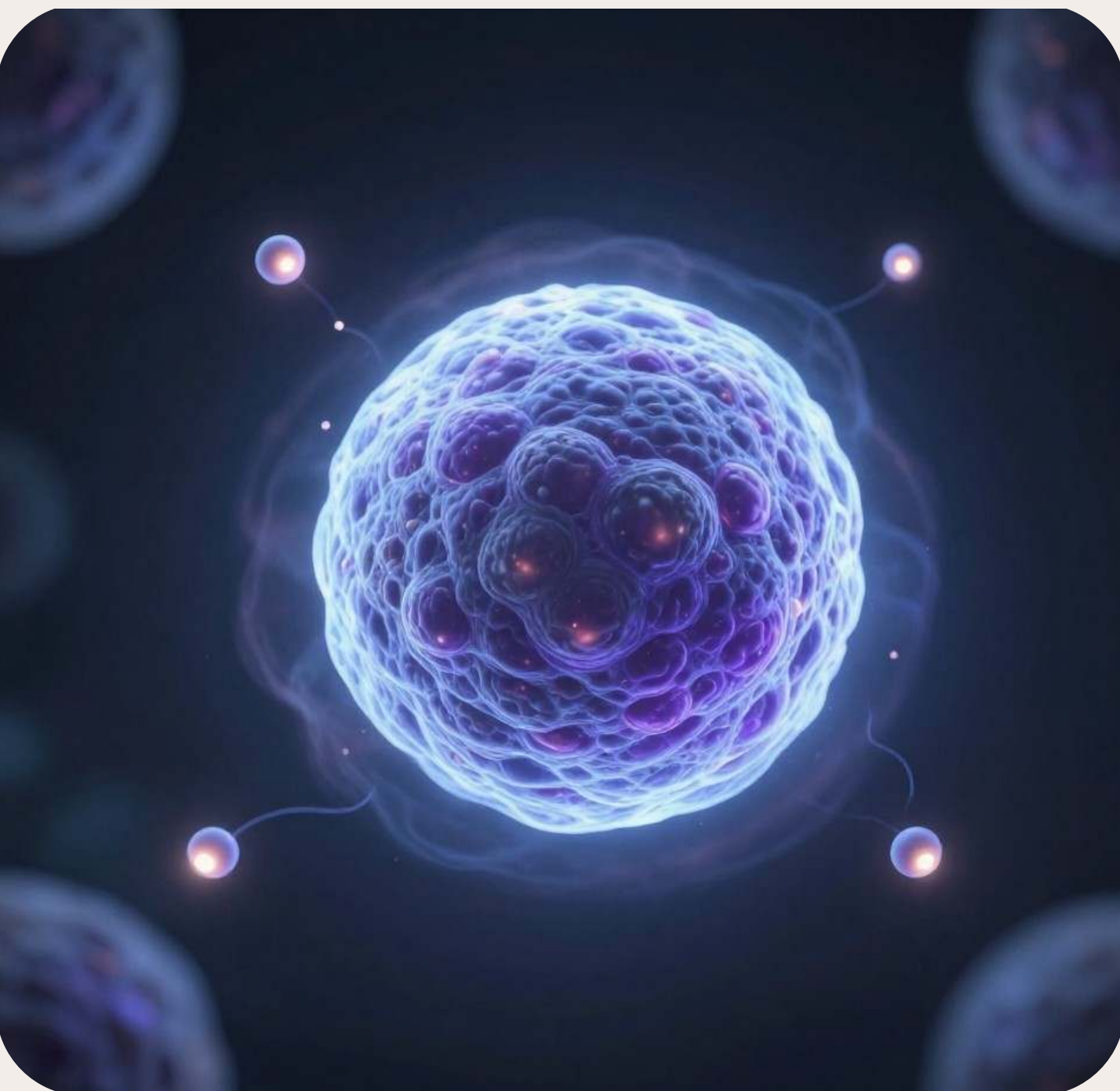


Радиоактивность и строение атомного ядра

Разберём, почему ядра бывают нестабильными, что они излучают и как это измеряют.



- Почему ядро может быть нестабильным



Атом состоит из электронной оболочки и компактного ядра. Его размеры: $\sim 10^{-10}$ м у атома и $\sim 10^{-15}$ м у ядра. Устойчивость определяется соотношением протонов и нейтронов и энергией связи. Некоторые ядра «перестраиваются», испуская излучение; радиоактивность впервые наблюдал А. Беккерель в 1896 году.



- Состав атома и атомного ядра

Ядро атома образовано протонами и нейтронами, которые вместе называют нуклонами. Протон имеет положительный заряд, а нейтрон электрически нейтрален, поэтому заряд ядра задают именно протоны.

Число протонов определяет химический элемент: изменится Z — изменится и элемент. Сумма протонов и нейтронов даёт массовое число A , то есть «вес» ядра в нуклонах.

Почти вся масса атома сосредоточена в ядре, потому что нуклоны значительно тяжелее электронов. Электроны же формируют внешнюю оболочку и занимают гораздо больший объём пространства вокруг ядра.

Разные сочетания A и Z могут относиться к одному элементу: тогда говорят об изотопах. Изотопы отличаются устойчивостью ядра и могут распадаться с разной скоростью.

• Основные виды радиоактивного излучения

Сопоставим излучения по природе, заряду, проникающей способности и способам защиты.

Ключевой тренд: при росте проникающей способности защита усложняется, а форма опасности зависит от того, попадёт излучение внутрь организма или останется снаружи.

Излучение	Заряд/масса	Проникающая способность и защита
Альфа (α)	+2; ядро He-4	Останавливается бумагой или кожей; защита — тонкий барьер, но опасно при попадании внутрь.
Бета (β)	-1 или +1; электроны/позитроны	Проходит дальше и ослабляется алюминием; чем больше энергия, тем сложнее экранирование.
Гамма (γ)	0; квант	Наибольшая проникающая способность; обычно требуется свинец или бетон.
Нейтронное	0; нейтроны	Особенно эффективно замедляется водородсодержащими материалами; защита требует специализированных материалов.

Обобщение школьного курса по радиоактивному излучению

- Модель ядра и ядерные силы

1

Почему протоны «держатся» вместе

Нуклоны удерживаются не электростатическим притяжением, а сильным взаимодействием. Оно заметно только на очень малых расстояниях — примерно 1–2 фемтометра — и поэтому действует внутри ядра, «склеивая» протоны и нейтроны.

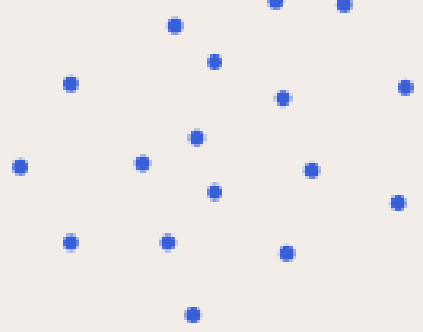
2

Что говорит энергия связи

Устойчивость ядра характеризуют энергией связи на нуклон: чем она выше, тем ядру выгоднее оставаться в данном состоянии. В районе ядер около железа эта величина достигает максимума — именно там ядра наиболее «свободны» от распада.



● Закон радиоактивного распада



Кривая убывания задаётся экспонентой: за одинаковые интервалы, равные $T_{1/2}$, распадается одна и та же доля ядер.

Так как распад статистический, невозможно заранее знать момент распада конкретного ядра, но заранее известна «средняя» скорость убывания N .

Закон распада: $N = N_0 \cdot 2^{(-t/T_{1/2})}$ (теория радиоактивности)

- Период полураспада и активность



Период полураспада $T_{1/2}$

Это время, за которое распадается половина начального числа ядер изотопа. Для расчётов мы опираемся на статистику, а не на судьбу конкретного атома.



Активность

Активность — число распадов за единицу времени. В СИ она измеряется в беккерелях: 1 Бк соответствует одному распаду в секунду.



Зависимость от числа ядер

Для одного и того же изотопа активность уменьшается по мере распада, потому что радиоактивных ядер становится всё меньше. Скорость убывания определяется $T_{1/2}$.

• Как происходит радиоактивное превращение

Типичный путь: нестабильное ядро → частица/квант → новое ядро → возможные последующие распады



• Альфа-распад

При альфа-распаде ядро испускает частицу, представляющую собой ядро гелия ${}^4_2\text{He}$. Массовое число уменьшается на 4, а зарядовое число — на 2, поэтому элемент смещается в таблице Менделеева.

Альфа-распад чаще встречается у тяжёлых ядер, например урановых и радиевых. Из-за большой массы α -частицы сравнительно слабопроникающи в веществе, но обладают высокой ионизирующей способностью.

Особенно опасно альфа-излучение при попадании внутрь организма: тогда экранировать его «как снаружи» уже нельзя. Поэтому важны герметичность и санитарные меры при работе с источниками.

• Бета-распад и электронный захват

- 1 При β^- -распаде нейтрон превращается в протон, электрон и антинейтрино. Заряд ядра увеличивается на 1, а массовое число остаётся прежним, поэтому меняется химический элемент.
- 2 При β^+ -распаде протон превращается в нейтрон, позитрон и нейтрино. Заряд ядра уменьшается на 1, а массовое число вновь не меняется: элемент смещается «вниз» по заряду.
- 3 Электронный захват — поглощение ядром внутреннего электрона с превращением протона в нейтрон. Он также меняет элемент, но массовое число сохраняется, и дальнейшее «уточнение» энергии может происходить через γ -переходы.

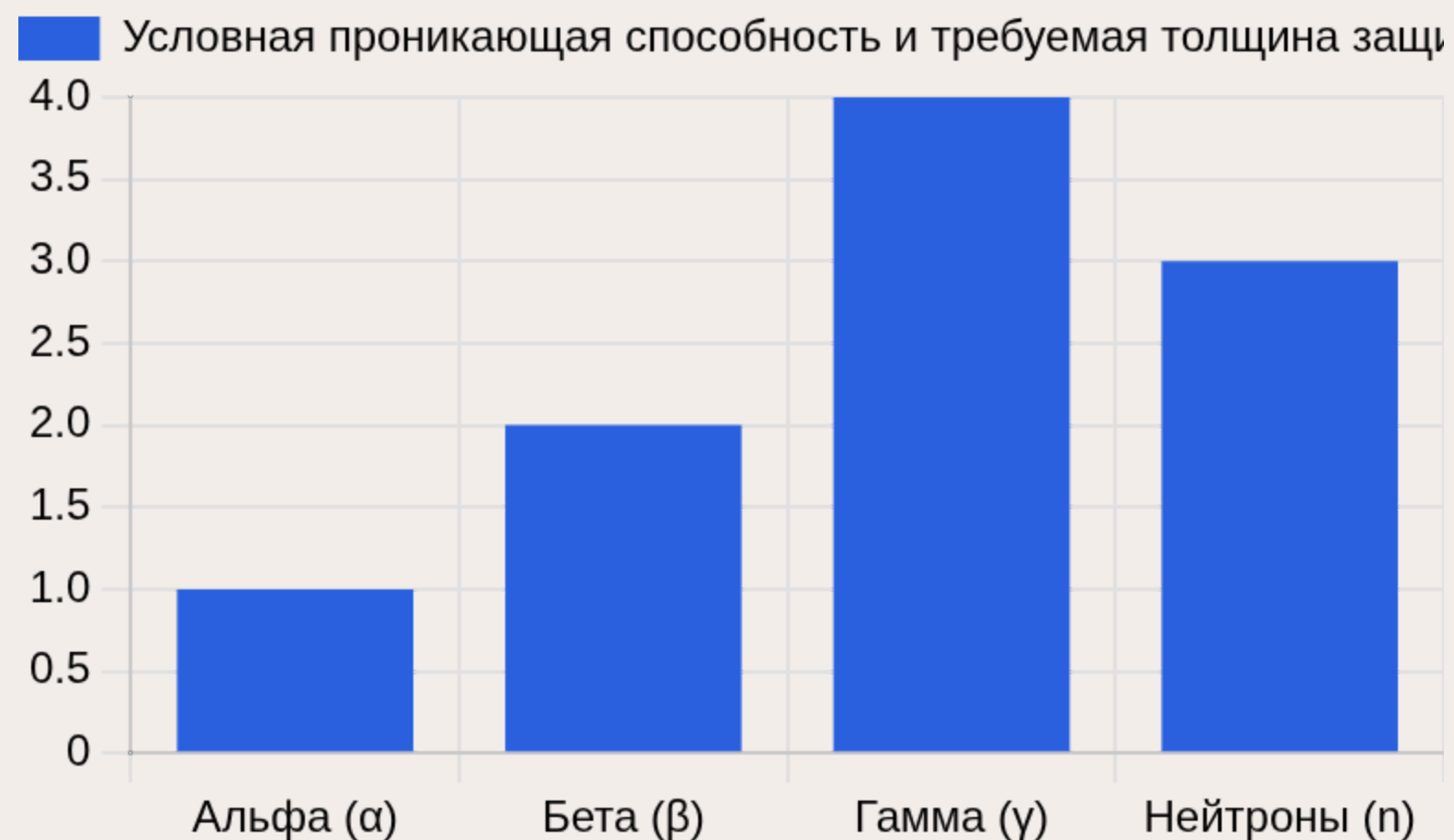
- Гамма-излучение и возбужденные ядра

Гамма-излучение возникает, когда ядро, получив энергию, переходит из возбужденного состояния в более низкое. При таком γ -переходе испускается фотон, и именно энергия ядра «уходит» с этим квантом.

Массовое число A и зарядовое число Z при γ -излучении не меняются: меняется лишь энергетическое состояние ядра. По сравнению с α - и β -излучением гамма-кванты заметно лучше проходят сквозь вещество, но при этом дают слабую ионизацию.



● Сравнение проникающей способности излучений



На практике нейтроны требуют не только «экрана», но и замедлителей и поглотителей: они иначе взаимодействуют с веществом, чем заряженные частицы.

Диаграмма показывает общий тренд: чем больше проникающая способность, тем сложнее защита и тем тщательнее выбирают материалы и метод контроля.

Качественные сведения о радиационной защите из учебных курсов по радиационной физике; значения на диаграмме — условные индексы для наглядного сравнения.

- Естественные и искусственные источники радиации

Происхождение	Пример	Где встречается	Значение/риск
Естественное	Космические лучи; радон; калий-40; урановые руды	Атмосфера, почва и здания (радон), горные породы	Фон присутствует постоянно; дозы обычно невысоки, но радон в помещениях может заметно повышать облучение
Искусственное	Медицинские источники	Диагностика и лечение в клиниках	Используются по показаниям; риск связан с дозой, поэтому важны оправданность и контроль
Искусственное	Ядерные реакторы	Промышленная атомная энергетика и технологические циклы	При соблюдении норм влияние обычно контролируемо; важны регламенты безопасности и мониторинг

Таблица сопоставляет происхождение источников, характерные примеры, типичные места встречаемости и общий вклад в облучение или потенциальные риски.

В естественной среде радиация распределена «фоново», а искусственные источники чаще привязаны к конкретным задачам; поэтому управление риском опирается на режим работы и медицинские протоколы.

Обобщение типовых разделов по радиационной гигиене и источникам облучения, используемых в школьных и вводных учебных программах по физике/экологии радиации.

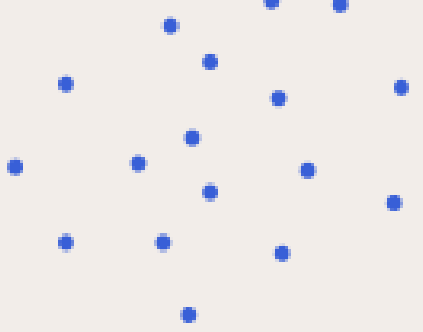
• Дозы излучения и биологическое действие

Ионизирующее излучение повреждает молекулы в клетках, в том числе ДНК. Наиболее чувствительны ткани с активным делением, поэтому ответ организма зависит не только от дозы, но и от типа излучения.

Поглощённую дозу измеряют в грэях (Гр), а эквивалентную — в зивертах (Зв), учитывая различную биологическую «эффективность» видов излучения. Важно, как долго длилось облучение и была ли внутренняя инкорпорация.

Биологический эффект может проявиться и при внешнем облучении, и при внутреннем загрязнении радиоактивными веществами. Поэтому оценка риска требует учитывать путь попадания, распределение по органам и суммарную дозу во времени.

• Методы регистрации радиоактивного излучения



Счётчик Гейгера

Счётчик Гейгера фиксирует отдельные события от излучения и помогает оценивать уровень радиационного фона. Он удобен для оперативного контроля, но не даёт полного спектра энергии частиц.



Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционные детекторы преобразуют энергию излучения в световые вспышки. По световому сигналу можно уточнять характеристики излучения, поэтому такие приборы применяют там, где нужна большая информативность измерений.



Фотоплёнка

Фотоплёнка позволяет «запечатлеть» излучение: по степени почернения судят о наличии и интенсивности облучения за период наблюдения. Метод полезен там, где требуется ретроспективный контроль дозы.



Дозиметры и датчики

Дозиметры и специализированные датчики измеряют параметры облучения для защиты персонала и населения. Их используют в науке, медицине, промышленности и при экологическом мониторинге радиационной обстановки.

- Применение радиоактивности в жизни человека



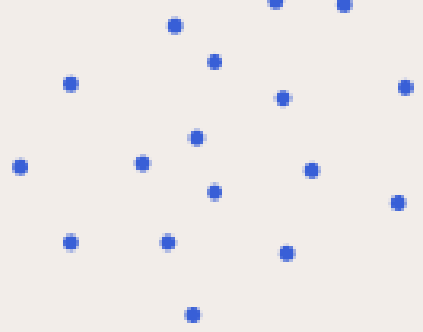
Медицина: диагностика и лечение

В медицине радиоактивные изотопы применяют для диагностики, лучевой терапии и исследования работы органов. Точные процедуры позволяют получить информацию, а лечение направлено на поражение патологических тканей при минимизации воздействия на здоровые.

Энергетика и датировка прошлого

В энергетике цепи ядерных реакций деления служат источником тепла на атомных электростанциях. В археологии и геологии радиоактивные методы помогают определять возраст материалов, сравнивая изменения состава изотопов во времени.

● Цепная реакция деления ядер



Подкритическое, критическое и надкритическое состояние (качественно)



Качественная интерпретация принципов реакторов деления (подкритичность/критичность/надкритичность) из базовых материалов по ядерной энергетике; численные значения на оси — условные для визуального сравнения.

Границы между состояниями определяют баланс нейтронов: сколько рождается при делении и сколько теряется из-за поглощения или утечки. Замедлитель и управляющие стержни помогают удерживать этот баланс.

При подкритическом режиме реакция затухает, при критическом — поддерживается на постоянном уровне, при надкритическом — нарастает. Поэтому контроль реактивности является ключевым условием безопасности.

• Радиоактивные методы датировки

1

Радиоактивные изотопы используют, чтобы оценивать возраст археологических и геологических объектов. Идея опирается на то, что со временем меняется доля «родительского» изотопа и появляется «дочерний» продукт распада.

2

Углерод-14 применяют для датирования органических остатков — от древесины и костей до тканей — пока возраст не превышает примерно 50 тысяч лет. Его период полураспада задаёт масштаб измеряемых временных интервалов.

3

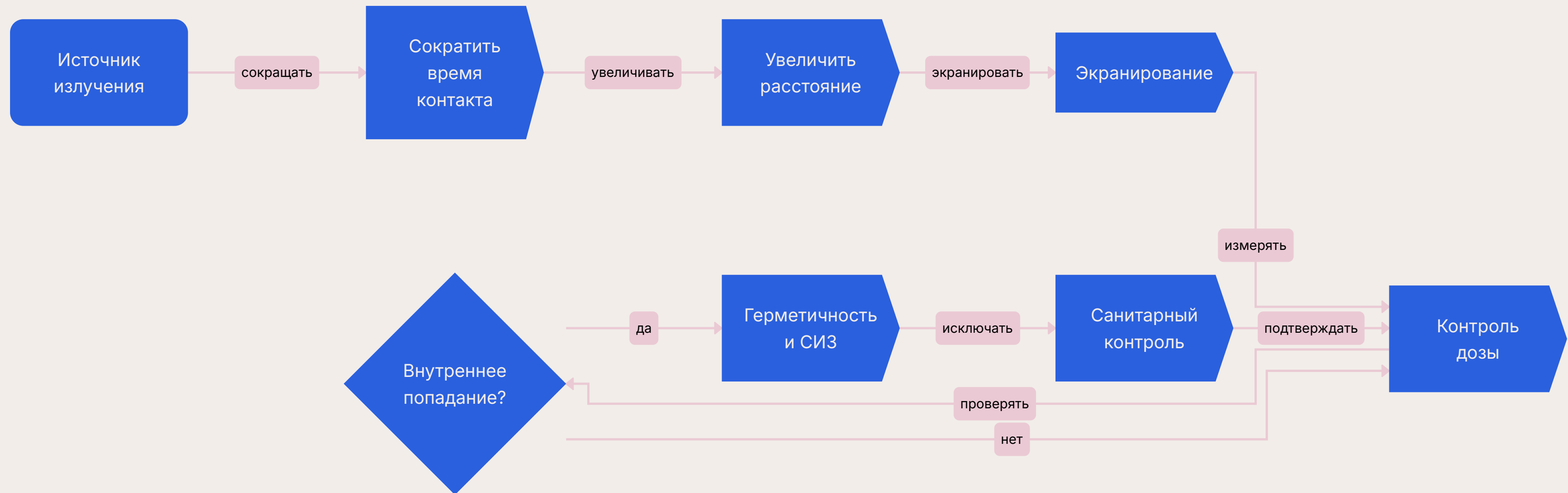
Уран-свинцовый метод применяют для очень древних пород и минералов, поскольку он хорошо работает на больших временах. Калий-аргоновый метод особенно подходит для вулканических пород, где можно фиксировать образование продуктов распада после извержения.

4

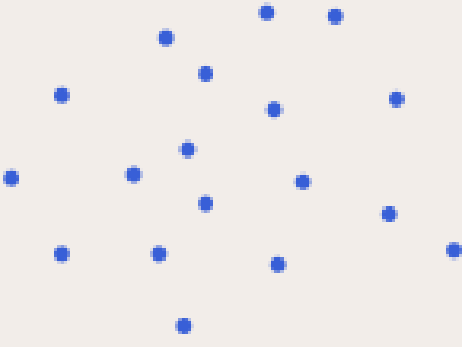
Во всех подходах требуется сравнить исходное количество изотопа с оставшейся и/или измеренной долей дочерних нуклидов. Чем стабильнее и лучше известны условия системы, тем точнее выходит датировка.

• Безопасность и защита от излучения

Последовательность мер для снижения дозы при внешнем облучении и внутреннем загрязнении



● Радиоактивность — ключ к пониманию ядра и практических задач



Радиоактивность рождается из нестабильности атомных ядер и их стремления перейти в более устойчивое состояние. Тип распада определяет изменения зарядового и массового чисел, а закон распада делает процесс статистически предсказуемым и полезным на практике.

