#, 1] &;
|данные об изотопах |данные об изотопах |уплостить
ListPlot3D[g1, Mesh -> None, PlotStyle -> GrayLevel[0.3, 0.5], InterpolationOrder -> 3,
|3-мерная диагра... |сетка |ни о... |стиль графика |уровень серого |порядок интерполяции
  PlotLabel -> Style["Удельная энергия связи", 16, Bold, Black],
|пометка гра... |стиль |жирн... |чёрный
  AxesLabel -> {Style["Z", Bold, 14], Style["A", Bold, 14], Style["εZ,A", Bold, 16]}
|обозначения н... |стиль |жирный шр... |стиль |жирный ш... |стиль |жирный шрифт
```

Рисунок 3. Программный модуль, позволяющий создать информационную таблицу об атомном номере Z , массовом числе A и энергии связи $E_{Z,A}$ стабильных ядер

Затем с помощью оператора *ListPlot3D* можно визуализировать полученные данные для дальнейшего анализа поведения величины удельной энергии связи $\mathcal{E}_{Z,A}$ для стабильных ядер (смотри рисунок 4). Из рисунка 4 следует, что для большинства ядер удельная энергия связи $\mathcal{E}_{Z,A}$ очень слабо зависит от массового числа A . В области легких ядер наблюдается резкий спад удельной энергии связи $\mathcal{E}_{Z,A}$, а для тяжелых ядер удельная энергия связи $\mathcal{E}_{Z,A}$ меньше, чем для средних, причем с ростом массового числа A наблюдается снижение ее величины.

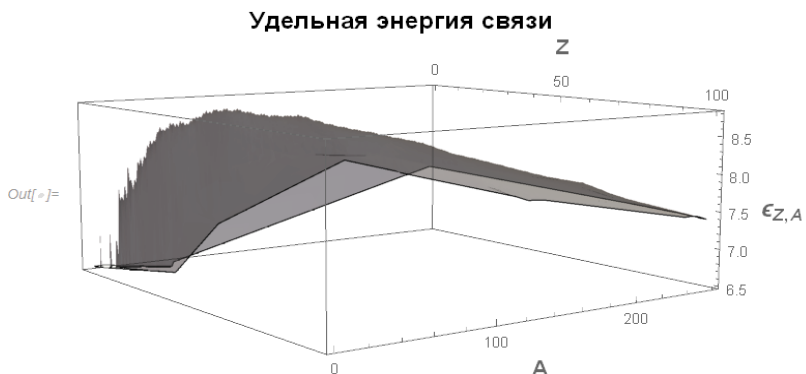


Рисунок 4. Зависимость удельной энергии связи $\mathcal{E}_{Z,A}$ стабильных ядер от атомного номера Z и массового числа A

Также несложно получить так называемую протонно-нейтронную (Z - N) диаграмму или область расположения стабильных ядер (дорожку стабильности), представленную на рисунке 5. На рисунке 5 черным цветом выделены стабильные ядра. Справа от дорожки стабильности располагаются ядра, испытывающие β^- -распад, слева – ядра, испытывающие β^+ -распад и e -захват. В области больших $A=Z+N$ находятся ядра, испытывающие α -распад и спонтанное деление. Легкие стабильные ядра ($A < 40$) имеют приблизительно равные числа протонов и нейтронов $Z \approx N$. В области более тяжелых ядер отношение числа нейтронов к числу протонов начинает возрастать.

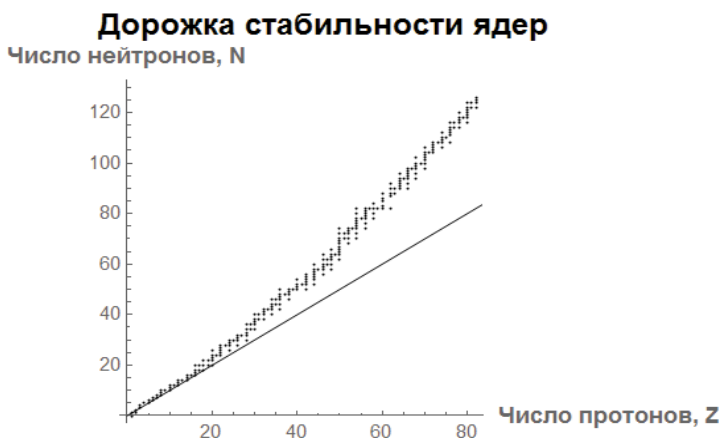


Рисунок 5. Дорожка стабильности атомных ядер

Отметим, что обработка такой информации не требует больших временных затрат при минимальной первичной подготовке студентов и преподавателей для работы с системой *Wolfram Mathematica*. При этом преподаватель и студенты получают возможность извлечь численные данные, визуализировать результаты на плоскости и в пространстве, а также анализировать информацию по статическим (и не только) свойствам атомных ядер в режиме *on-line*. Это делает процесс обучения живым и информативным.

Заключительная часть посвящена оформлению решения в виде отчета и подведению итогов. При этом преподаватель направляет, корректирует, консультирует и контролирует процесс обучения, который становится более интенсивным. Проведение таких занятий активизирует творческие способности студента, развивает умения анализировать, сравнивать, оценивать результаты, формирует навыки использования информационных технологий.

Таким образом, внедряя в процесс обучения электронные образовательные ресурсы, возможности использования которых почти не ограничены, преподаватель формирует у студентов умение работать с информационной средой, развивает информационно-коммуникационную грамотность, что очень важно в современном мире. Все это способствует личностному и профессиональному росту, самоопределению и самореализации не только студентов, но и преподавателя.

Список использованных источников:

1. Сивухин, Д.В. Атомная и ядерная физика: Учебное пособие для вузов. В 2-х ч. Ч. 2. Ядерная физика / Д.В. Сивухин. – М: Наука, 1989. – 416 с.
2. Wolfram, S. The Mathematica book / S. Wolfram. – Addison-Wesley, 1999. – 359 pp.