

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Общая физика»

СОСТАВ И СВОЙСТВА СТАБИЛЬНЫХ ЯДЕР

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 50
для студентов направлений 231000.62, 151900.62, 150700.62,
220700.62, 220400.62, 80700.62, 221700.62, 090303.65, 190109.65,
190600.62, 190110.65, 140400.62, 190600.62, 190700.62

Курган 2014

Кафедра: «Общая физика»

Дисциплина: «Физика»
(направления 231000.62, 151900.62, 150700.62, 220700.62,
220400.62, 80700.62, 221700.62, 090303.65, 190109.65,
190600.62, 190110.65, 140400.62, 190600.62, 190700.62).

Составила: канд. физ.-мат. наук, доцент Т.Н. Новгородова.

Утверждены на заседании кафедры «28» марта 2014 г.

Рекомендованы методическим советом университета «3» апреля 2014 г.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- 1 «Открытая физика 1.1» – лицензионная программа.
- 2 Персональный компьютер.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение свойств стабильных атомных ядер.

Теоретическое введение

Ядерная модель строения атома была предложена Резерфордом в 1911 г. На основании опытов по рассеянию α -частиц в веществе Резерфорд пришел к выводу, что в атоме, имеющем размеры порядка 10^{-10} м, почти вся его масса сосредоточена в небольшой положительно заряженной области – атомном ядре размером порядка 10^{-15} м, т.е. во много раз меньше размеров всего атома.

Ядро представляет собой систему, состоящую из элементарных частиц – протонов и нейтронов, удерживаемых вместе силами притяжения. Такая система достаточно хорошо описывается законами нерелятивистской квантовой механики. К числу основных характеристик стабильных ядер относятся: заряд, масса, размер, механический и магнитный моменты, четность и квадрупольный момент.

1 Основные характеристики протона и нейтрона

Масса. Масса протона $m_p = 1,00728$ а.е.м.

Масса нейтрона $m_n = 1,00867$ а.е.м.

Электрический заряд. Протон – положительно заряженная элементарная частица. Заряд протона $q_p = +1 \cdot e$, где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – элементарный заряд.

Заряд нейтрона равен нулю.

Спин. Спины нейтрона и протона равны $\frac{1}{2}\hbar$. Обе частицы являются фермионами и подчиняются статистике Ферми – Дирака, а, следовательно, и принципу Паули.

Магнитный момент. Обе частицы, входящие в состав ядра, обладают магнитным моментом. Магнитный момент протона $\mu_p = +2,79\mu_y$, где $\mu_y = \frac{e\hbar}{2m_p c}$ –

ядерный магнетон. Магнитный момент нейтрона $\mu_n = -1,91\mu_y$ (знак минус указывает на то, что направления собственных механического и магнитного моментов нейтрона – противоположны).

Взаимные превращения нуклонов. В свободном состоянии нейтрон распадается на протон, электрон и антинейтрино: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$.

Протон – частица стабильная. Однако внутри ядра он может превращаться в нейтрон по схеме: $p \rightarrow n + e^+ + \nu$.

Протон и нейтрон имеют одинаковый спин, почти одинаковые массы и могут превращаться друг в друга. Ядерные силы, действующие между этими частицами попарно, тоже одинаковы. Поэтому протон и нейтрон называют одним общим наименованием – **нуклон**. При этом говорят, что нуклон может находиться в двух зарядовых состояниях, отличающихся своим отношением к электромагнитному полю.

2 Заряд и размеры атомных ядер

Заряд ядра кратен элементарному заряду: $q_{\text{я}} = Z \cdot e$, где Z – **зарядовое число**, равное числу протонов в ядре и совпадающее с номером соответствующего химического элемента в таблице Менделеева. Общее число нуклонов в ядре называется **массовым числом** A .

Символическое обозначение ядра имеет вид: ${}^A_Z X$, где X – символ химического элемента, атому которого принадлежит ядро. Например: ${}^4_2\text{He}$ – ядро гелия, ${}^{235}_{92}\text{U}$ – ядро урана.

Химически одинаковые элементы с одним и тем же числом Z , но разными A , т.е. с одинаковым числом протонов, но разным числом нейтронов в ядре, называются **изотопами**. Например, у водорода есть еще два изотопа – дейтерий и тритий: ${}^2_1\text{H}$ – дейтерий, ${}^3_1\text{H}$ – тритий.

Ядра с одинаковым числом нуклонов A , но с разным Z , называются **изобарами**. Например: ${}^{40}_{18}\text{Ag}$ – серебро и ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ – кальций.

Попытки получить точные значения размеров ядер наталкиваются на значительные трудности. Дело в том, что частицы, из которых состоит ядро, подчиняются законам квантовой механики и, обладая одновременно корпускулярными и волновыми свойствами, должны удовлетворять соотношениям неопределенности Гейзенберга. Вследствие этого граница ядра «размыта» и представление о его размерах становится неопределенным.

В результате различных экспериментов, например, рассеяния электронов или нейтронов на ядрах, была найдена зависимость между радиусом ядра R и числом нуклонов в ядре: $R = r_0 A^{1/3}$, где $r_0 \approx 1,3 \cdot 10^{-15}$ м. Из этого соотношения видно, что объем ядра пропорционален массовому числу A и, следовательно, число нуклонов в единице объема одинаково во всех ядрах. Одинакова также и плотность всех ядер.

3 Энергия связи ядра

Точные измерения масс показали, что масса любого ядра (кроме ядра атома водорода) не равна сумме масс входящих в состав ядра частиц, а всегда меньше этой величины. Разность Δm между суммой масс нуклонов и массой ядра ($m_{\text{я}}$) называется **дефектом массы ядра**:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{я}}. \quad (1)$$

Очевидно, что полная энергия ядра отличается от суммы полных энергий составляющих его частиц, находящихся в покое и не связанных друг с другом. Дефект массы Δm характеризует **энергию связи нуклонов в ядре**, т.е. энергию, которую надо затратить, чтобы разделить данное ядро на составляющие его нуклоны без сообщения им кинетической энергии. Используя связь между энергией и массой, можно записать выражение для энергии связи ядра:

$$E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2 = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{я}}]c^2. \quad (2)$$

При образовании ядер путем соединения нуклонов часть массы нуклонов идет на энергию связи и выделяется в конечном итоге в виде тепла.

Во многих случаях, например, для сравнения устойчивости ядер, пользуются понятием удельной энергии связи – ε , характеризующей среднюю энергию связи одного нуклона в ядре. Величина ε равна отношению полной энергии связи к числу нуклонов в ядре:

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A}. \quad (3)$$

Иначе говоря, ε – это та энергия, которую в среднем надо затратить, чтобы удалить из ядра один нуклон, не сообщая ему кинетической энергии. Чем больше значение ε , тем устойчивее ядро. Приблизительная зависимость ε от массового числа A для стабильных ядер приведена на рисунке 1.

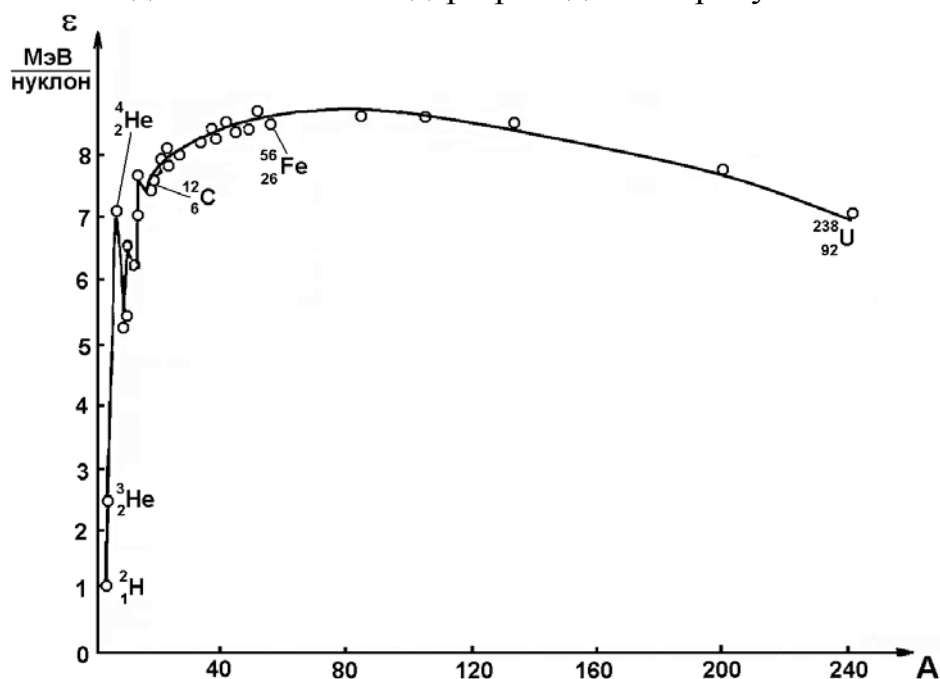


Рисунок 1 – Зависимость средней удельной энергии связи от массового числа

Из хода зависимости средней удельной энергии связи от массового числа можно сделать несколько важных выводов, на которых основывается теория ядерных сил.

- 1 Для большинства ядер ε почти одинаково. Значит, нуклон способен к взаимодействию не со всеми окружающими его нуклонами, а только с

ограниченным их числом. Это свидетельствует о том, что ядерные силы обладают *свойством насыщения*.

- 2 Удельная энергия связи имеет небольшие максимумы для ядер, число протонов или нейтронов у которых равно 2, 8, 20, 50, 82, 126. Это обстоятельство наталкивает на мысль, что ядро, подобно атому, имеет оболочечную структуру и наиболее стабильно, когда оболочка заполнена полностью.
- 3 Анализ зависимости удельной энергии связи от Z при фиксированном A показывает, что легкие ядра наиболее устойчивы при равенстве числа протонов числу нейтронов, т.е. при $Z = A/2$. Тяжелые ядра более устойчивы, когда число нейтронов превышает число протонов ($Z < A/2$).
- 4 Из рисунка 1 следует, что наибольшей удельной энергией связи обладают ядра средней части таблицы Менделеева. Тяжелые и легкие ядра имеют меньшие значения ε . Это означает, что энергетически выгодны следующие процессы:
 - а) деление тяжелых ядер на более легкие (ядерные реакции деления);
 - б) слияние легких ядер в более тяжелые (термоядерные реакции синтеза).При обоих процессах выделяется большое количество энергии.

4 Ядерные силы

Между составляющими ядро нуклонами действуют особые, специфические для ядра силы притяжения, значительно превышающие кулоновские силы отталкивания между протонами. Они называются **ядерными силами**.

С помощью экспериментальных данных по рассеянию нуклонов на ядрах, ядерным превращениям и др. доказано, что ядерные силы намного превышают гравитационные, электрические и магнитные взаимодействия и не сводятся к ним. Ядерные силы относятся к классу так называемых **сильных взаимодействий**.

Перечислим основные свойства ядерных сил:

- 1) ядерные силы – **силы притяжения**;
- 2) ядерные силы являются **короткодействующими** – их действие проявляется только на расстояниях примерно 10^{-15} м. При увеличении расстояния между нуклонами ядерные силы быстро уменьшаются до нуля, а при расстояниях, меньших их радиуса действия, оказываются примерно в 100 раз больше кулоновских сил, действующих между протонами на том же расстоянии;
- 3) ядерным силам свойственна **зарядовая независимость**: ядерные силы, действующие между двумя протонами, или двумя нейтронами, или между протоном и нейтроном, одинаковы по величине. Отсюда следует, что ядерные силы имеют неэлектрическую природу;
- 4) ядерным силам свойственно **насыщение**, т.е. каждый нуклон в ядре взаимодействует только с ограниченным числом ближайших к нему нуклонов. Насыщение проявляется в том, что удельная энергия связи нуклонов в яд-

ре (если не учитывать легкие ядра) при увеличении числа нуклонов не растет, а остается приблизительно постоянной;

- 5) ядерные силы зависят от взаимной **ориентации спинов** взаимодействующих нуклонов. Например, протон и нейтрон образуют дейтрон (ядро изотопа ${}^2_1\text{H}$) только при условии параллельной ориентации их спинов;
- 6) ядерные силы **не являются центральными**, т.е. действующими по линии, соединяющей центры взаимодействующих нуклонов.
- 7) Ядерные силы имеют **обменный характер**.

Квантовое представление о полях состоит в том, что передача взаимодействия между частицами осуществляется как процесс излучения и поглощения квантов некоторого поля. Так, например, в случае электромагнитного поля электрон испускает фотон, который поглощается другим электроном или им самим. Совокупность таких процессов испускания и поглощения фотонов и образует электромагнитное поле. Однако это не обычные фотоны – в этом можно убедиться на примере взаимодействия двух неподвижных зарядов. Очевидно, что свободный покоящийся заряд не может изменить ни свою массу, ни энергию, следовательно, казалось бы, процесс испускания и поглощения фотона $e^- \leftrightarrow e^- + \gamma$ идет с нарушением закона сохранения энергии на величину $\Delta E = h\nu$, которую уносит (приносит) γ -квант. Однако согласно принципу неопределенности в изменяющейся системе энергия не может быть вполне определенной величиной. Неопределенность энергии ΔE и промежуток времени Δt , за который происходит изменение системы, связаны соотношением: $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$. Иными словами, рассматривая процесс длительностью $\Delta t = \frac{\hbar}{\Delta E}$, бессмысленно говорить о точном значении энергии и, следовательно, сохранении энергии с точностью, большей $\Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t}$. О вполне точном сохранении энергии при переходе из одного состояния в другое можно говорить, если время перехода Δt бесконечно велико. Обменные же процессы взаимодействия происходят в ничтожно малые промежутки времени и в силу соотношения неопределенности принципиально не могут быть детально прослежены во времени. Такие процессы, которые идут с видимым нарушением энергетического баланса, принято называть *виртуальными процессами*, а частицы, которые переносят взаимодействие и не могут обладать энергией и импульсом, связанными так, как это обычно для свободных частиц, – *виртуальными частицами*.

Увеличивая энергию излучающей частицы, например, ускоряя электрон, можно виртуальные фотоны превратить в действительные, свободные, которые могут регистрироваться. Это будет процессом излучения реальных фотонов.

По аналогии с описанными выше механизмом электромагнитного взаимодействия японский физик Юкава предположил, что нуклоны взаимодействуют между собой посредством обмена «мезонными зарядами», создающими мезонное поле (т.е. поле действия ядерных сил).

В результате расчетов Юкава пришел к выводу, что частицы, с помощью которых осуществляется взаимодействие между нуклонами, должны обладать массой покоя, промежуточной между массами электрона и протона, откуда и произошло название «мезон» (от греч. μέσος – средний).

Взаимодействие, вызываемое обменом частиц с конечной массой покоя, принципиально обладает конечным радиусом действия, вне которого оно не проявляется.

Предсказанные Юкава частицы были обнаружены в 1947 г. в космическом излучении – это π -мезоны (пи-мезоны). Существует три типа π -мезонов: π^+ , π^- и π^0 -мезоны с характеристиками:

$$m_{\pi^\pm} = 273m_e; \tau_{\pi^\pm} = 10^{-8} \text{ с}; \text{ спин}=0;$$

$$m_{\pi^0} = 263m_e; \tau_{\pi^0} = 10^{-16} \text{ с}; \text{ спин}=0.$$

По современным представлениям при (n, p)-взаимодействиях происходит обмен π^\pm -мезонами и π^0 -мезонами, а при (p, p) и (n, n)-взаимодействиях – обмен только π^0 -мезонами.

5 Ядерные модели

Сложный характер ядерных сил и трудность точного решения уравнений движения всех нуклонов ядра (ядро с массовым числом A представляет собой систему из A тел) не позволили до настоящего времени разработать единую последовательную теорию атомного ядра. Поэтому на данной стадии прибегают к рассмотрению приближенных ядерных моделей, в которых ядро заменяется некоторой модельной системой, довольно хорошо описывающей только определенные свойства ядра и допускающей более или менее простую математическую трактовку. Из большого числа моделей, каждая из которых обязательно использует подобранные произвольные параметры, согласующиеся с экспериментом, рассмотрим две: *капельную и оболочечную*.

Капельная модель ядра (1936; Н. Бор и Я.И. Френкель). Капельная модель ядра является первой моделью. Она основана на аналогии между поведением нуклонов в ядре и поведением молекул в капле жидкости. Существенное отличие ядра от капли жидкости в этой модели заключается в том, что она трактует ядро как каплю электрически заряженной несжимаемой жидкости (с плотностью, равной ядерной), подчиняющуюся законам квантовой механики. Капельная модель ядра позволила получить полуэмпирическую формулу для энергии связи нуклонов в ядре, объяснила механизм ядерных реакций и особенно реакции деления ядер. Однако эта модель не смогла, например, объяснить повышенную устойчивость ядер, содержащих магические числа протонов и нейтронов.

Оболочечная модель ядра (1949-1950; М. Гепперт-Майер и Х. Йенсен). В этой модели нуклоны считаются движущимися независимо друг от друга в усредненном центрально-симметричном поле. В соответствии с этим оболочечная модель предполагает распределение нуклонов в ядре по дискретным

энергетическим уровням (оболочкам), заполняемым нуклонами согласно принципу Паули, и связывает устойчивость ядер с заполнением этих уровней. Считается, что ядра с полностью заполненными оболочками являются наиболее устойчивыми.

Оболочки, обладающие повышенной устойчивостью, образуются 2, 8, 20, 50, 82 и 126 нейтронами или протонами. Эти оболочки имеют для ядер такое же значение, как заполненные электронные оболочки атома.

Очень хорошо магические числа проявляются в данных по энергиям отрыва последнего наименее прочно связанного нуклона в ядре. В зависимости энергии связи последнего нейтрона (при фиксированном Z) от числа нейтронов в ядре обнаруживаются два эффекта: чередование значений энергии отрыва для четных и нечетных изотопов и заметный скачок на полностью заполненной оболочке. Соответствующая кривая для изотопов церия $Z=58$ приведена на рисунке 2.

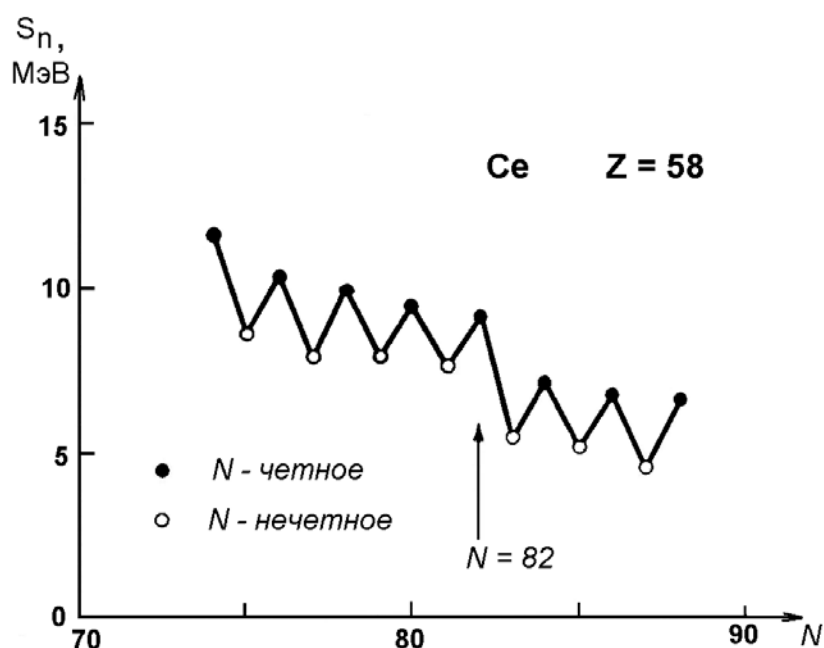


Рисунок 2 – Энергия отрыва последнего нейтрона для изотопов ядра церия

Оболочечная модель ядра позволила объяснить спины и магнитные моменты ядер, различную устойчивость атомных ядер, а также периодичность изменений их свойств. Эта модель особенно хорошо применима для описания легких и средних ядер, а также для ядер, находящихся в основном (невозбужденном) состоянии.

По мере дальнейшего накопления экспериментальных данных о свойствах атомных ядер появлялись все новые факты, не укладывающиеся в рамки описанных моделей. Так возникли *обобщенная модель ядра* (синтез капельной и оболочечной моделей), *оптическая модель ядра* (объясняет взаимодействие ядер с налетающими частицами) и т.д.

Порядок выполнения работы

Для начала работы необходимо запустить программу «Открытая физика», открыть раздел «Квантовая физика», компьютерная модель – Энергия связи ядер.

Вид рабочего поля модели приведен на рисунке 3. Два регулятора в правом нижнем углу позволяют изменять число протонов (Z) и нейтронов (N) в ядре. На графиках зависимостей $N(Z)$ и удельной энергии связи от массового числа синими точками отмечены стабильные изотопы. Схематичное изображение ядра выводится на экран в нижнем левом углу рабочего поля.

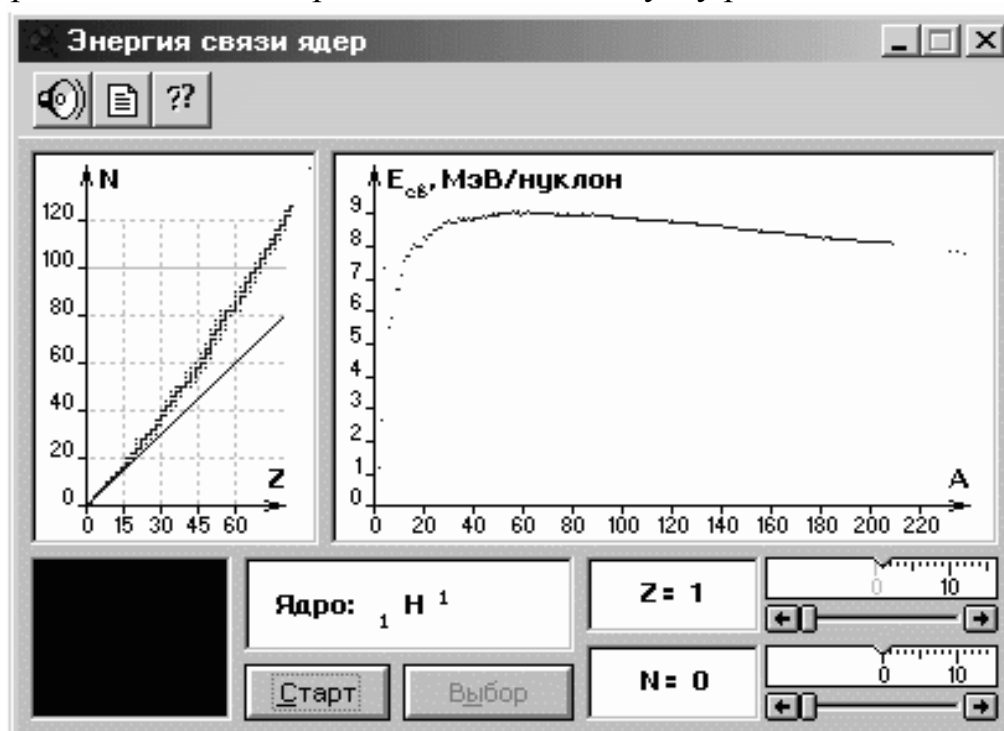


Рисунок 3 – Рабочее поле компьютерной модели «Энергия связи ядер»

Задание 1. Определение состава стабильных ядер и их энергии связи

- 1 С помощью регулятора, расположенного в правом нижнем углу внутреннего окна, установите первое значение Z из таблицы 1 для вашей бригады.

Таблица 1 – Зарядовые числа исследуемых ядер

№ бригады	Зарядовое число Z
1	13, 30, 44, 45, 74
2	12, 28, 43, 48, 79
3	19, 34, 50, 53, 72
4	10, 15, 49, 81, 82
5	14, 23, 26, 38, 57

- Используя график зависимости числа нейтронов N от числа протонов Z , расположенный слева в верхней части окна (или увеличенный на рисунке 4), определите (приблизительно) минимальное и максимальное количество нейтронов, которое может содержаться в стабильных изотопах данного элемента.
- С помощью регулятора числа нейтронов установите минимальное значение N , определенное в п. 2. Нажмите кнопку «Старт».

Если ядро – стабильно, то на экране в течение нескольких секунд демонстрируется схематический вид данного ядра, а на графиках появляются красные точки, отмечающие количество нейтронов (левый график) и удельную энергию связи данного ядра (правый график).

Если ядро с данным количеством нейтронов не является стабильным, то на экране, расположенном в левом нижнем углу, вы увидите схематический распад данного ядра.

- Изменяя количество нейтронов, определите состав **всех стабильных** изотопов для данного Z . Запишите количество протонов, нейтронов и символическую запись каждого найденного **стабильного** ядра в таблицу 2.
- Повторите пп. 2-4 для других значений Z , определенных для вашей бригады.

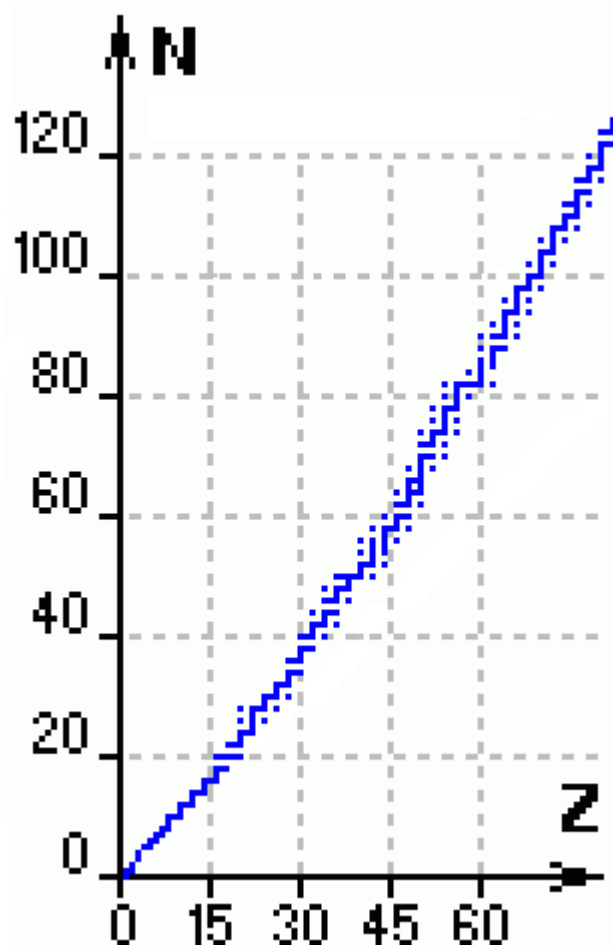


Рисунок 4 – Зависимость числа нейтронов N от зарядового числа Z для стабильных изотопов

Таблица 2 – Экспериментальные данные о составе стабильных изотопов

Название элемента	Количество протонов Z	Количество нейтронов N	Символическая запись ядра

- 6 Рассчитайте по формуле (3) удельную энергию связи для первого найденного стабильного ядра и его нестабильного изотопа с числом нейтронов, меньшим на единицу. Массы ядер некоторых изотопов приведены в «Приложении А» (таблица А1). При расчете с использованием внесистемных единиц измерения массы (а. е. м.) принять $c^2 = 931,5$ МэВ/а. е. м.
- 7 Сравните полученные значения. Сделайте вывод о зависимости устойчивости ядра от удельной энергии связи.

Задание 2. Проверка оболочечной модели строения ядра

- 1 Для ядер, указанных в таблице 3 для вашей бригады, рассчитайте энергию связи нейтрона $S_n(Z, N)$ по формуле:

$$S_n(Z, N) = 8,07\text{МэВ} + \Delta(Z, N - 1) - \Delta(Z, N),$$

где $\Delta(Z, N)$ и $\Delta(Z, N - 1)$ соответствующие дефекты масс ядер с числом нейтронов N и $(N - 1)$. Данные о дефектах масс ядер смотри в «Приложении А», таблица А2.

- 2 Постройте график зависимости энергии связи нейтрона $S_n(Z, N)$ от числа нейтронов в ядре N . Сравните энергию связи нейтрона у ядра с «магическим» числом нейтронов и следующего за ним ядра. Сделайте вывод о справедливости оболочечной модели строения ядра.
- 3 Аналогично заданию 1 проверьте, какие из этих ядер являются стабильными. Запишите в тетрадь условные обозначения стабильных ядер.

Таблица 3 – Зарядовое и массовые числа исследуемых ядер

№ бригады	Зарядовое число Z	Массовое число A
1	16	34, 35, 36, 37, 38
2	20	38, 39, 40, 41, 42, 43
3	40	88, 89, 90, 91, 92, 93
4	59	139, 140, 141, 142, 143, 144
5	82	205, 206, 207, 208, 209, 210

Контрольные вопросы

- 1 Строение ядра. Символическая запись ядра.
- 2 Что называется зарядовым числом, массовым числом? Что они показывают?
- 3 Основные свойства протона и нейтрона.
- 4 Что такое энергия связи ядра? Чему она равна?
- 5 Как зависит удельная энергия связи от массового числа? Какие выводы можно сделать из этой зависимости?
- 6 Перечислите основные свойства ядерных сил.
- 7 Какова природа ядерных сил? Почему говорят, что ядерное взаимодействие носит обменный характер?
- 8 Модели строения ядра, их достоинства и недостатки.

- 9 Зависит ли устойчивость ядра от количества протонов и нейтронов в ядре? Чем подтверждается такая зависимость? Какие ядра являются более устойчивыми?

Список литературы

- 1 Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] / Т. И. Трофимова. – М. : Высшая школа, 2003.
- 2 Детлаф, А. А. Курс физики. [Текст] / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. : Издательский центр «Академия», 2003.
- 3 Савельев, И. В. Курс физики [Текст] / И. В. Савельев. В 5 т. Т. 1-5. – М. : АКТ, 2005.

Приложение А

Таблица А1 – Массы ядер некоторых изотопов

Z	Символ элемента	A	Масса ядра, а.е.м.
10	Ne	18	18,00571
		19	19,00188
		20	19,99244
		21	20,99385
12	Mg	22	21,99959
		23	22,99412
		24	23,98504
		25	24,98584
13	Al	25	24,99043
		26	25,98689
		27	26,98154
		28	27,98191
14	Si	26	25,99233
		27	26,98670
		28	27,97693
		29	28,97649
19	K	37	36,97338
		38	37,96909
		39	38,96371
		40	39,96400
		41	40,96182

Таблица А2 – Дефекты масс некоторых ядер

Z	Символ элемента	A	$\Delta = (M - A)$, МэВ
16	S	33	- 26,5860
		34	- 29,9292
		35	- 28,8456
		36	- 30,6659
		37	- 26,9070
		38	- 26,8630
20	Ca	37	- 13,2300
		38	- 22,0230
		39	- 27,2830
		40	- 34,8457
		41	- 35,1371
		42	- 38,5381
		43	- 38,3990
40	Zr	87	- 79,4840
		88	- 83,6100
		89	- 84,8510
		90	- 88,7626
		91	- 87,8935
		92	- 88,4569
		93	- 87,1437
59	Pr	138	- 83,0990
		139	- 84,7990
		140	- 84,6540
		141	- 85,9800
		142	- 83,7520
		143	- 83,0380
		144	- 80,7190
82	Pb	204	- 25,1050
		205	- 23,768
		206	- 23,777
		207	- 22,446
		208	- 21,743
		209	- 17,609
		210	- 14,720

Новгородова Татьяна Назаровна

СОСТАВ И СВОЙСТВА СТАБИЛЬНЫХ ЯДЕР

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 50
для студентов направлений 231000.62, 151900.62, 150700.62,
220700.62, 220400.62, 80700.62, 221700.62, 090303.65, 190109.65,
190600.62, 190110.65, 140400.62, 190600.62, 190700.62

Редактор Е.А. Могутова

Подписано в печать 15.05.14	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ.л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ 168	Тираж 100	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.