

# Строение атомного ядра: состав, свойства и значение

Ядро — центральная, сверхплотная часть атома: протоны и нейтроны, изотопы и радиоактивность.



# Почему о ядре важно знать

Ядро связывает химию, физику, астрономию и медицину. В 1911 году Резерфорд показал, что почти вся масса и положительный заряд сосредоточены в малой области. Это объясняет изотопы, распад, энергию звёзд и ядерную энергетику.



# Состав ядра: протоны и нейтроны

■ Протон имеет положительный заряд  $+1e$  и массу около 1 а.е.м. Он участвует в формировании заряда ядра, а значит, определяет, к какому химическому элементу относится атом.

■ Нейтрон электрически нейтрален и по массе очень близок к протону. Он влияет на массу ядра и на то, будет ли ядро устойчивым или склонным к радиоактивным превращениям.

■ Протон и нейтрон объединяют в нуклоны, потому что именно они составляют ядро. Число протонов равно порядковому номеру элемента, а сумма протонов и нейтронов — массовому числу  $A$ .

# Основные характеристики нуклонов

В ядре протон и нейтрон отличаются зарядом и массой; это напрямую отражается на составе элемента и устойчивости изотопов.

Различие между изотопами возникает при неизменном числе протонов (Z), но разном количестве нейтронов (N), что меняет массу ядра и устойчивость.

| Частица | Электрический заряд | Масса (а.е.м.) | Роль в ядре               |
|---------|---------------------|----------------|---------------------------|
| Протон  | +1e                 | 1,0073         | Определяет элемент        |
| Нейтрон | 0                   | 1,0087         | Влияет на устойчивость    |
| Изотоп  | —                   | —              | Разные N при одинаковом Z |

Учебные справочные значения масс и зарядов нуклонов (стандартные ядерные константы).

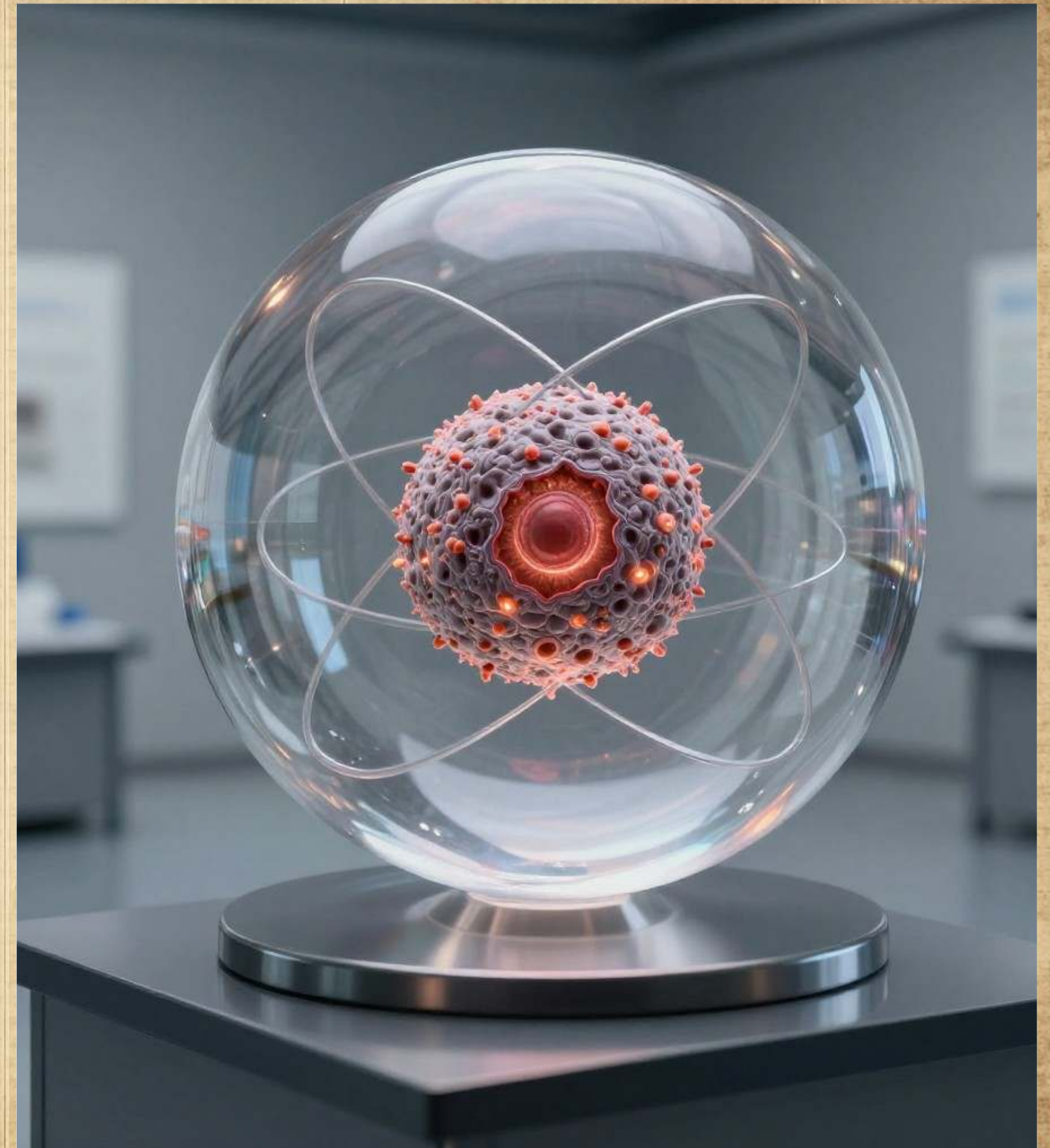
# Размеры ядра и ядерная плотность

## Как оценивают размер ядра

Радиус ядра часто описывают оценкой  $R \approx r_0 A^{1/3}$ , где  $r_0 \approx 1,2$  фемтометра, а  $A$  — массовое число. Рост радиуса с  $A$  сравнительно медленный, потому что увеличивается лишь линейный масштаб сферического объёма.

## Почему плотность ядра так велика

Плотность ядерного вещества порядка  $2 \times 10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>: это чрезвычайно большое значение. Ядро занимает ничтожную долю объёма атома, но содержит почти всю его массу, поэтому «внутри» всё устроено иначе, чем кажется по размеру.



# Зависимость радиуса ядра от массового числа

Если нанести точки по  $A^{(1/3)}$ , видно: радиус увеличивается постепенно. Это согласуется с тем, что средняя плотность ядерного вещества остаётся близкой у разных элементов.

Слабый рост радиуса при увеличении  $A$  означает почти постоянную плотность ядерного вещества, поэтому геометрия ядра подчиняется простому масштабному закону.

Оценка  $R \approx r_0 A^{(1/3)}$ ; значения  $A$  взяты из примеров (He-4, C-12, Fe-56, Pb-208).



## Announcement

### Office

Office and all other business of the Department of the Interior, Bureau of Land Management, Washington, D.C. 20250, will be closed on Monday, January 1, 1974, in observance of the New Year's holiday. The Bureau will resume normal operations on Tuesday, January 2, 1974.

The Bureau of Land Management is pleased to announce that it will be participating in the National Christmas Tree Lighting Ceremony on December 17, 1973, at the Lincoln Memorial in Washington, D.C. The ceremony will be held at 7:00 p.m. and will feature the lighting of the Christmas tree by the President of the United States.

The Bureau of Land Management is also pleased to announce that it will be participating in the National Christmas Tree Lighting Ceremony on December 17, 1973, at the Lincoln Memorial in Washington, D.C. The ceremony will be held at 7:00 p.m. and will feature the lighting of the Christmas tree by the President of the United States.

# 1-2 фм

На очень малых  
расстояниях сильное  
взаимодействие становится  
доминирующим и  
удерживает нуклоны вместе.

Обобщённые выводы ядерной физики о  
масштабе действия сильного взаимодействия.

Сильное взаимодействие  
значительно превосходит  
электростатическое  
отталкивание протонов, но  
работает на расстояниях  
порядка 1-2 фемтометра.

## Making A

When you are making a new product, it is important to make sure that you are making a good one. This means that you need to make sure that you are making a product that is of high quality and that it is something that people will want to buy.

One of the most important things to remember when making a new product is to make sure that you are making a product that is of high quality. This means that you need to make sure that you are using good materials and that you are following good manufacturing practices.

Another important thing to remember when making a new product is to make sure that you are making a product that is something that people will want to buy. This means that you need to make sure that you are making a product that is of high quality and that it is something that people will want to buy.

## THE PLAN

The plan is to make a new product that is of high quality and that is something that people will want to buy. This means that we need to make sure that we are using good materials and that we are following good manufacturing practices.

One of the most important things to remember when making a new product is to make sure that you are making a product that is of high quality. This means that you need to make sure that you are using good materials and that you are following good manufacturing practices.

Another important thing to remember when making a new product is to make sure that you are making a product that is something that people will want to buy. This means that you need to make sure that you are making a product that is of high quality and that it is something that people will want to buy.

## Bus

### Trade Rev

#### They

They are the people who are responsible for the success of the business. They are the people who are responsible for the success of the business. They are the people who are responsible for the success of the business.

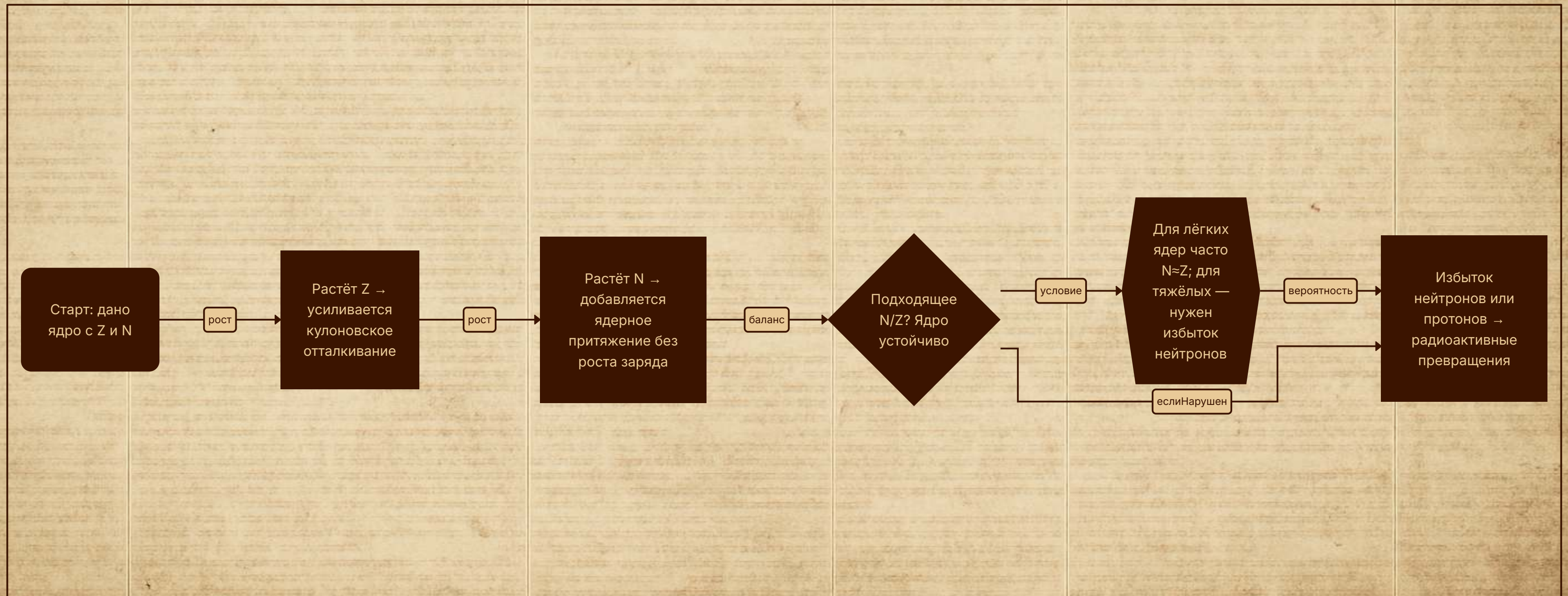
They are the people who are responsible for the success of the business. They are the people who are responsible for the success of the business. They are the people who are responsible for the success of the business.

They are the people who are responsible for the success of the business. They are the people who are responsible for the success of the business. They are the people who are responsible for the success of the business.

## Issue

# Как формируется устойчивое ядро

Логика баланса сил: сильное притяжение и кулоновское отталкивание, выраженное через соотношение  $N/Z$ .



# Изотопы как разновидности одного элемента

У изотопов одного элемента одинаковое число протонов, то есть одинаковое  $Z$ . Различие появляется из-за разного числа нейтронов, поэтому масса и состав ядра меняются.

Химические свойства изотопов почти совпадают, потому что они определяются электронной оболочкой атома. Однако в ядре различия могут быть критичными для устойчивости и характера распада.

Ядерные свойства изотопов заметно отличаются: период полураспада, вероятность распада и тип превращения могут быть разными. Поэтому один и тот же элемент способен «вести себя» по-разному на ядерном уровне.

# Примеры изотопов и их состав

| Элемент | Изотоп               | Число протонов | Число нейтронов | Особенности       |
|---------|----------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Водород | Водород-2 (дейтерий) | 1              | 1               | Устойчивый изотоп |
| Углерод | Углерод-14           | 6              | 8               | Радиоактивен      |

Число протонов у изотопов одного элемента одинаково, а число нейтронов различается. В таблице показаны примеры; подобные отличия наблюдаются и для других пар, упомянутых в объяснении (например, водород и углерод-14).

Разные  $N$  при одном и том же  $Z$  объясняют, почему изотопы одного элемента могут иметь различную устойчивость и практические применения.

Общее ядерное обозначение  $A$  и  $Z$ :  $N=A-Z$  для изотопов, примеры из школьного курса.

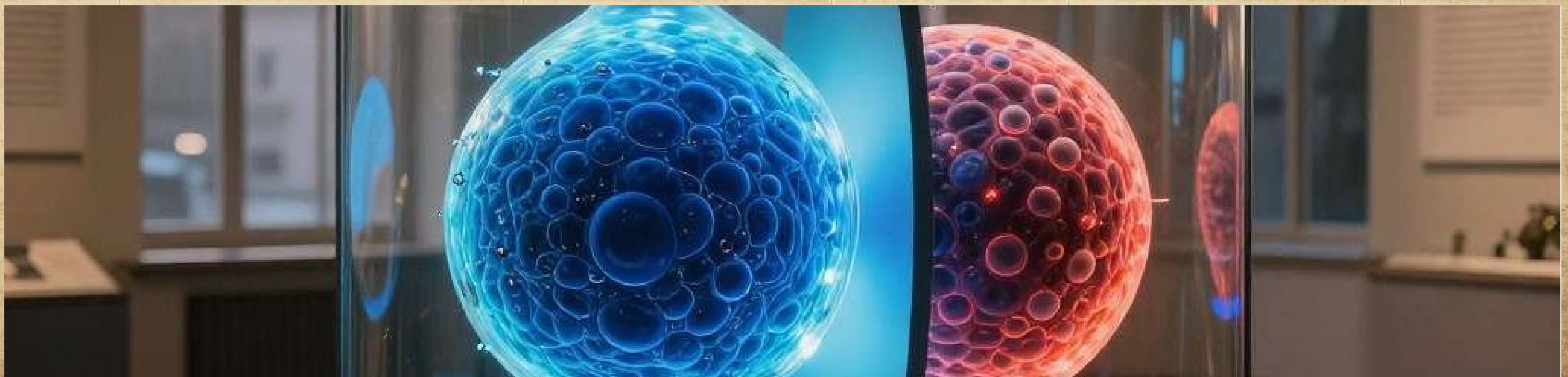
# Модели ядра в истории науки

## Капельная модель

Капельная модель рассматривает ядро как плотную заряженную «каплю»: нуклоны притягиваются на коротких расстояниях, а коллективное поведение напоминает свойства жидкости. Она помогает понять общие тенденции устойчивости и энергии связи.

## Оболочечная модель и «магические числа»

Оболочечная модель описывает нуклоны как квантовые частицы, распределённые по уровням энергии. Заполнение оболочек приводит к особенно устойчивым конфигурациям, известным как «магические числа»: 2, 8, 20, 28, 50, 82 и 126. Эти идеи уточняют, почему разные ядра распадаются с разной вероятностью и скоростью.



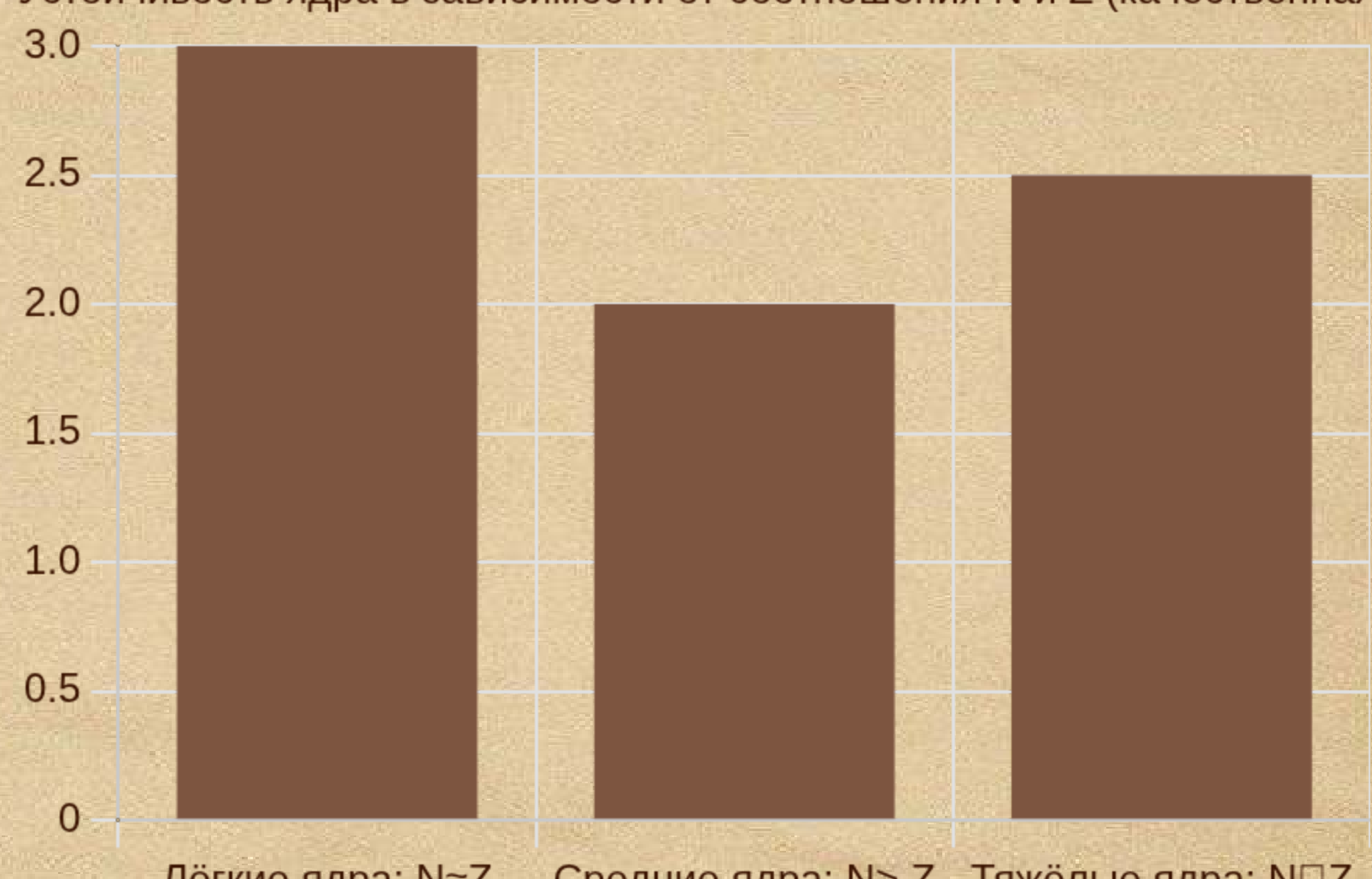
# Устойчивость ядер в зависимости от соотношения нейтронов и протонов

По мере роста заряда ядра растёт роль кулоновского отталкивания, поэтому максимум устойчивости смещается к избытку нейтронов, а не к равенству  $N$  и  $Z$ .

Данные диаграммы показывают ключевую закономерность: для тяжёлых элементов одной «балансной» формулы  $N \approx Z$  недостаточно, нужна дополнительная нейтронная компенсация.

Качественная методическая диаграмма (не экспериментальная база): иллюстрация направления смещения области устойчивости с ростом  $Z$ .

Устойчивость ядра в зависимости от соотношения  $N$  и  $Z$  (качественная)



Лёгкие ядра:  $N \approx Z$     Средние ядра:  $N > Z$     Тяжёлые ядра:  $N \gg Z$

# Энергия связи и дефект массы

Масса связанного ядра меньше суммы масс отдельных свободных протонов и нейтронов. Разность называют дефектом массы, и она указывает, что при образовании ядра выделяется энергия.

Сравнение разных ядер показывает максимум удельной энергии связи в области железа и никеля. Поэтому такие ядра считаются одними из наиболее устойчивых к радиоактивным превращениям.

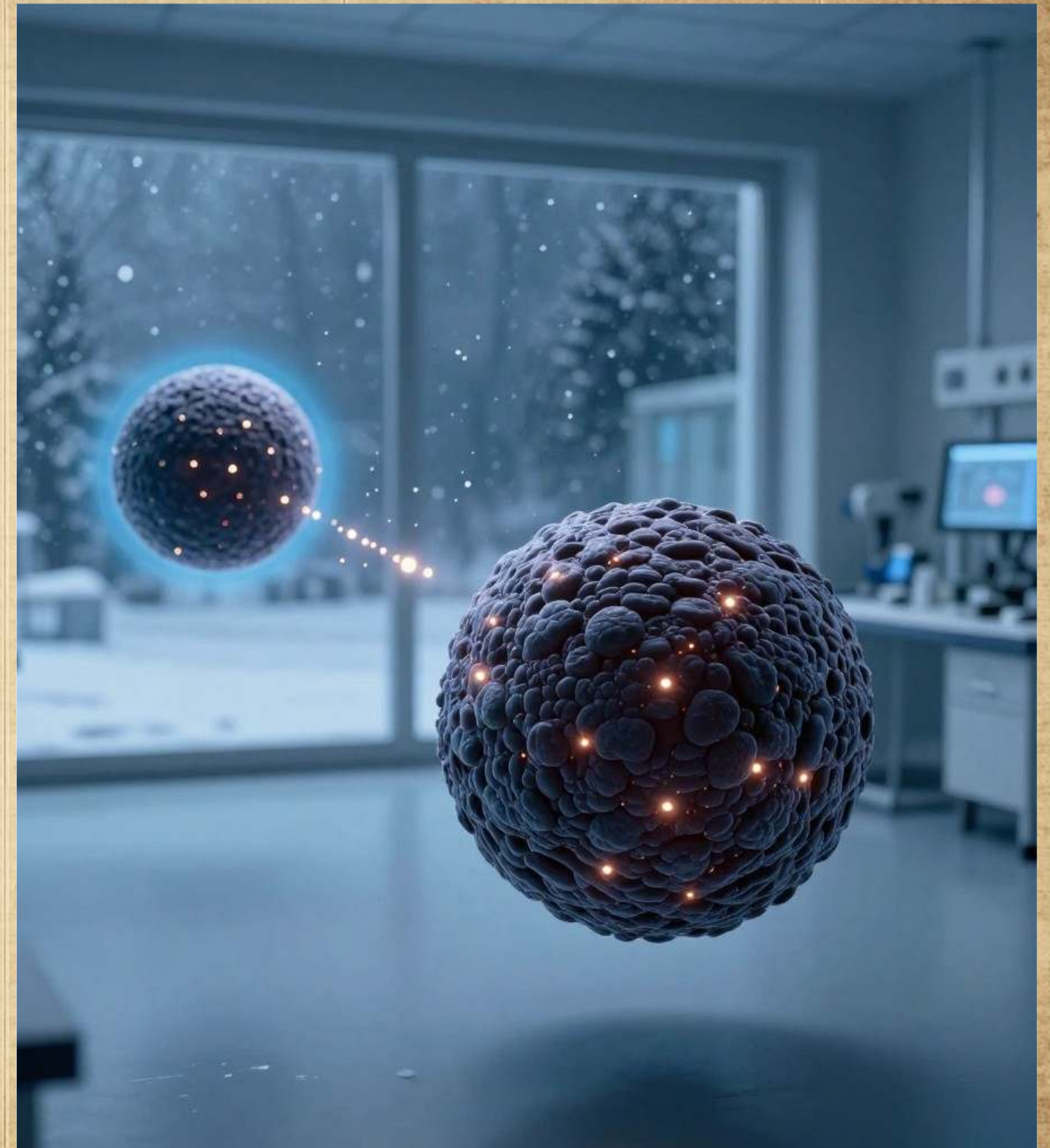
Энергия связи выражается соотношением  $E = mc^2$ . Чем больше эта энергия на один нуклон, тем «выгоднее» ядру оставаться в данном составе, а не распадаться на более лёгкие частицы.

При изменении числа протонов и нейтронов меняется дефект массы, а вместе с ним — стабильность и возможные каналы распада. Это связывает массу и «прочность» ядра в единый энергетический образ.

## Кривая стабильности и радиоактивные превращения

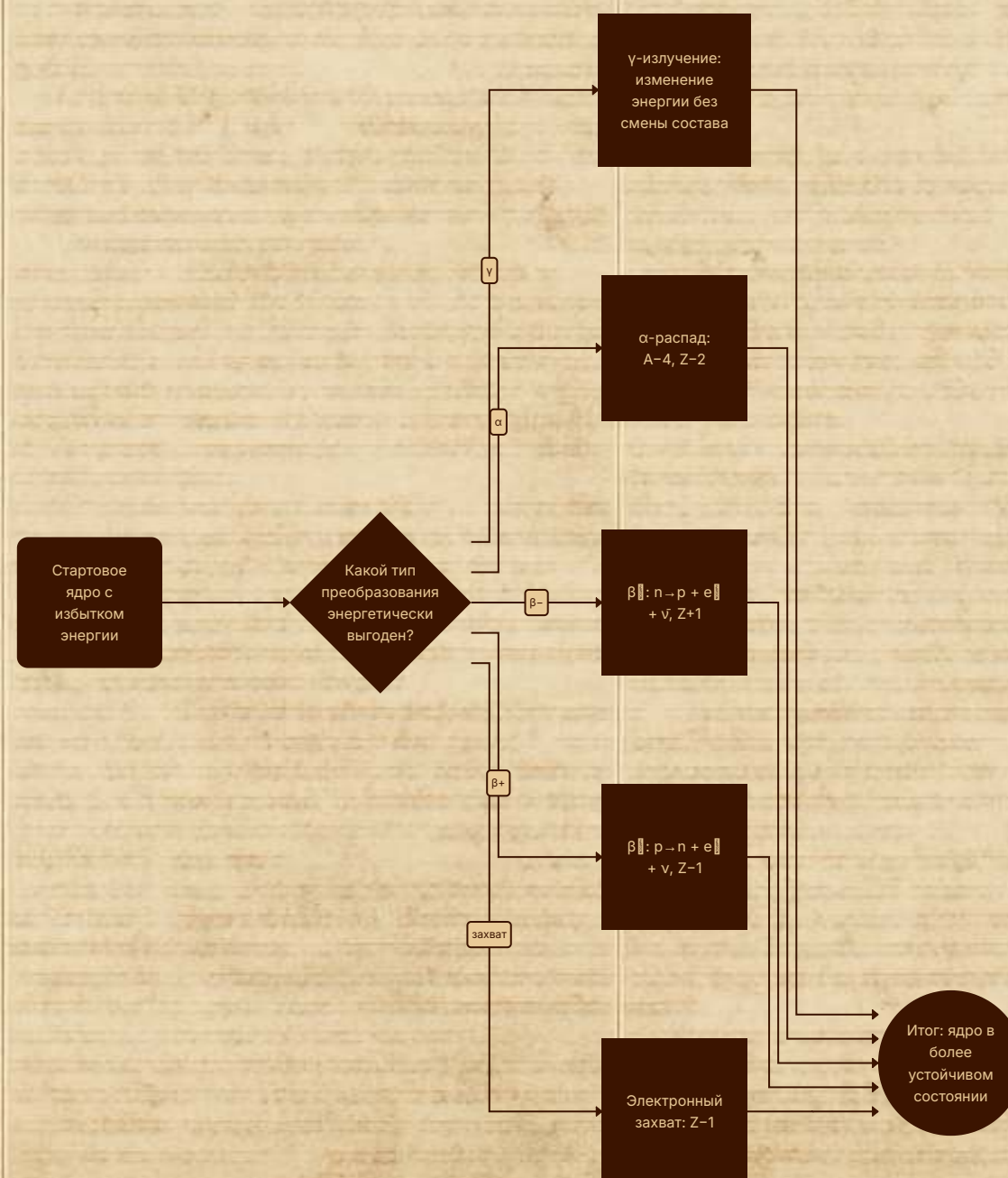
Если у ядра избыток нейтронов, оно стремится приблизиться к более устойчивому соотношению  $N/Z$  через  $\beta^-$ -распад. При избытке протонов состав смещается в сторону уменьшения  $Z$  с помощью  $\beta^+$ -распада или электронного захвата.

Для самых тяжёлых ядер энергетически выгодным может становиться  $\alpha$ -распад, уменьшающий и массу, и заряд. В целом радиоактивность — это проявление того, что ядро самопроизвольно переходит к состоянию с более выгодной энергией.



# Основные виды радиоактивного распада

Обобщённая схема переходов состава ядра при различных типах распада



# Энергия связи на нуклон у разных ядер

Кривая растёт от лёгких ядер к максимуму около железа, а затем медленно снижается для тяжёлых. Это отражает изменение «выгодности» удержания нуклонов.

Поскольку максимум приходится на область железа, движение к более выгодной энергии связи возможно как при синтезе лёгких ядер, так и при делении тяжёлых.

Данные по удельной энергии связи: справочные значения из учебных и обзорных источников по ядерной физике (усреднённые/округлённые, год точной привязки зависит от издания).



# Практическое значение знаний о ядре



**Атомная энергетика**  
Работа атомных электростанций опирается на предсказуемые ядерные превращения и баланс выделения энергии. Понимание распадов и сечений реакций помогает проектировать безопасность и управление реактором.



**Радиоизотопная диагностика**  
Радиоизотопы позволяют «увидеть» процессы внутри организма: от распределения веществ до выявления очагов поражения. Методика основывается на вероятности распада и характере излучений.



**Лучевая терапия**  
В лучевой терапии важны точные расчёты дозы и пути излучения в тканях. Знание свойств ядерных переходов помогает повышать эффективность лечения и ограничивать воздействие на здоровые клетки.



**Контроль и датирование**  
Углерод-14 используют для оценки возраста органических остатков в археологии и геологии. В промышленности радиоизотопы применяют для контроля толщины и дефектоскопии, а также измерений.

# Стабильные и радиоактивные ядра

| Признак                      | Стабильное ядро         | Радиоактивное ядро             | Пример                         |
|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Соотношение N/Z              | близко к устойчивому    | уход от «линии стабильности»   | —                              |
| Самопроизвольные превращения | нет                     | есть                           | —                              |
| Энергия связи                | как правило, высока     | часто ниже для данного состава | —                              |
| Типичные примеры             | не претерпевают распада | распадаются со временем        | He-4 и O-16;<br>U-238 и Ra-226 |

Сравнение устойчивости учитывает соотношение N/Z, величину энергии связи и возможность самопроизвольного изменения состава. Типичные примеры помогают связать критерии с наблюдаемыми распадами.

Главная закономерность: устойчивость определяется конкуренцией ядерного притяжения и кулоновского отталкивания, а энергетически «невыгодный» состав запускает распад.

Обобщение курса по ядерной физике и справочных сведений об известных стабильных и радиоактивных изотопах.

# Что определяет свойства атомного ядра

Свойства ядра определяются числом протонов и нейтронов, а также тем, сколько энергии нужно, чтобы разорвать ядро. Ядерные силы удерживают нуклоны, несмотря на зарядовое отталкивание.

Небольшое изменение состава может заметно сдвигать стабильность, массу и вероятность конкретного радиоактивного распада. Поэтому даже разные изотопы одного элемента ведут себя по-разному в ядерных процессах.

Ядро удобно рассматривать как квантовую систему с внутренней структурой уровней. Упорядоченность уровней влияет на то, какие переходы возможны и как быстро ядро переходит в более устойчивое состояние.

Изучение ядра связывает «микро» и «макро»: изменения состава проявляются в энергии, излучении и превращениях вещества. Отсюда — прямой путь от фундаментальной физики к технологиям и наблюдениям.

# Главные выводы о строении атомного ядра

Атомное ядро — компактная и сверхплотная система протонов и нейтронов. Число протонов задаёт элемент, а число нейтронов влияет на массу, изотопы и устойчивость. Ядерные силы удерживают нуклоны вопреки электростатике. Понимание ядра объясняет радиоактивность, энергетику и ключевые астрофизические процессы, а также поддерживает современные технологии.

## Announcement

### Office

Office of the Secretary of the Department of the Interior, Washington, D.C. 20540. The Department of the Interior is pleased to announce the following information regarding the recent findings of the Geological Survey. The survey has identified several new mineral deposits in the western United States, including large quantities of copper, gold, and silver. These findings are significant for the nation's economic future and will be the subject of further study and development. The Department is committed to ensuring that these resources are managed responsibly and sustainably for the benefit of all Americans.

## laking Ace

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

## Making A

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

## Bus

### Trade Rev

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

## Issue

The following information is being provided for your information. The Department is currently reviewing the proposed regulations regarding the management of the national forests. The regulations are intended to ensure that the forests are managed in a way that is consistent with the nation's environmental policies. The Department is seeking public input on these regulations and will hold a series of public hearings in the coming months. Your input is valuable and will be taken into account in the final decision.

## THE PLAN