



Атомное ядро



Вопросы

1. Опыт Резерфорда. Открытие ядра.
2. Структура ядра. Нуклоны.
3. Ядерное (сильное) взаимодействие.
4. Энергия связи. Дефект массы.
5. Модели ядра.

1. Опыт Резерфорда. Открытие ядра



Эрнест Резерфорд (1871-1937 г)

**Нобелевская премия 1908 г
Дворянский титул 1914 г.**

1. Опыт Резерфорда. Открытие ядра

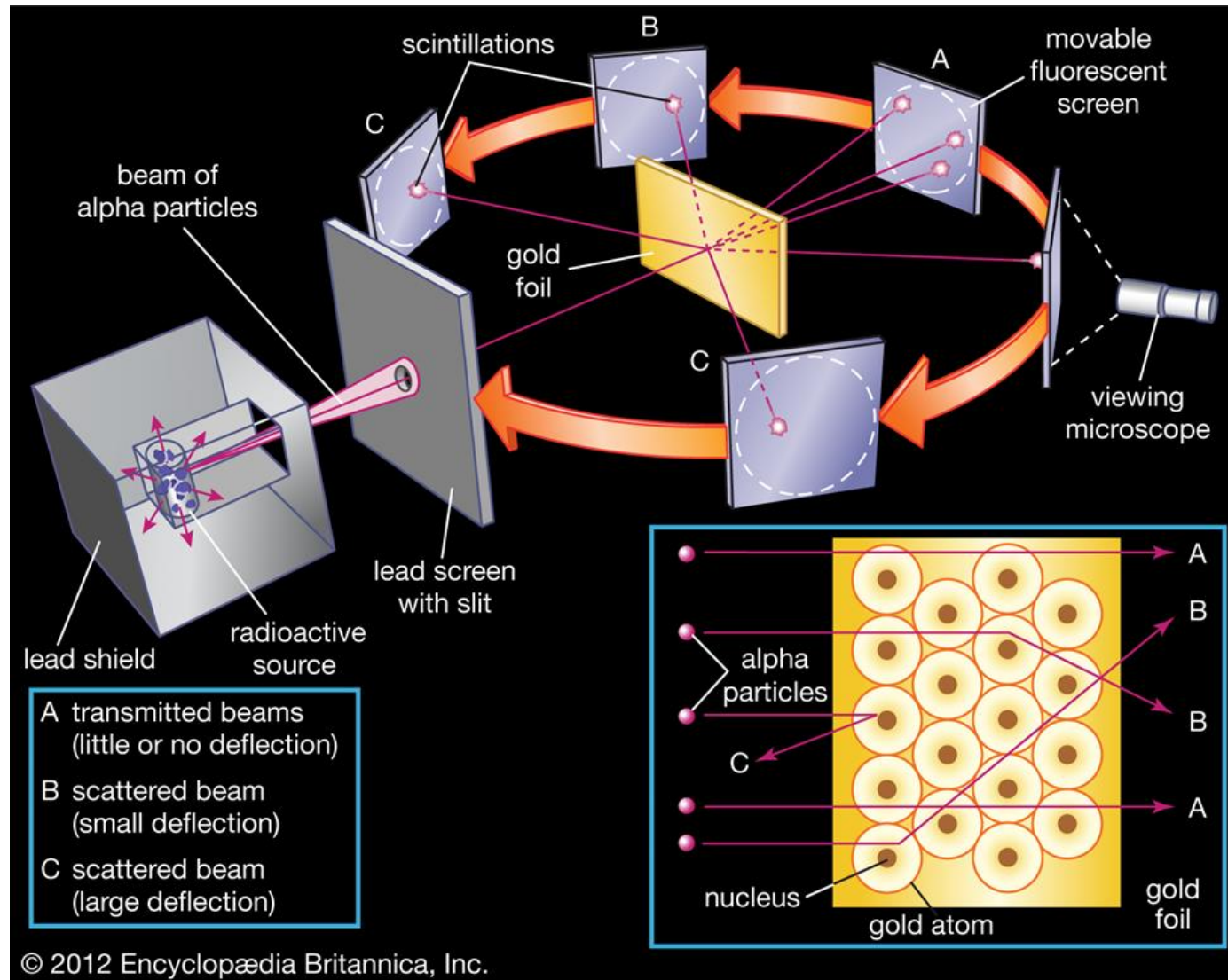
Некоторые события, предшествующие эксперименту:

1. Исследование радиоактивности. Природа α - и β - излучений.

2. Модель атома Дж. Дж. Томсона.

Электроны погружены в сферическое облако положительного заряда. Внутри этого облака они могут свободно двигаться.

1. Опыт Резерфорда. Открытие ядра



1. Опыт Резерфорда. Открытие ядра

Открытие сделано Хансом Гейгером и Эрнестом Марсденом в 1909 году под руководством Эрнеста Резерфорда.

Если модель Дж.Дж. Томсона верна, то атом не может создавать большие силы кулоновского отталкивания, и α -частицы будут отклоняться на малые углы.

Эксперимент показал, что 1 из 20000 частиц отражается на углы более 90° , когда основная масса частиц проходит через фольгу почти без отклонений.

Это было почти столь же невероятно, как если бы вы стреляли 15-дюймовым снарядом в кусок тонкой бумаги, а снаряд возвратился бы к вам и нанёс удар.

Эрнест Резерфорд

1. Опыт Резерфорда. Открытие ядра

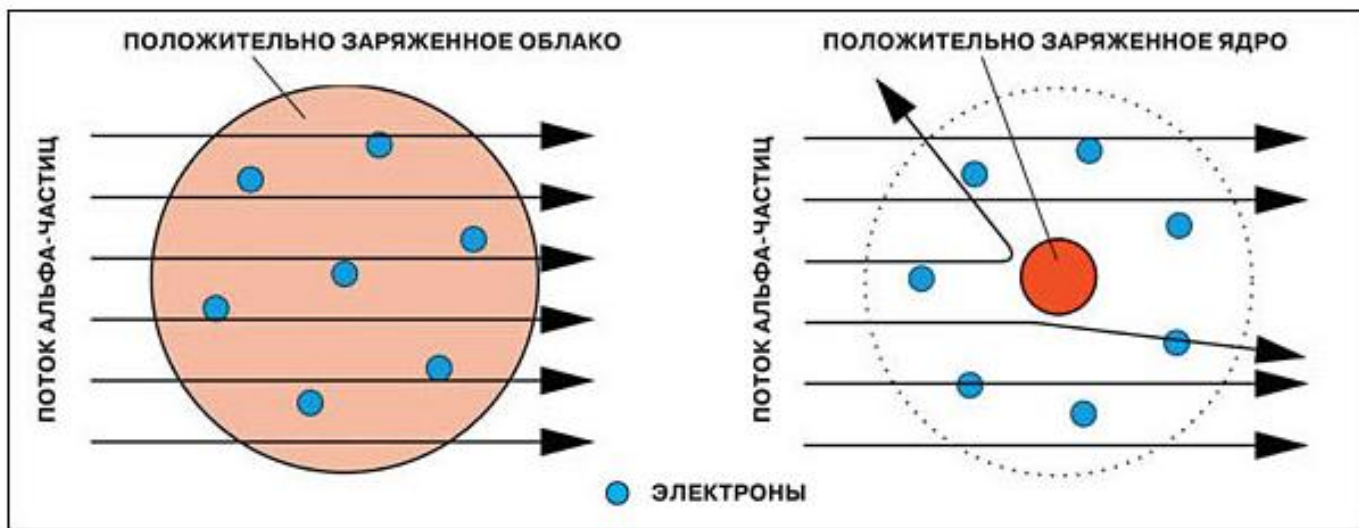
В 1911 г в журнале «Philosophical Magazine» опубликована работа Э. Резерфорда «Рассеяние α - и β -частиц веществом и строение атома. Впервые было введено понятие «атомное ядро».

traversed. The observations, however, of Geiger and Marsden † on the scattering of α rays indicate that some of the α particles must suffer a deflexion of more than a right angle at a single encounter. They found, for example, that a small fraction of the incident α particles, about 1 in 20,000, were turned through an average angle of 90° in passing through a layer of gold-foil about $\cdot 00004$ cm. thick, which was equivalent in stopping-power of the α particle to 1.6 millimetres of air. Geiger ‡ showed later that the most probable angle of deflexion for a pencil of α particles traversing a gold-foil of this thickness was about $0^\circ.87$. A simple calculation based on the theory of probability shows that the chance of an α particle being deflected through 90° is vanishingly small. In addition, it will be seen later that the distribution of the α particles for various angles of large deflexion does not follow the probability law to be expected if such large deflexions are made up of a large number of small deviations. It seems reasonable to suppose that the deflexion through a large angle is due to a single atomic encounter, for the chance of a second encounter of a kind to produce a large deflexion must in most cases be exceedingly small. A simple calculation shows that the atom must be a seat of an intense electric field in order to produce such a large deflexion at a single encounter.

Э. Резерфорд заключил, что основная масса атома и положительный заряд заключены в маленьком положительно заряженном ядре, окруженном электронами. Когда α -частица пролетает близко от ядра, то испытывает силы кулоновского отталкивания и отражается на большие углы. Малое количество α -частиц, отражённых подобным образом, объясняется маленьким размером ядра атома.

1. Опыт Резерфорда. Открытие ядра

Модели атома Дж.Дж. Томсона и Э. Резерфорда



Модель Томсона

Модель Резерфорда

2. Структура ядра. Нуклоны

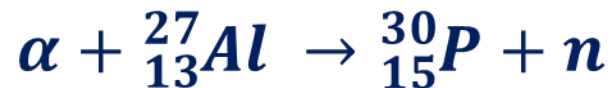
Взаимодействие α частиц с ядрами атомов различных элементов приводит к ряду открытий



Протон



Нейтрон



Радиоактивный изотоп фосфора



2. Структура ядра. Нуклоны

Протон: 1_1p , масса $m_p = 1836m_e$, спин $s = 1/2$,

магнитный момент $\mu_p = 2.79\mu_{\text{я}}$

Нейтрон: 1_0n , масса $m_n = 1838.5m_e$, спин $s = 1/2$,

магнитный момент $\mu_n = -1.91\mu_{\text{я}}$

Нейтрон в свободном состоянии нестабилен:



2. Структура ядра. Нуклоны

Символьное обозначение ядра: A_ZX ,

где X – символ химического элемента,

Z – число протонов в ядре,

A – число нуклонов в ядре.

Изотопы – ядра с одинаковым значением Z .

Протий 1_1H , дейтерий 2_1H , тритий 3_1H .

3. Ядерное (сильное) взаимодействие

общие свойства ядерных сил:

- короткодействие ($R \sim 1 \text{ фм} = 10^{-15} \text{ м}$);
- большая величина ядерного потенциала $U \sim 50 \text{ МэВ}$;
- зависимость от спинов взаимодействующих частиц;
- тензорный характер;
- зависимость от взаимной ориентации спинового и орбитального моментов нуклона;
- насыщение;
- зарядовая независимость;
- обменный характер;
- притяжение между нуклонами на больших расстояниях ($r > 1 \text{ фм}$), сменяется отталкиванием на малых ($r < 0,5 \text{ фм}$).

3. Ядерное (сильное) взаимодействие

Схемы обменного взаимодействия между нуклонами

1

$$p + n \rightarrow n + \pi^+ + n \rightarrow n + p$$

$$p + n \leftarrow n + \pi^+ + n \leftarrow n + p$$

2

$$n + p \rightarrow p + \pi^- + p \rightarrow p + n$$

$$n + p \leftarrow p + \pi^- + p \leftarrow p + n$$

3

$$p + p \leftrightarrow p + \pi^0 + p \leftrightarrow p + p$$

$$n + n \leftrightarrow n + \pi^0 + n \leftrightarrow n + n$$

$$p + n \rightarrow p + \pi^0 + n \rightarrow p + n$$



Юкава Хидэки
(23.I.1907–8.IX.1981).

4. Энергия связи. Дефект массы

Энергия покоя ядра или отдельно взятых нуклонов, входящих в его состав, определяется **формулой Эйнштейна**:

$$E_0 = mc^2.$$

Масса ядра всегда меньше суммы масс его нуклонов.

Дефект массы: $\Delta m = [Zm_p + (A-Z)m_n] - m_{\text{я}}$.

Чтобы разделить ядро на составные нуклоны, потребуется затратить определенную минимальную энергию, называемую **энергией связи**:

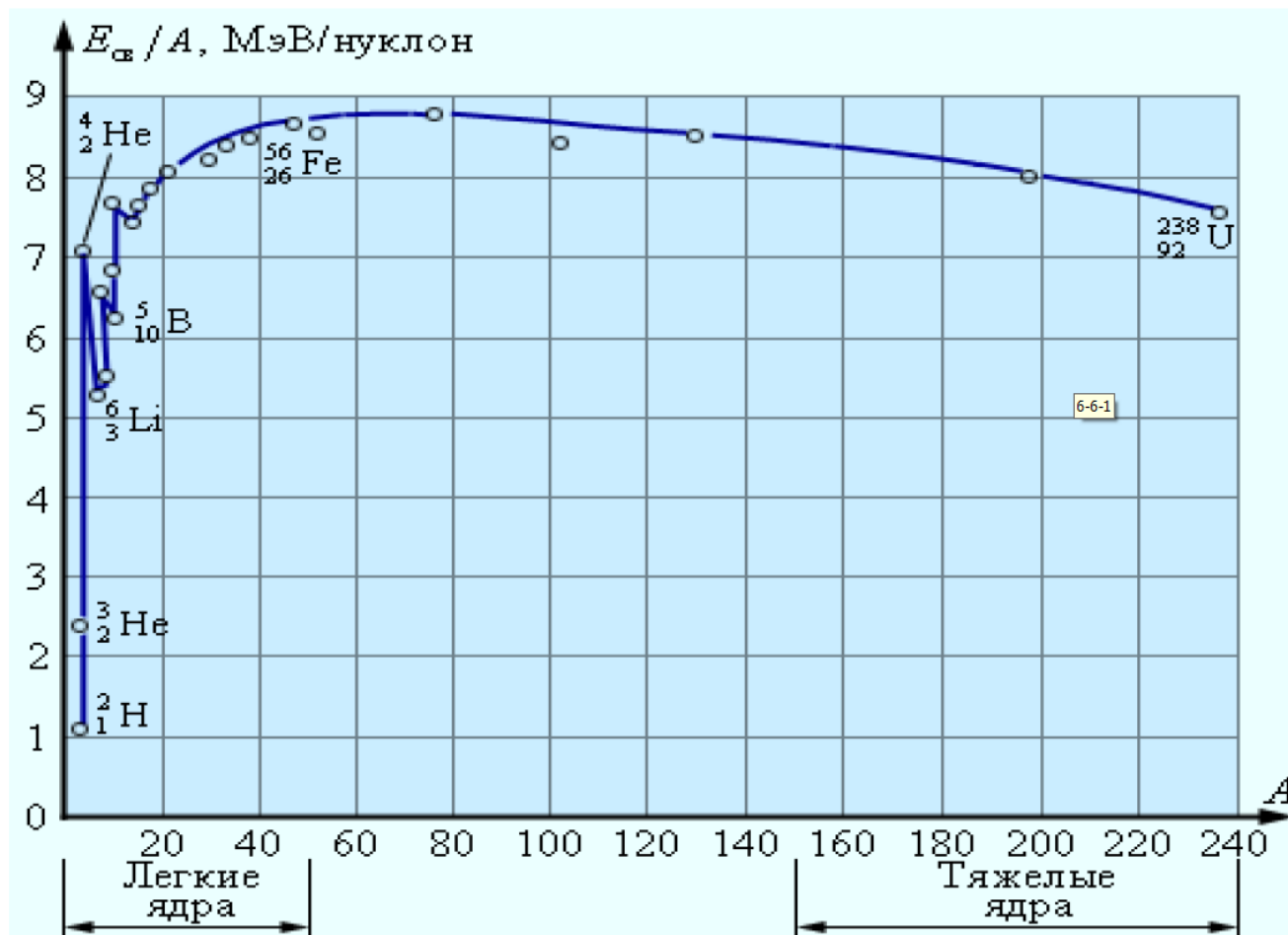
$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2 = \{[Zm_p + (A-Z)m_n] - m_{\text{я}}\}c^2.$$

Энергия связи, приходящаяся на один нуклон, называется **удельной энергией связи ядра**:

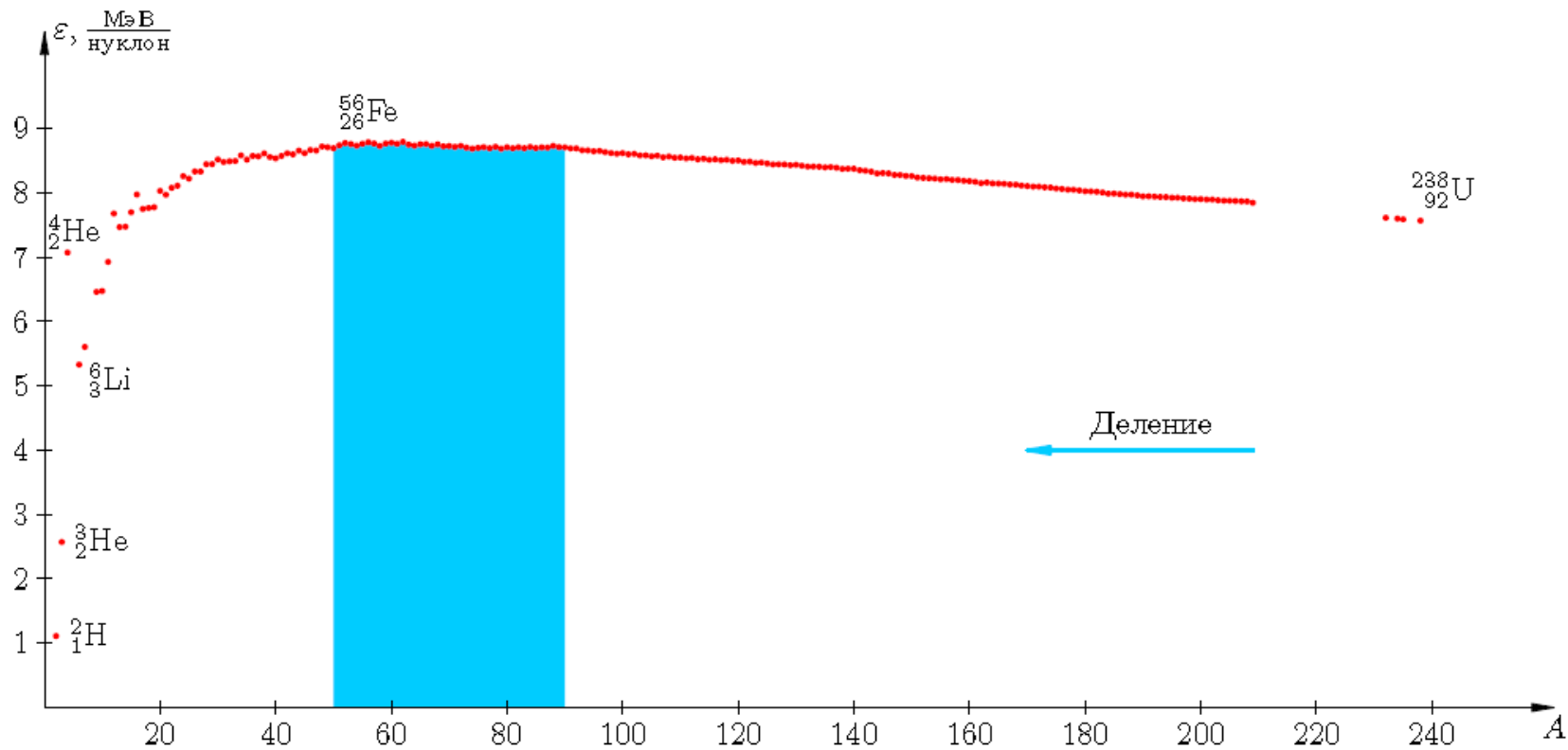
$$\epsilon_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}$$

4. Энергия связи. Дефект массы

Зависимость удельной энергии связи от массового числа



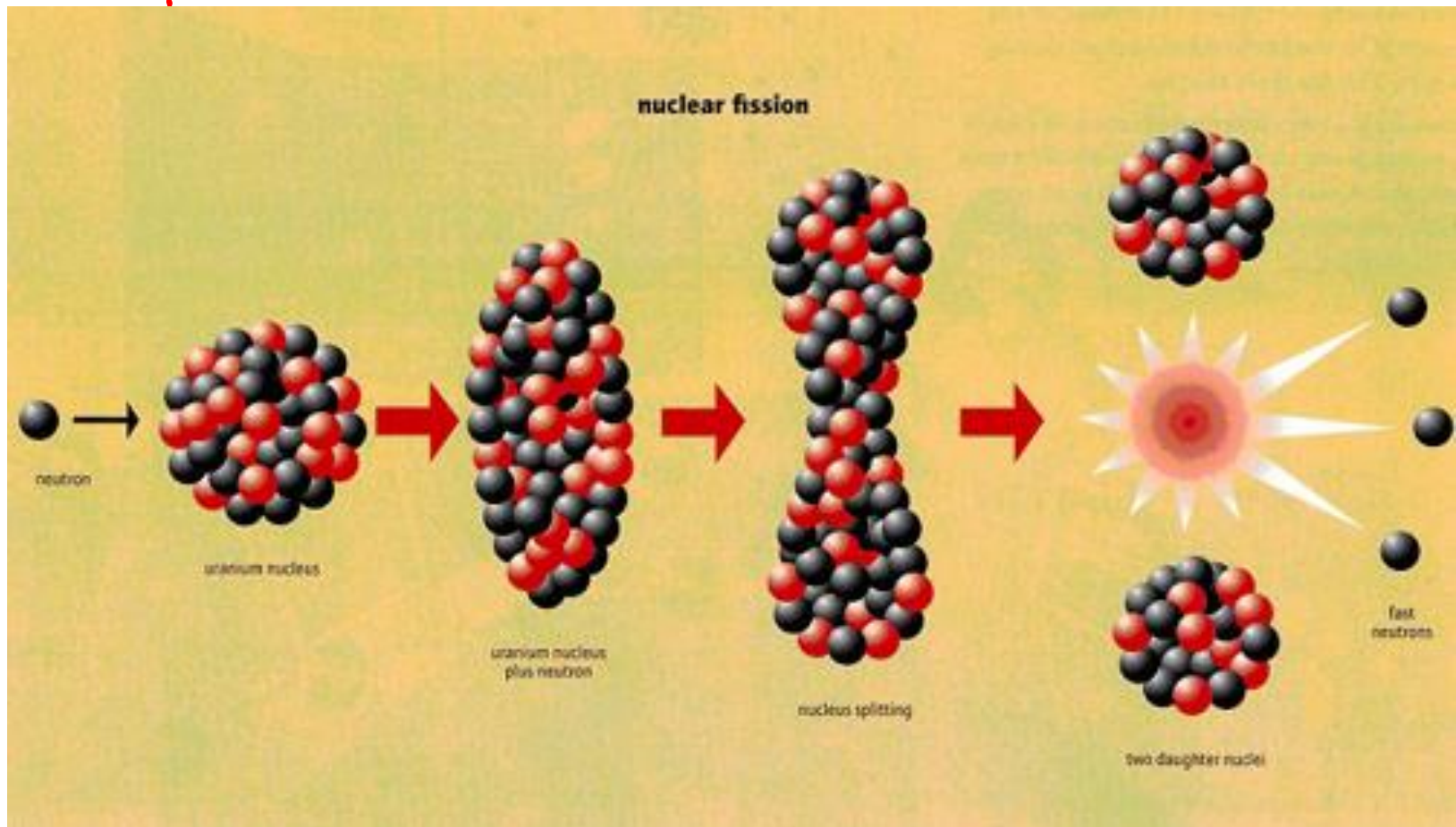
4. Энергия связи. Дефект массы



Деление тяжёлых ядер энергетически выгодно

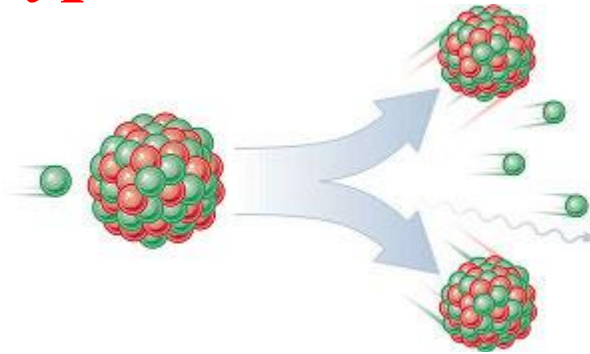
4.Энергия связи. Дефект массы

Реакция деления



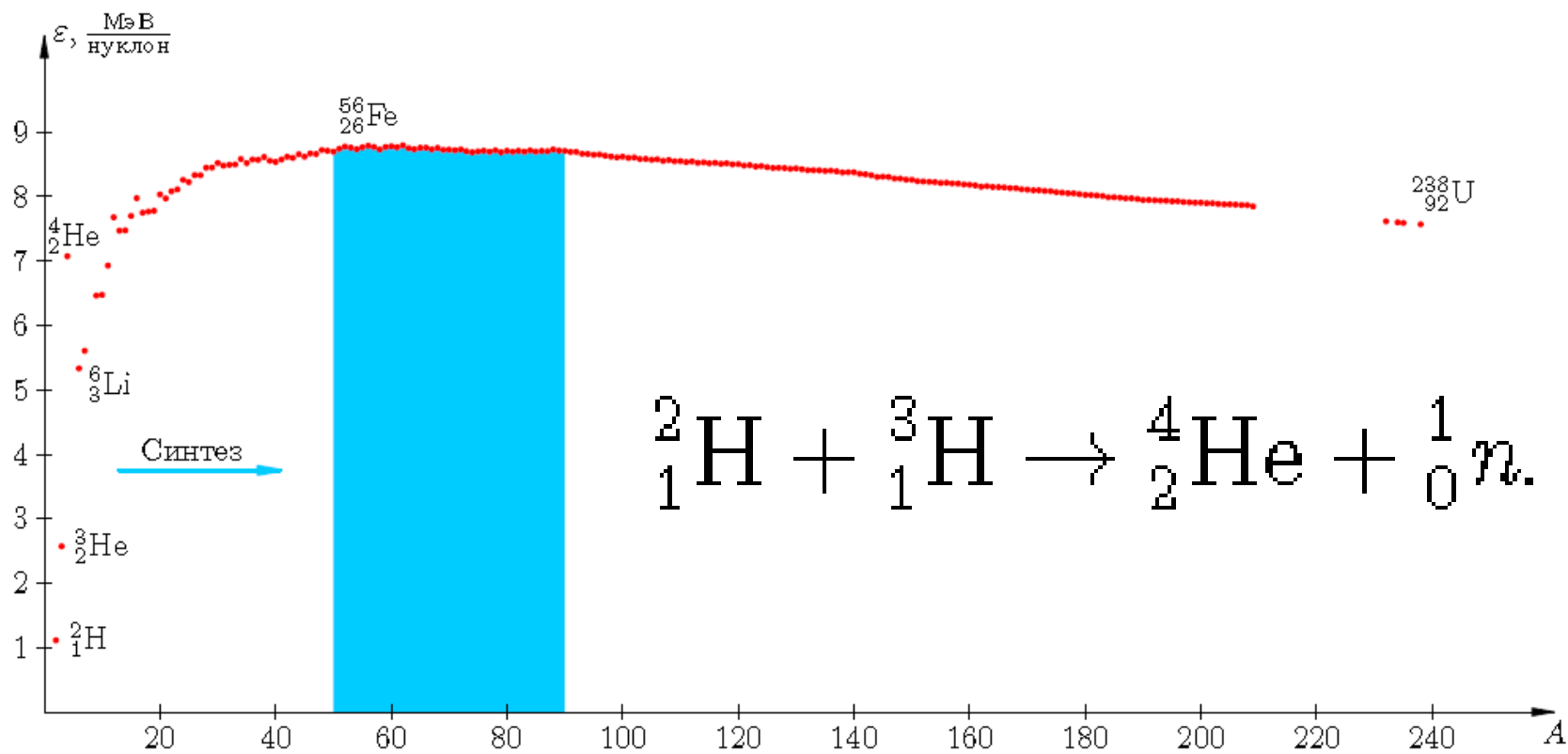
4.Энергия связи. Дефект массы

Деления ядра урана



- Барий и криптон: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0n \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3 {}^1_0n$.
- Цезий и рубидий: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0n \rightarrow {}^{140}_{55}\text{Cs} + {}^{94}_{37}\text{Rb} + 2 {}^1_0n$.
- Ксенон и стронций: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0n \rightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 2 {}^1_0n$.

4. Энергия связи. Дефект массы



Синтез лёгких ядер энергетически выгоден

5. Модели ядра

Объяснить свойства ядер оказывается возможным только в рамках нескольких дополняющих друг друга моделей.

Создаются модели, предназначенные для описания выбранной совокупности ядерных свойств или явлений сравнительно простыми математическими способами с минимальным количеством параметров.

Ядерные модели представляют собой приближённые методы описания некоторых свойств ядер, основанные на отождествлении ядра с какой-либо другой физической системой, свойства которой либо хорошо изучены, либо поддаются более простому теоретическому анализу.

Ядерные модели делятся на одночастичные, описывающие движение индивидуальных частиц, и коллективные, описывающие коррелированное движение большого числа частиц.

5. Модели ядра

Капельная модель (Н. Бор, 1936).

Аналогия между поведением нуклонов в ядре и поведением молекул в капле жидкости.

Силы, действующие между молекулами в жидкости и нуклонами в ядре **короткодействующие**. Им свойственно **насыщение**.

Для **капли жидкости** при данных внешних условиях характерна **постоянная плотность** её вещества. **Ядра** же характеризуются **постоянной плотностью**, не зависящей от числа нуклонов в ядре. Объём капли, так же как и объём ядра, **пропорционален числу частиц**.

Ядро как капля электрически заряженной несжимаемой жидкости, подчиняющаяся законам квантовой механики. Благодаря большой плотности нуклонов в ядре и чрезвычайно сильному взаимодействию независимое движение отдельных нуклонов невозможно.

Как в капле обыкновенной жидкости, **поверхность ядра может колебаться**. Если амплитуда колебаний будет самопроизвольно нарастать, то капля развалится, т.е. произойдет деление ядра.

5. Модели ядра

Оболочечная модель ядра. (Д. Иваненко и Е. Гапон ,1932 г.; М. Гепперт-Маер и И.Х.Д. Йенсен, 1949 г.). Аналог модели электронных оболочек атома.

Нуклоны в ядре распределены по дискретным энергетическим уровням (оболочкам), заполняемым нуклонами согласно принципу Паули. Ядра с полностью заполненными оболочками наиболее устойчивы.

Нуклоны движутся независимо в некотором среднем потенциальном поле (**потенциальной яме**), создаваемом движением всех нуклонов ядра.

В основном состоянии нуклоны заполняют нижние уровни. В одном состоянии может находиться не более одного протона и одного нейтрона.

Оболочечная модель позволила объяснить спины и магнитные моменты ядер, различную устойчивость атомных ядер, а также периодичность изменений их свойств.

Основное предположение оболочечной модели – независимость движения нуклонов в самосогласованном поле - находится в противоречии с капельной моделью. Те характеристики ядра, которые хорошо описываются капельной моделью (например, энергия связи ядра) плохо или совсем не объясняется оболочечной моделью.

Спасибо за внимание!