

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР С ПОМОЩЬЮ WOLFRAM MATHEMATICA

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

*УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»,
г. Гомель, Беларусь, vik.andreev@gsu.by, maksimenko@gsu.by, dom@gsu.by*

Исследование явлений ядерной физики сопряжено с рядом трудностей, касающихся масштабов величин микрообъектов, а также опасности, исходящей, например, от ионизирующего излучения. Теоретическое понимание данных процессов базируется на квантовой механике, а современные экспериментальные методики отличаются большой сложностью и дорогостоящей. Поэтому при проведении учебных занятий удобно применять модельный подход к описанию состава, свойств, характеристик и взаимопревращений радиоактивных атомных ядер. Это невозможно без использования современных информационных технологий или мощных математических пакетов для численных и аналитических расчетов. Данный подход позволяет провести исследование задачи, анализ данных, моделирование, тестирование, проверку существования решения, оптимизацию, документирование и оформление результата. Программные пакеты дают возможность не вникать в технику классической математики и детали вычислительных методов, а сосредоточиться на сущности явления. При этом реализуются и педагогические задачи: повышается научно-методический уровень преподавания, растет мотивация студентов к обучению, самоконтролю и самообразованию.

Эффективным и наглядным современным элементом образования является возможность решения и анализа задач с использованием экспериментальных физических данных, особенно, в области физики атомного ядра. Для этого необходим мощный программный пакет, который поддерживает работу с базами данных, графикой, справочными системами и имеет средства статистического анализа. Применяя системы компьютерной математики на практических занятиях по ядерной физике решение задач можно свести к компьютерному моделированию. Но сначала необходимо разработать аналитическую модель, которая подразумевает знание лекционного материала по выбранной теме, умение сделать вывод необходимых при исследовании формул. В данном случае алгоритм решения включает теоретические данные и расчетные формулы по радиоактивности.

Радиоактивность – процесс статистический. Для описания статистических процессов приходится использовать вероятности и величины связанные с ними. Вероятность распада ядра за единицу времени называется постоянной распада λ радиоактивных ядер данного сорта. Это значит, что из N имеющихся радиоактивных ядер за единицу времени в среднем распадается λN , а за время dt – $\lambda N \cdot dt$ ядер. Поскольку радиоактивные превращения совершаются внутри ядра, внешние условия (температура, давление, химические реакции и др.) на ход радиоактивных превращений практически не оказывают никакого влияния. После этих замечаний сформулируем основной закон радиоактивного распада. Пусть N – число (очень большое) радиоактивных атомных ядер в момент времени t , а $N+dN$ – в более поздний момент $t+dt$. Величина dN отрицательна, поскольку ядра могут только распадаться, т.е. их число убывает. На основании изложенного выше получим:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N. \quad (1)$$

Так как λ не зависит от времени, то введя начальные условия $t = 0, N(0) = N_0$ и решив ДУ (1), основной закон радиоактивного распада примет вид [1]:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где N – число нераспавшихся к моменту времени t ядер, N_0 – число нераспавшихся ядер в момент времени $t = 0$ (начальное число ядер), λ – постоянная распада, t – время распада.

Из уравнения (2) следует, что число ядер убывает во времени экспоненциально, т.е. уменьшается в $e=2,7$ раза. Формула (2) относится к тем ядрам радиоактивного вещества, которые могут только распадаться, но не могут появляться или исчезать в результате каких-либо других процессов.

Проявлением статистического характера является то, что одинаковые ядра распадаются за различное время. Поэтому обычно распады характеризуют средним временем жизни τ , которое, как показывают эксперименты, зависит от способа получения ядер и не зависит от выбора начала отсчета времени. Время жизни является физической характеристикой распада и с постоянной распада связано обратной зависимостью $\tau = \frac{1}{\lambda}$. Периодом полураспада $T_{1/2}$ радиоактивных ядер называется время в течение, которого большое число наличных радиоактивных ядер уменьшается вдвое, т.е. когда $N = \frac{N_0}{2}$, тогда используя (2) получим выра-

жение для периода полураспада: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 0,69\tau$.

На основе аналитической модели реализуется компьютерная модель. Рассмотрим, как это происходит при использовании системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica [2]. Проиллюстрируем возможности этой системы при изучении различных характеристик радиоактивных атомных ядер, таких как, атомный номер Z , массовое число A , время жизни τ и период полураспада $T_{1/2}$. Wolfram Mathematica содержит мощную справочную базу примеров по ее использованию, которая позволяет определить назначение различных функций системы. Изучая примеры, встроенные в систему в готовом для работы виде, пользователь может достаточно быстро создать собственный код, состоящий из фрагментов (или целиком) из примеров справочной системы. Для получения экспериментальных данных о свойствах атомных ядер, включая каналы распадов, в Wolfram Mathematica используется оператор IsotopeData. С его помощью появляется возможность получить информацию об основных характеристиках радиоактивных атомных ядер, таких как, атомный номер, массовое число, масса изотопов, каналы распадов нестабильных ядер, среднее время жизни, период полураспада, квантовая статистика, удельная энергия связи и другие.

Приведем ряд примеров получения информации о статических свойствах радиоактивных изотопов. Для выбора стабильных и нестабильных изотопов из базы экспериментальных характеристик используются команды IsotopeData["Stable"] и IsotopeData["Unstable"]. С помощью примера из справочной системы легко создать программный код, который «выводит» на экран информацию о нестабильных изотопах. Программный модуль, позволяющий создать информационную таблицу об атомном номере Z , числе нейтронов N и среднем времени жизни τ (в секундах) нестабильных атомных ядер представлен на рисунке 1, а). Результат работы данного модуля продемонстрирован на рисунке 1, б).

a)

```

vals =
  Take[DeleteCases[Table[IsotopeData[#, prop], {prop, {"AtomicNumber", "NeutronNumber", "Symbol", "Lifetime"}}] & /@
  |изв... |удалить случ... |табл... |данные об изотопах
  IsotopeData["Unstable"], {_, _, _, _Missing}], 12];
  |данные об изотопах
  Text[Grid[Prepend[vals, {"Z", "N", "Символ", "τZ,A"}, Frame → All,
  |текст |таб... |добавить в начало |рамка |все
  Background → {None, {{LightBlue, White, LightGreen}}, {1 → LightYellow}}]]
  |фон |ни одного... |светло-синий |белый |светло-зелёный |светло-жёлтый
  
```

б)

Z	N	Символ	$\tau_{z,A}$
0	1	^1_0n	885.7 s
1	2	^3_1H	5.605×10^8 s
1	3	^4_1H	1.4×10^{-22} s
1	4	^5_1H	1.2×10^{-22} s
1	5	^6_1H	4.18×10^{-22} s
1	6	^7_1H	3.3×10^{-23} s
2	3	^5_2He	1.10×10^{-21} s
2	4	^6_2He	1.164 s
2	5	^7_2He	4.39×10^{-21} s
2	6	^8_2He	0.172 s
2	7	^9_2He	1.0×10^{-20} s
2	8	$^{10}_2\text{He}$	2.19×10^{-21} s

Рисунок 1 – Информация о нестабильных изотопах:
а) программный модуль, б) фрагмент работы программного модуля

Следующий шаг состоит в визуализации табличных данных. С помощью примеров из справочной системы можно построить список, содержащий зависимость времени жизни τ нестабильных ядер от атомного номера Z и числа нейтронов N (функция g1 на рисунке 2).

```
g1 = Table[{a - z, z, Log[10, QuantityMagnitude[IsotopeData[{z, a}, "Lifetime"]]}], {z, 1, 118},
|таблица значений |натура... |модуль размерной ве... |данные об изотопах
{a, IsotopeData[#, "MassNumber"] & /@ IsotopeData[z]}] // Flatten[#, 1] &;
|данные об изотопах |данные об изотопах |уплостить
ListDensityPlot[g1, FrameLabel -> {Style["N", Bold, 14], Style["Z", Bold, 14]}, ColorFunction -> "Rainbow",
|график плотности массы... |пометка для об... |стиль |жирный ш... |стиль |жирный шрифт |функция оценивания
PlotLegends -> Automatic, PlotLabel -> Style["Изотопная диаграмма времени жизни", 14, Bold, Blue]]
|легенды графика |автоматиче... |пометка гра... |стиль |жир... |синий
```

Рисунок 2 – Программный модуль для создания информационной таблицы

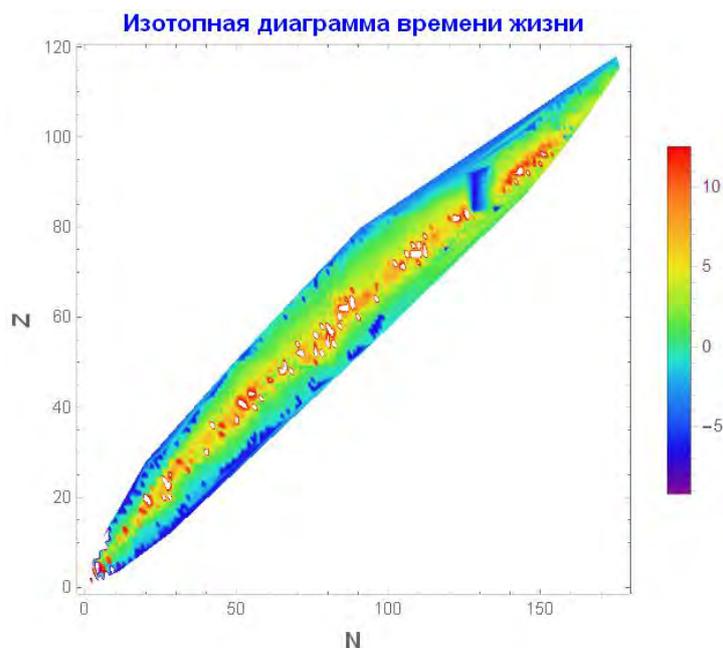


Рисунок 3 – Диаграмма плотности времени жизни для нестабильных ядер в зависимости от атомного номера Z и числа нейтронов N

Затем с помощью оператора ListDensityPlot можно визуализировать полученные данные, что позволяет изучить особенности поведения величины τ для нестабильных ядер (смотри рисунок 3). Легко заметить, что экспериментально известные ядра, включая нестабильные, образуют замкнутую область на плоскости $Z - N$. Наиболее стабильные ядра расположены вдоль центральной линии внутри контура.

Относительно просто (с помощью справочной системы Wolfram Mathematica) посредством программного модуля (рисунок 4, а)), можно получить информацию, об атомном номере Z и периоде полураспада $T_{1/2}$ всех известных ядер, которые могут спонтанно делиться. На рисунке 4, б) представлена зависимость $T_{1/2}$ от атомного номера для тяжелых атомных ядер.

а) `vals = Table[IsotopeData[#, prop], {prop, {"AtomicNumber", "HalfLife"}}] & /@`
[табл... | данные об изотопах]
`IsotopeData["SpontaneousFission"];`
[данные об изотопах]
`ListLogPlot[vals, AxesLabel -> {Style["Z", Bold, 14], Style["T1/2", c", Bold, 14]}]`
[диаграмма разброса ... | обозначения н... | стиль | жирный ш... | стиль | жирный шрифт]

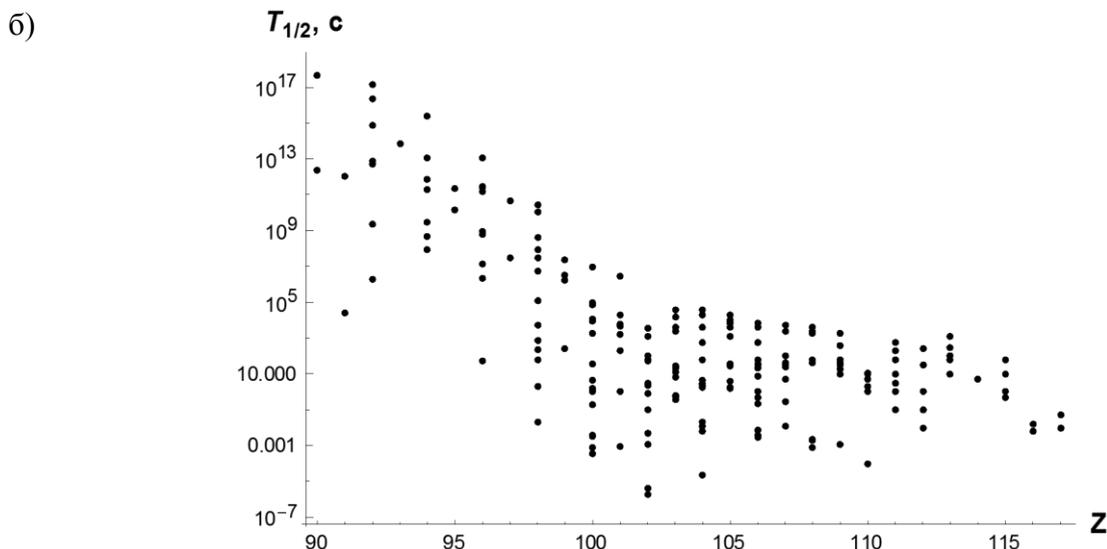


Рисунок 4 – Информация о нестабильных ядрах, испытывающих спонтанное деление:
а) программный модуль, б) результат работы программного модуля

В результате, преподаватель и студенты получают возможность визуализировать и анализировать информацию по различным свойствам атомных ядер практически в интерактивном режиме. Все это делает процесс обучения информативно-насыщенным. Заметим, что создание программных модулей не требует больших временных затрат, даже при минимальной первичной подготовке студентов и преподавателей по работе с Wolfram Mathematica.

Список литературы

1. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. В 5 тт. Т. 5. Атомная и ядерная физика / Д.В. Сивухин. – 2-е изд., стер. – Физматлит, МФТИ, 2002. – 782 с.
2. Wolfram, S. The Mathematica book / S. Wolfram. – Addison-Wesley, 1999. – 359 pp.