

1

КАК РАБОТАЕТ ДЕЛЕНИЕ ЯДРА

Возможно, сейчас вы держите в руках эту книгу и задаетесь вопросом, зачем вам что-то читать про атомную энергию, если вы не знаете, что это или как происходит деление ядра. Может быть, вы уже опасаетесь, что вот-вот появятся какие-нибудь озадачивающие термины. Не стоит волноваться, ведь решение есть всегда. Надо очень внимательно читать все, что есть в этой главе. Я попытаюсь объяснить вам все максимально просто, без математических формул. Но да, очень важно, чтобы вы хорошо понимали значение слов, выделенных **полужирным шрифтом**, потому что это фундаментальные вещи. Допускаю, что вы взялись прочитать эту книгу из-за глав о Чернобыле, потому что вам очень понравился сериал*, но даже если так, позовите уверить вас, что остальное почитать тоже стоит, к тому же знания много места не занимают!

* Телевизионный сериал «Чернобыль» (англ. *Chernobyl*) режиссера Йохана Ренка в жанре исторической драмы, созданный американским телеканалом *HBO* совместно с британской телесетью *Sky*. Премьера состоялась в 2019 году. Подробнее о нем см. далее в книге. — *Примеч. ред.*

Все состоит из атомов

Все известные вещества состоят из атомов. Да-да, все. Не ищите исключений, их нет. **Атом** — это самая маленькая частица, на которую можно разложить химический элемент (кислород, железо, уран), чтобы он не потерял своих свойств. На греческом это слово означает «неделимый», хотя сегодня мы знаем, что он состоит из еще более мелких частиц (а они, в свою очередь, состоят из еще более мелких, но это, как говорится, другая история). Атом состоит из **ядра**, несущего в себе почти всю массу и имеющего положительный электрический заряд, и **облака**, образованного частицами — **электронами**, которые движутся вокруг ядра, как пчелиный рой, и имеют отрицательный заряд. Ядро атома состоит из двух типов частиц: **протонов** с положительным зарядом и **нейтронов** с нейтральным зарядом, что явствует из их названия. **Атомная энергия** рождается именно в ядре атомов.

Электроны — неотъемлемая часть электричества, электроники и связей между атомами, которые формируют молекулы: например, воды, состоящей из двух атомов водорода и одного — кислорода. Число протонов в атомном ядре, совпадающее с числом электронов, определяет химический элемент. Так, у всех атомов кислорода восемь протонов, у железа — двадцать шесть, а у урана — девяносто два. Важно, чтобы вы поняли это, но записывать все карандашом в тетрадку не обязательно. Продолжим?

У большинства химических элементов есть разные варианты, называемые **изотопами** (да, как «Спрингфилдские изотопы» — любимая бейсбольная команда Гомера из мультсериала «Симпсоны»). Обратите внимание на это понятие, потому что оно крайне важно для продвижения вперед (и если знаменитый сериал поможет вам его запомнить, тем лучше). Все изотопы одного химического

элемента имеют одинаковое число протонов, но каждый изотоп имеет различное число нейтронов. Таким образом, каждый химический элемент может иметь разные изотопы. Например, углерод — основа жизни — имеет три естественных изотопа: углерод-12, углерод-13 и радиоактивный углерод-14 (если он кажется чем-то знакомым, то это потому, что он используется для датирования органических останков). У всех них есть шесть протонов, но различается число нейтронов (шесть, семь и восемь соответственно). Если вы хорошо поняли этот абзац, можете продолжать. В противном случае — ничего страшного, но советую вам перечитать его, потому что это (правда!) будет полезно.

Фундаментальные взаимодействия

Раздел физики, изучающий частицы, из которых состоят атомы, выделяет четыре силы, влияющие на материю, — так называемые **фундаментальные силы**, хотя правильнее называть их, дабы физики не злились, **фундаментальными взаимодействиями**: электромагнитное, сильное ядерное, слабое ядерное и гравитационное (и все они были бы отличными названиями для альтернативной музыкальной группы, вам не кажется?) Давайте я их представлю!

Электромагнитное взаимодействие происходит между частицами, обладающими электрическим зарядом. Частицы с одинаковым зарядом взаимно отталкиваются, а имеющие разный заряд — притягиваются, как магниты (а иногда и как люди). Эта сила поддерживает единство атома путем притяжения между протонами и электронами. Протоны взаимно отталкиваются между собой из-за электромагнитной силы. Возникает очевидный вопрос: как поддерживается целостность ядра, если заряды одинаковы? **Сильное ядерное взаимодействие** ответственно за победу над

отталкиванием и сохранением цельности ядра. У этой силы очень короткий охват — меньше самого атома, но она очень велика. **Слабое ядерное взаимодействие** вызывает **радиоактивный распад** — естественный распад протонов, нейтронов и ядер с испусканием электронов. Наконец, **гравитационное взаимодействие** настолько слабое в масштабах атома, что его не учитывают в расчетах.

Ядро атома **стабильно**, когда существует равновесие всех взаимодействий или когда сильное ядерное взаимодействие (притягивающее) больше, чем электромагнитное (отталкивающее). Нестабильные ядра переживают спонтанные трансформации для достижения стабильности. Как и люди, нестабильные ядра должны находиться в покое, однако они не могут для этого отправиться в горы погулять для успокоения. Что же они тогда делают для достижения своей цели? Продолжайте чтение.

Радиоактивность и деление ядра

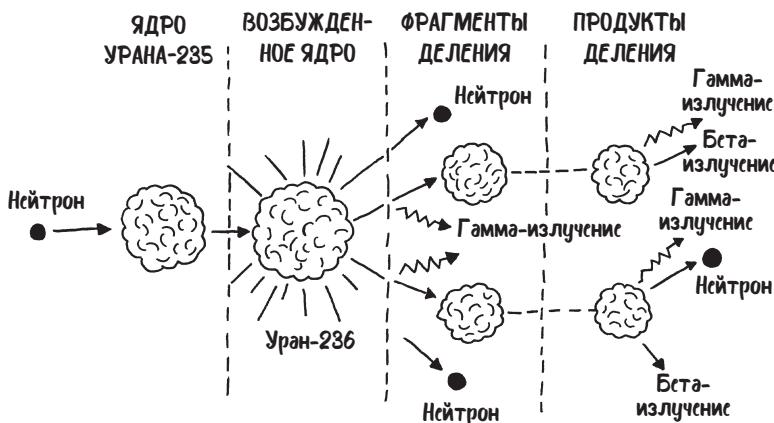
Радиоактивность — это спонтанное и постепенное превращение нестабильного ядра в стабильное. Для этого оно испускает **ядерное излучение**, состоящее из частиц (нейтроны и электроны) и электромагнитных волн или фотонов, как свет или *Wi-Fi*-сигнал (но используя гораздо больше энергии, чем ваша домашняя сеть, поверьте). **Энергия связи ядра** — это минимальная энергия, необходимая для того, чтобы разбить ядро и разложить его на протоны и нейтроны, и она вызвана сильным ядерным взаимодействием. Именно эта энергия используется в **атомных реакторах** для получения тепла и последующего производства электричества.

Ядерные реакции — это процессы комбинации и трансформации частиц и атомных ядер. Реакция, используемая

в атомных реакторах для получения энергии, — это **деление ядра**, происходящее, когда тяжелое ядро, как у урана, делится на два или три ядра поменьше (образуются новые атомы). Кроме того, при этом выделяется ионизирующее излучение, или радиация, включая нейтроны, а также много энергии, поэтому с ядерными отходами необходимо обращаться, соблюдая меры безопасности. Причина деления ядра — попадание в него нейтрона. При делении одного атома урана выделяются два или три нейтрона, каждый из которых, в свою очередь, воздействует на другие ядра урана, вызывая новые деления. Так мы получаем **цепную реакцию**.

Очень важная часть атомных реакторов и ключ к пониманию многого из того, что я буду объяснять вам в книге, — это понятие **замедлителя**. Нейтроны после деления ядра выстреливают с большой скоростью. Если с ними ничего не делать, то они просто улетят из активной зоны реактора, не вызывая новых делений. Чтобы нейтроны остались в активной зоне (хотя некоторые из них все равно сбегут), используется замедлитель. Когда нейтроны сталкиваются с атомами замедлителя, они достигают подходящей скорости для того, чтобы попасть в очередное ядро урана и расщепить его. В большинстве реакторов замедлителем является вода, она же служит и охладителем.

Почти во всех атомных реакторах в качестве топлива используется уран (*U*). Природный уран состоит в основном из двух изотопов: 99,3% — это *U-238* (в его ядре 238 протонов и нейтронов), 0,7% — *U-235* (с 235 частицами). Хорошо ловит нейтроны и делится *U-235*. Более распространенный *U-238* захватывает один нейтрон и не делится, не расщепляется, а превращается после нескольких трансформаций в следующий элемент таблицы Менделеева — плутоний-239 (*Pu-239*), у которого в ядре на одну частицу больше, а еще он искусственный, то есть не встречается в природе. Чтобы атомный реактор работал



восемнадцать месяцев подряд*, необходимо увеличить долю $U-235$ с 0,7% до 4–5%. Промышленный процесс, направленный на увеличение его доли, называется **обогащением**, потому что речь идет об увеличении количества полезного урана. (Можете быть совершенно спокойны, в другой главе я еще объясню, что атомный реактор не может взорваться, как атомная бомба, потому что для взрыва необходимо обогащение до уровня свыше 90%).

Вот и все! И ведь не так сложно? Если вы прочли и поняли эту главу, то можно переходить к следующей. В любой момент вы можете вернуться сюда, если вдруг подзабудете какое-нибудь понятие. Поскольку термины выделены полужирным, найти будет просто. Продолжим!

* Срок непрерывной работы реактора зависит от его типа и от загруженного в него топлива. — Примеч. науч. ред.

ВСЕ РАДИОАКТИВНО

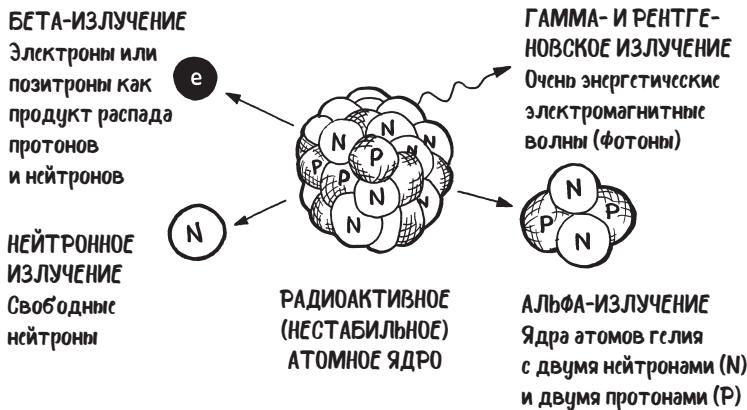
Вы боитесь радиоактивности? Как в анекдотах, у меня для вас есть две новости: хорошая и плохая. Плохая — мы окружены радиацией. Вы сами радиоактивны. Вас точно это удивит, но не беспокойтесь, потому что хорошая новость в том, что доза получаемой нами радиации (кроме из ряда вон выходящих случаев) представляет чрезвычайно низкую угрозу нашему здоровью.

«Все есть яд, и ничто не лишено ядовитости. Только количество отличает яд от лекарства» — это высказывание швейцарского алхимика, врача и астролога Парацельса хоть и не является точным, но полностью верно для радиоактивности. Этот принцип вы можете повторять себе, когда вами овладевает страх перед радиацией. Все дело в дозе, и экспериментально показано, что риск нанесения вреда увеличивается с ростом дозы, а при очень низких дозах опасность почти нулевая.

Вы точно сейчас думаете: «Тогда что радиоактивно и как это на меня влияет?» Радиоактивные материалы являются источником **радиации**, также называемой **ионизирующим излучением**, или излучением, способным изменить химические свойства молекул, в особенности ДНК клеток, где хранится наш генетический материал. И потому нарушения в ДНК могут вызвать мутации, иногда — рак и другие заболевания. Это вопрос вероятности. Как в дьявольской

лотерее: чем выше доза, тем больше риск, что вы получите вред. При очень высоких дозах вред становится неизбежным, и последствия этого хорошо известны. Поэтому мы измеряем дозу радиации, чтобы предотвратить ее негативное воздействие, уменьшив ее настолько, насколько это возможно.

Прежде чем продолжить, хочу спросить: вы знаете, что такое радиоактивность? Если вы физик, то можете пропустить этот абзац, но если у вас нет четкого ответа, не волнуйтесь, я быстро все вам объясню. Материя образована из атомов, и некоторые из них нестабильны, они распадаются, высвобождая частицы или электромагнитное излучение (как рентгеновские лучи), образуя другие, более стабильные атомы и создавая явление, называемое **радиоактивностью**. Единицей измерения радиоактивности является беккерель, названный в честь французского физика Анри Беккереля, открывшего радиоактивность. Один беккерель (Бк) равен одному распаду ядра в секунду.



Возможный вред, нанесенный телу человека полученным им ионизирующим излучением, измеряется **дозой ионизирующего излучения**. Одно и то же количество ради-

ации может нанести различный ущерб разным биологическим тканям, и этот ущерб зависит от типа радиации (альфа-, бета-, гамма-излучение, рентгеновское или нейтронное излучение). Кроме того, разные органы и ткани человеческого тела имеют различную чувствительность, и один и тот же тип радиации может по-разному их задеть.

Зиверт (Зв) — это единица измерения дозы радиации, но это очень большая величина, поэтому чаще говорят о ее тысячной доле — миллизиверте ($1 \text{ мЗв} = 0,001 \text{ Зв}$), и даже о миллионной части — микрозиверте ($1 \text{ мкЗв} = 0,000001 \text{ Зв}$). Чтобы было нагляднее: рентген руки облучает вас на $0,001 \text{ мЗв}$.

Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН), к которому я не раз буду обращаться в книге, подсчитал, что мировое население каждый год получает в среднем дозу ионизирующего излучения естественного (или природного) происхождения, равную $2,4 \text{ мЗв}$, при этом она не представляет собой продукт какой-либо деятельности человека, а является природной фоновой радиацией и может зависеть от множества факторов. Это природный радиоактивный фон, и он не вызывает тревоги. Для примера: НКДАР ООН считает, что, начиная с дозы в 100 мЗв в год, наблюдается рост заболеваемости раком, но такому уровню соответствовали бы примерно пятьдесят компьютерных томографий головы. Не бегите тотчас проверять весь свой организм, ведь, конечно же, доза, воздействию которой мы подвергаемся, должна быть максимально низкой, чтобы уменьшить риски.

В каждой стране есть свой регулятор, который следит за безопасностью на атомных и радиоактивных объектах, контролирует дозу ионизирующего излучения, получаемую их работниками, и ограничивает радиологическое воздействие на людей и окружающую среду. В Испании

это Совет по ядерной безопасности (*CSN*)*. Как органы здравоохранения следят за нашим здоровьем в целом, так и органы радиологической защиты следят за тем, чтобы получаемая нами доза радиации была максимально низкой и не представляла риска для здоровья.

Природное ионизирующее излучение

Если после всего сказанного выше вы думаете, что не подвергаетесь воздействию рентгена или похожих влияний, то вы должны знать: большая часть получаемой людьми дозы радиации является природной радиацией. **Космические лучи** — это (в основном) обладающие высокой энергией протоны и альфа-частицы (ядра гелия), прибывающие из космоса. Остальное — это электроны и частицы с высокой энергией. Значительная их часть рождается на Солнце, но поступают они и из других уголков Млечного Пути, появляются после взрывов сверхновых или рентгеновских двойных звезд. Не стоит беспокоиться, потому что, к счастью, атмосфера защищает нас от части космических лучей. Доза ионизирующего излучения, вызванного космическими лучами, зависит от широты (на полюсах она больше, чем на экваторе) и высоты (в горах доза выше, чем на море). Опять же, не волнуйтесь, если живете в горах рядом с полюсом — здания поглощают часть космических лучей, а средняя доза составляет 0,39 мЗв в год, что соответствует пятой части от дозы при рентгенографии вашего позвоночника. Это величина не касается, к примеру, частых пассажиров трансатлантических рейсов, потому что

* В Российской Федерации регулированием радиационной безопасности в части контроля за источниками излучения занимается Ростехнадзор, в части контроля за облучением человека — Роспотребнадзор. — Примеч. ред.