



За большую помощь и неизменную поддержку при работе над этой книгой я считаю приятным долгом поблагодарить друзей и коллег по атомной отрасли — сотрудников Департамента коммуникаций госкорпорации «Росатом»: руководителя Департамента А. В. Черемисинова, заместителя руководителя К. В. Кошкина, главного специалиста Т. А. Шаповалову, главного редактора газеты «Страна Росатом» Ю. А. Гилёву, — а также дизайнера М. А. Миллер.

**ОБРАЩЕНИЕ К ЧИТАТЕЛЯМ ..... 7**

**ГЛАВА 1.  
НЕМНОГО ОБ ЭНЕРГИИ ВООБЩЕ ..... 11**

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| ОТ КОСТРА ДО РЕСУРСА<br>ПРЯМОГО ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ..... | 13 |
| О ФОРМАХ ЭНЕРГИИ И ЕДИНИЦАХ<br>ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ.....      | 17 |
| ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ —<br>ПРОГУЛКА НА МАШИНЕ ВРЕМЕНИ..... | 21 |
| КРАТКИЙ ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ<br>ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ.....     | 25 |
| КРИТЕРИИ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ.....                        | 30 |
| В МИРЕ: КАК ОБСТОЯТ ДЕЛА<br>И НАДОЛГО ЛИ ХВАТИТ?..... | 36 |
| НА СЦЕНУ ВЫХОДИТ АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ.....                 | 39 |
| ЧТО ЛУЧШЕ?.....                                       | 42 |

**ГЛАВА 2.  
НЕМНОГО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
ДЛЯ ПЕРВОГО ЗНАКОМСТВА  
С АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКОЙ .....45**

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО:<br>ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ..... | 47 |
| КАНДИДАТЫ НА ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО —<br>ГДЕ ИХ ИСКАТЬ?.....          | 54 |
| БАРЬЕР ДЕЛЕНИЯ,<br>или ПРИКЛЮЧЕНИЯ САНОЧНИКА.....              | 57 |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| УРАН, ТОРИЙ И ИХ СВОЙСТВА.<br>ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ..... | 60 |
| Осколки деления и их свойства .....                   | 64 |
| ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР И АТОМНАЯ<br>ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ .....     | 68 |
| ЯДЕРНЫЙ ЭНЕРГОВЛОК:<br>ЧТО ТАМ ВНУТРИ? .....          | 71 |
| А ВЕДЬ БЫЛИ И ПРИРОДНЫЕ<br>ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ .....     | 75 |

### ГЛАВА 3. ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....79

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| РАДИАЦИЯ КАК АТРИБУТ ДЬЯВОЛА.....                                | 81  |
| ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....                             | 82  |
| РАДИОНУКЛИДЫ И ИХ СВОЙСТВА .....                                 | 86  |
| ПРИРОДНЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ.....                                      | 89  |
| ДОЗА — ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА<br>РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ..... | 90  |
| РАДИАЦИЯ В ОКРУЖАЮЩЕМ МИРЕ:<br>ОТКУДА ЧТО БЕРЕТСЯ? .....         | 96  |
| РАДОН И ВОКРУГ НЕГО.....                                         | 99  |
| РАДИАЦИОННОЕ АССОРТИ<br>С ЙОДОМ НА ЗАКУСКУ .....                 | 104 |

### ГЛАВА 4. ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ. ОБЩЕСТВО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА — СРЕЗ НЕПРОСТЫХ ОТНОШЕНИЙ ..... 111

#### УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ, ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Обязательным условием того, что научно-популярную книгу (а именно такая книга перед вами) вы будете читать, является наличие в ней ответов на вопросы, интересующие вас — реально сформулированные, а не взятые с потолка. Но для этого необходимо, чтобы написанию книги предшествовала практика прямого диалогового общения по ее проблематике с вами же — школьной и студенческой молодежью.

Такую практику мне и посчастливилось получить на лекциях, встречах и беседах в Информационных центрах по атомной энергии (ИЦАЭ) госкорпорации «Росатом», на программах дополнительного образования в школах и лицеях и на встречах со школьниками разных возрастов на «Университетских субботах» в НИЯУ МИФИ.

Меня всегда радовали вопросы юных собеседников. Чувствовалась и живой интерес к атомной проблематике, и неподдельное желание сформировать собственное отношение к ней. И было особенно приятно, когда встреча переходила в режим свободной дискуссии. Ведь так не только составлялся перечень наиболее интересных для молодежи вопросов (по принципу их повторяемости на различных встречах), но и становилось понятным, какие пробелы в знании и понимании физических и инженерных явлений и закономерностей, лежащих в основе современной энергетики (в том числе атомной), подлежат устранению в первую очередь. И где корни опасений и страхов, которые до сих пор мешают объективности восприятия обществом ядерных технологий.

Вот на эти вопросы я и попытался ответить в книге, которую вы открыли.

Глава 1 — это рассказ об общей истории энерготехнологий и об их роли в цивилизационном развитии человечества. Это ответ на вопросы: зачем это было нужно людям в прошлом, зачем требуется сейчас, в каком виде понадобится в будущем, как история и перспективы энергетики связаны с эволюцией общества в целом? Кроме того, изложены элементы метрологии энергии — в тесной увязке с понятиями о формах энергии как фундаментальной физической величины, их взаимосвязи и физическом смысле. Кратко рассказано и об основных инженерных понятиях энергетики — энергоресурсах и энергоносителях, сравнительных достоинствах и недостатках энерготехнологий наших дней. Не могли остаться в стороне и актуальные экологические проблемы современной энергетики — во всяком случае, наиболее важные из них. И наконец, вы узнаете, почему мировые закономерности ее развития вызвали к жизни энергетику атомную.

Но атомная энергетика, которая подробно рассматривается в главе 2, — энергетика все же особая. И не только потому, что ей, собственно, и посвящена наша книга. У нее все свое — и физика, и техника, и ресурсное обеспечение, и метрология... Тут и вопросов на встречах со школьниками было больше всего, да и сами вопросы иногда приятно удивляли. В них чувствовалось желание лучше понять атомную энергетику, с уровня «прогулки по выставке», которая отвечает на вопрос, как это выглядит, подняться до ответа на совсем другой вопрос: что там внутри, почему и как это все работает.

Понятно, что в главе 2 этому уделено особое внимание. Как и удивительной истории, развенчивающей квазифилософский миф о принципиальной несовместимости природы нашей планеты и атомной энергетики. Оказывается, ядерные реакторы работали на Земле задолго до появления человека, а мастерству природы как их «конструктора» позавидовали бы многие современные инженеры...

Но в этой книге обязательно должна быть затронута и еще одна тема — что и сделано в главе 3. Ее постановка в ваших вопросах и обсуждение в этой книге связаны с тем общеизвестным фактом, что использование атомной энергии во многих случаях связано с возникновением значительного количества радиоактивных материалов и веществ. И необходимо учитывать возможное технологическое и биологическое воздействие их ионизирующих излучений, в обиходе называемых радиацией.

Почему это слово стало не только одним из главных ужастиков современной эпохи, но и, пожалуй, чемпионом по неадекватности массового восприятия? Что она такое, эта радиация, какова физическая расшифровка этого понятия? В чем причина негативного влияния интенсивных потоков ионизирующего излучения на организм человека? Каковы основы его метрологии? Какие законы управляют радиоактивным распадом? Что такое радиоактивность внешней среды? Какова средняя радиационная нагрузка на организм человека и какой вклад в нее вносят естественные и техногенные факторы, в частности проживание вблизи АЭС? Может ли близость АЭС повлечь дополнительные риски для здоровья людей и насколько можно доверять мнениям и слухам, что это именно так, а не иначе?

И далее, в главе 4, обсуждается именно этот последний вопрос — проблема, о которой очень точно сказал ныне покойный бывший генеральный директор МАГАТЭ Ю. Аmano: «Главное для атомной энергетики — обретение общественного доверия». Сейчас такого доверия у большинства людей пока еще нет. Оттого и вопросы, отражающие степень этого доверия, иногда носят тревожный оттенок, а ведь они во многом есть следствие того, о чем вы слышали, что и где читали, с кем и как общались.

Пройти в книге мимо этой темы я не мог. И не только потому, что ваших вопросов по ней было много, — проблема гораздо шире. Она в том, что само слово «доверие» происходит от слова «верить». И в том, что в нашем узкоспециализированном мире, где нет и никогда больше не будет универсалов, равно компетентных во всех вопросах науки и техники, верить кому-то все равно придется. Хотим мы этого или нет, но мы поступаем (и, несомненно, будем поступать и далее) именно так, а не иначе. И атомная энергетика здесь не исключение.

А отсюда и главные вопросы главы 4: кому верить, а кому нет — профессионалу или дилетанту с луженой глоткой. Каковы реальные и надуманные технологические риски современности. И какие смысловые фильтры должен поставить перед своим сознанием человек нашего времени, чтобы не стать в своих настроениях, решениях и действиях паяцем, жалкой марионеткой в чужих руках.

Теперь несколько просьб к вам, дорогие читатели.

Во-первых, я прошу понимания и у тех из вас, кому какие-то фрагменты книги показались излишне сложными, и у тех, кто счел

их вполне банальными. Эта книга для всех, кому интересны судьбы и перспективы отечественной атомной отрасли, и я с самого начала не собирался как-то фрагментировать состав ее читателей. Поэтому я при ее написании руководствовался бессмертным советом великого Эйнштейна: «Любой вопрос должен быть изложен так просто, как только можно, но не проще».

Во-вторых, эта книга не «ядерная энциклопедия». С моей стороны было бы свернаивно пытаться утрамбовать в издание такого объема и жанра многие, даже весьма значимые и очень интересные, вопросы состояния и развития атомной энергетики и ядерной техники. Скрепя сердце пришлось оставить за пределами книги реакторы на быстрых нейтронах, обращение с облученным ядерным топливом и радиоактивными отходами, структуры ядерных топливных циклов, проблемы преодоления последствий ядерных аварий, радионуклидные технологии, ядерную медицину и многое, многое другое. Прекрасно осознаю, что каждая из этих тем заслуживает отдельного издания подобного рода, и прошу как моих коллег в атомной отрасли, так и вас, дорогие читатели, отнестись к этому с пониманием. Как и к тому, что мне при работе над книгой все время приходилось удерживаться на тонкой грани между исчерпывающей аргументацией и научной строгостью приводимых в ней доводов, мыслей и тезисов (к чему я так привык за многие годы научной работы) с одной стороны и доступностью изложения с другой. Прошу поверить мне: иногда это было очень непросто.

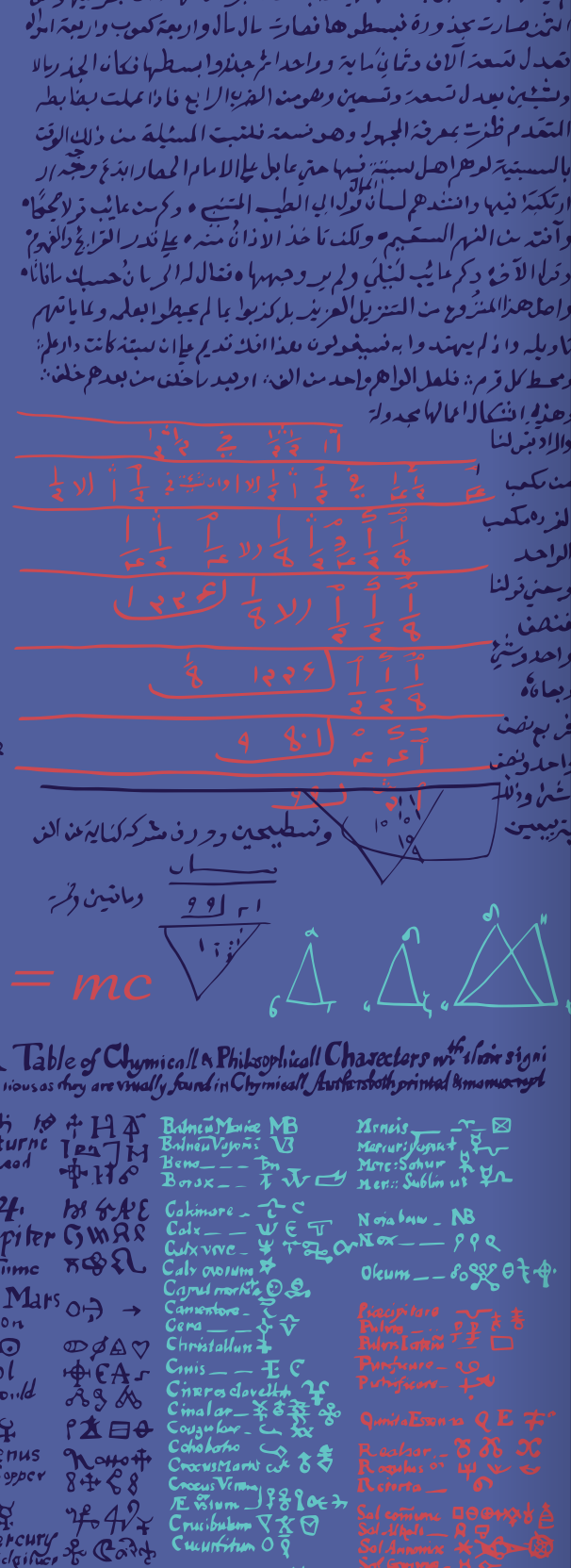
В-третьих, овладение ядерными технологиями и прочтение этой книги — вещи совершенно разные. Профессиональное обучение физике и энергетике, радиационной безопасности и ядерным технологиям — это многолетний, тяжелый, хотя и очень интересный, труд. Поэтому эта книга ни в коем случае не может заменить учебник, она на это и не рассчитана. Это лишь приоткрытая дверь в захватывающий мир атомной энергетики, ядерных и радиационных технологий.

И если кто-то из читателей будет после прочтения этой книги относиться к атомной технике и энергетике с большей степенью понимания и внутреннего доверия, то для меня это уже будет удачей. Но если прочитавший ее будет считать профессиональную работу в этой области своим жизненным путем, то мне больше нечего и желать.

# НЕМНОГО ОБ ЭНЕРГИИ ВООБЩЕ

## ГЛАВА 1





## ОТ КОСТРА ДО РЕСУРСА ПРЯМОГО ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Если бы мне задали вопрос, что является величайшим изобретением человечества, я ответил бы не задумываясь — костер. Именно «управляемый огонь» — костер — положил начало развитию энерготехнологий. А они в своей основе есть не что иное, как способы получения и использования человеком в своих интересах различных форм энергии, имеющих в природе.

Само понятие «энергия», скорее, философское, нежели физическое или инженерное. Энциклопедия определяет ее как «общую количественную меру взаимодействия различных форм существования материи, объединяющую все явления природы».

Это определение нам еще пригодится. Пока же отметим, что с практической (и не только) точки зрения обычно используется другое, менее возвышенное ее определение. Это мера способности совершать работу.

Но вернемся к костру. Для мира диких животных, к которым принадлежал и человек на ранних стадиях своей эволюции, огонь всегда был воплощением опасности и ужаса. Таким он для этого мира и остался. Дикие животные могут совершать некоторые примитивные целенаправленные действия (например, для добычи пищи), иногда даже проявлять какие-то зачатки интеллекта, но при этом они всегда панически боятся огня, независимо от обстоятельств. Человек же, может быть, потому и стал человеком, что, преодолев страх перед «диким» огнем (лесным



пожаром, извержением вулкана), научился сначала этот огонь сохранять, а потом и получать самостоятельно. И дело здесь не только в обогреве и получении пищи. Для человека огонь стал важным цивилизационным фактором жизни — символом тепла и уюта, способом защиты от диких хищных собратьев (рис. 1.1). Огонь пользовался у него высшим уважением, иногда обожествлялся. Со временем люди поняли, насколько удобней и комфортней может быть жизнь, если использовать управляемый огонь. Наступала эпоха энерготехнологий.



Рисунок 1.1. Первая «энерготехнология»



**Энерготехнологии — это звено для передачи энергии от некоторого ее источника (неважно какого — мускульного, огневого, ядерного, использующего энергию воды, ветра и др.) для улучшения качества жизни людей и общества в целом.**

И вот что очень важно. На современном этапе развития человеческой цивилизации они, в отличие от многих других технологий, являются технологиями прямого жизнеобеспечения. Попросту говоря, жить человеку XXI века без, например, самолета, автомобиля, интернета и прочего, разумеется, очень скучно, неудобно, неуютно — в общем, плохо. Плохо, но, исходя из критерия выживания человечества как биологической популяции, можно. А вот без энерготехнологий нельзя. И не только потому, что без них невозможны ни самолет, ни интернет. Ведь становятся элементарно невозможными ни современное земледелие (а значит, еда), ни современное водоснабжение (а значит, и вода). Невозможны химия и металлургия (значит, прощай решительно все сколько-нибудь искусственное, что нас окружает). Невозможны фармацевтика и медицина (значит, уже забытые человечеством губительные эпидемии снова будут выкашивать сотни тысяч и миллионы людей). Наконец, в условиях современных мегаполисов невозможными становятся обогрев жилища, приготовление пищи...

Жалкое зрелище будет являть собой лишенное энерготехнологий человечество (точнее, немногочисленные его остатки), отброшенное, будто кошмарной машиной времени, в эпоху пещер и каменных топоров.

На рис. 1.2 средняя продолжительность жизни граждан различных стран и регионов мира показана как функция удельного в пересчете на одного жителя страны или региона годового энергопотребления — в мегаватт-часах на человека в год (МВт·час/чел. в год). Видно, что эта зависимость имеет логариф-



стрирует непреложную истину: при решении задач энергетики какие-либо однозначные категорические призывы — в особенности начинающиеся со слова «долой» (вроде «Долой атомную энергетику!») — должны быть совершенно исключены. Здесь решения должны быть в высшей степени взвешены и ситуативны, без каких-либо криков и митингов.



Нельзя забывать мудрые слова академика Л. Д. Ландау: «Энергетика — это не наука, а, скорее, здравый смысл».

Вот этими словами мы и закончим общий обзор современных энерго-технологий.

# НЕМНОГО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ДЛЯ ПЕРВОГО ЗНАКОМСТВА С АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКОЙ

## Глава 2



**Handwritten Notes:**

**Top Left:** Portrait of a man (likely a physicist).

**Top Center:** Nuclear reactions:  
 ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$   
 ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{54}^{140}\text{Xe} + {}_{38}^{91}\text{Sr} + 2{}_0^1\text{n}$

**Top Right:** Decay tree diagram showing various isotopes like U, Pu, Th, Pa, and their decay paths.

**Center:** Bohr-style atom model with a central nucleus (red) and three electron orbits (red ellipses). Labels include U, n, Sr, Ba, and X.

**Bottom Left:** Diagrams of a capacitor, a triangle with angles, and a graph of  $\Sigma_f$  vs  $\Sigma_a$ .  
 Calculations:  
 $\frac{1}{L} \frac{d}{dx} = \frac{p^2}{2m} - \frac{Ze^2}{r}$   
 $\alpha = \frac{\hbar^2}{2mc}$   
 $\Sigma_f \times \text{fission cross-section above threshold}$   
 $\sigma_f = \dots$   
 $v = \text{no of neutrons per fission}$   
 $p = \text{probability that first collision fission}$   
 $p = \dots$   
 $\text{probability of capture below threshold}$   
 $\text{data for chain reaction}$

**Bottom Center:** Calculations for metal rods:  
 $\mu = 4 \text{ cm}$   
 $p = 0.954$   
 $\sigma_f = 0.35$   
 $\sigma_a = 4.5$   
 $a = \frac{p \sigma_f}{\sigma_a} = \frac{0.954 \times 0.35}{4.5} = 0.0778$   
 $a = 0.0778$   
 $\text{Formation} = 0.538 + 2.096(1-L)(1-p)$   
 $\text{Loss}$   
 $\text{for } P_9 \text{ volume ratio} \sim 7$   
 $p = 8$   
 $f = 97$   
 $E = 1.068$

**Bottom Right:** Nuclear reaction:  
 ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow \dots$

## АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Итак, мы приступаем к рассмотрению физических основ ядерной энергетики. Но перед этим нам надо понять, с какими объектами приходится иметь дело в микромире.

Атом — основа материи нашего мира. Это электрически нейтральная структура, в состав которой входит положительно заряженное ядро и отрицательно заряженные электроны, сгруппированные на определенных электронных оболочках. Заряд ядра атома в точности равен суммарному заряду всех его электронов. Отрицательный заряд каждого электрона и положительный заряд каждого из его носителей в ядре (протона) является так называемым единичным, или элементарным (меньших зарядов в природе не существует). Поэтому общие заряды ядра атома и его электронов — всегда целые числа, характеризующие тот или иной элемент Периодической системы Менделеева (в которой для каждого элемента предусмотрен индивидуальный символ). Состав и структура электронных оболочек определяют химические свойства элементов.

Типичные размеры атома — порядка  $10^{-8}$  см. При рассмотрении атомов и состоящих из них молекул обычно вводится особая величина — ангстрем (Å).  $1 \text{ Å} = 10^{-8}$  см. Например, размер молекулы воды составляет около 2 Å. Ангстрем не имеет какого-либо самостоятельного физического смысла — это условная величина, вводимая лишь для удобства.

Характерный порядок энергии атома как структуры материи — единицы/десятки электронвольт (эВ) для электронов на внешних (валентных) оболочках, единицы/десятки кэВ — для электронов на внутренних. Типичная энергия, выделяемая в атомно-молекулярных превращениях, того же порядка, что и энергия связи валентных электронов, — единицы/десятки эВ. Например, при экзотермическом окислении атома углерода до молекулы углекислого газа (эта реакция является основой подавляющего большинства процессов огневой энергетики) выделяется около 4 эВ энергии.

Атомным ядром (нуклидом) называется положительно заряженный объект, находящийся в центре атома и содержащий в себе практически всю его массу. В его состав входят протоны — элементарные частицы с единичным положительным зарядом и нейтроны — электрически нейтральные элементарные частицы. Массы протонов и нейтронов очень близки. Общий заряд ядра (всегда целая величина) численно равен сумме всех протонов в нем.

Характерный размер ядра — примерно  $10^{-13}$  см. Например, диаметр протона — около  $1,5 \times 10^{-13}$  см. Для описания столь малых величин часто используется специальная единица — ферми (фм),  $1 \text{ фм} = 10^{-13} \text{ см}$ . Как и ангстрем, ферми как единица не имеет самостоятельного физического смысла и вводится лишь для удобства. Нетрудно видеть, что объем ядра в сравнении с объемом атома ничтожно мал (порядка  $10^{-13}\%$ ).

Следует заметить, что величины, характеризующие размеры атомов и ядер, являются условными в том смысле, что господствующие в микромире законы квантовой механики вообще исключают понятие точных геометрических величин — там действуют вероятностные принципы. Например, понятие «электронной орбиты» как точного соответствия координаты электрона и определенного времени не имеет в квантовой механике физического смысла.

Нуклиды, сохраняющие нуклонный состав и энергетическое состояние в течение неограниченно долгого времени, называются

стабильными; в противном случае речь идет о радиоактивных нуклидах, или о радионуклидах.

Для краткости написания все нуклиды обозначаются в соответствии с общепринятой символикой. С левой стороны от химического знака (символа) нуклида сверху ставится суммарное количество протонов и нейтронов в его ядре ( $A$ ), называемое массовым числом. Снизу слева ставится заряд ядра нуклида  $Z$  в единицах элементарного заряда, соответствующий числу содержащихся в нем одних лишь протонов. На практике это число в символьных обозначениях часто опускается, поскольку заряд ядра однозначно определяется его положением в таблице Менделеева и, следовательно, выбранным для этого ядра химическим символом. Так, например, символ «U» (уран, 92-й по счету элемент в таблице Менделеева) соответствует числу  $Z = 92$  и никакому иному. Число нейтронов ( $N$ ) в символьном обозначении нуклида обычно отсутствует, так как  $N = A - Z$ . Конечно, все эти числа целые.

Приведем для примера символьное обозначение урана-235 —  $^{235}\text{U}$ . В текстовом изложении массовое число часто пишется через дефис после языкового названия элемента (как в нашем примере) или после его символа (U-235). По смыслу все эти обозначения одинаковы.

Радионуклиды часто называют изотопами. Это неверно: таким понятием определяется совокупность нуклидов (как стабильных, так и радиоактивных), обладающих одинаковым числом протонов  $Z$  (и вследствие этого тождественных химически, поскольку эти нуклиды имеют, естественно, одинаковый атомный номер, принадлежащий одному и тому же элементу), однако разным количеством нейтронов  $N$ . Например, водород имеет три изотопа, все ядра которых имеют по одному протону, но обычный водород (1H, протий) не имеет нейтронов вообще, водород-2 (2H, дейтерий) имеет один нейтрон, и водород-3 (3H, тритий) — два нейтрона. Протий и дейтерий стабильны, тритий радиоактивен. Инертный газ ксенон (Xe) имеет 36 изотопов, из которых 9 стабильны и 27 радиоактивны. У многих существующих в природе элементов имеется лишь по одному стабильному изотопу. Таковы, например, фтор (стабилен лишь F-19), алюминий (Al-27), йод (I-127), золото (Au-197); такие эле-

менты часто называют моноизотопными. Элементы с атомными номерами более 83 (начиная с полония — Po), а также два элемента середины таблицы Менделеева (технеций, Tc,  $Z = 99$ , и прометий, Pm,  $Z = 61$ ) стабильных изотопов не имеют вовсе. Ядра с зарядом  $Z > 92$  (уран) и массовым числом  $A > 238$  в природе отсутствуют, все они получены искусственным путем. Понятие изотопа отдельно от соответствующего элемента лишено смысла.

Помимо ядер с одинаковым зарядом (изотопов), можно выделить также группы нуклидов, имеющих одинаковое массовое число (изобары) и одинаковое число нейтронов (изотоны).

Несколько примеров:

- изотопы (водорода;  $Z = 1$ ):  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ;
- изобары ( $A = 12$ ):  $^{12}\text{N}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{12}\text{B}$ ,  $^{12}\text{Be}$ ;
- изотоны ( $N = 6$ ):  $^8\text{He}$ ,  $^9\text{Li}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{11}\text{B}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ .

Вернемся на некоторое время к радионуклидам. Важнейшей характеристикой каждого из них является величина так называемого периода полураспада ( $T_{1/2}$ ). Это время, требующееся для распада половины некоторого начального количества его ядер.

Например, хорошо известно, что радиоактивное загрязнение территорий и объектов после тяжелой аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году в настоящее время определяется в основном излучением цезия-137. В природе его нет — эти ядра образовались искусственным путем как осколки деления урана-235 в ядерном топливе. Что это такое, мы скоро узнаем. А сейчас лишь скажем, что  $T_{1/2}$  цезия-137 составляет тридцать лет. То есть через тридцать лет останется половина от его начального количества, через шестьдесят лет — половина из оставшейся половины ( $1/4$ ), через девяносто —  $1/8$  и т. д. Временная динамика радиоактивного распада цезия-137 показана на рис. 2.1. Такой закон называется экспоненциальным. Так что к 2016 году начальное количество этого радионуклида, попавшее во внешнюю среду, уменьшилось наполовину, к 2046 году от него останется четверть, и этот процесс продолжится и далее — его нельзя ни ускорить, ни замедлить. Потому что период полураспада для каждого радионуклида строго индивидуален, искусственно изменить его нельзя никакими способами.

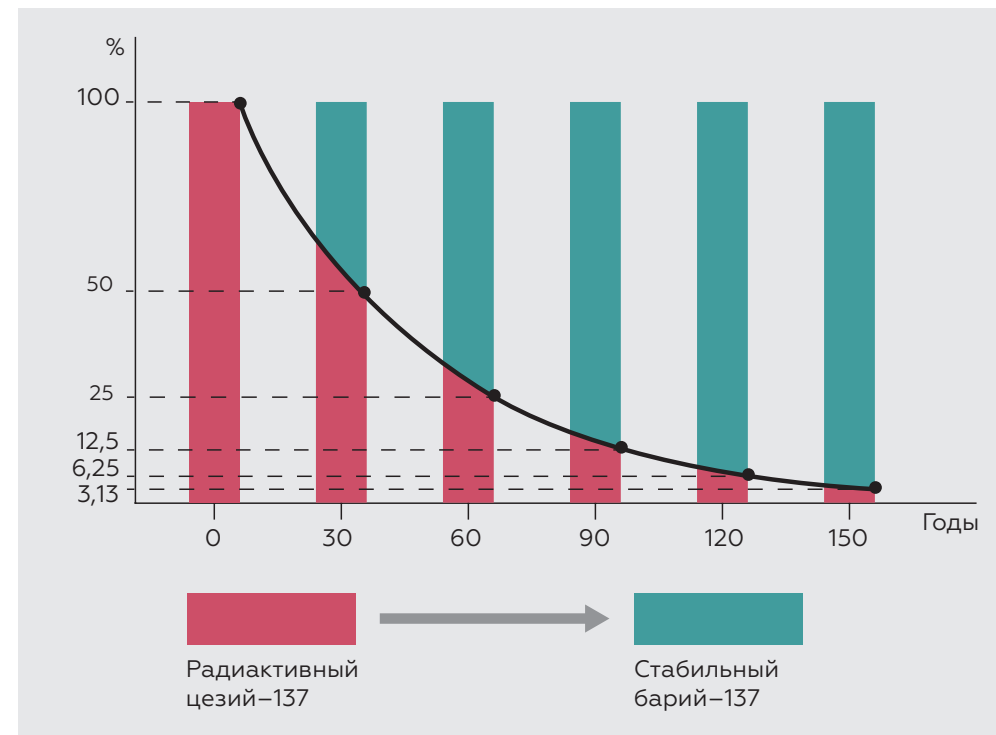


Рисунок 2.1. Радиоактивный распад цезия-137 (период полураспада — 30 лет)

Нетрудно понять, что если время, прошедшее с начала измерения количества радиоактивного вещества, совпадает с целым числом  $n$  периодов полураспада, то количество его ядер  $N$  может быть определено по простой формуле:  $N(t = n \times T_{1/2}) = N(t_0)/2^n$ , где  $N_0$  — количество ядер в начальный момент времени  $t = t_0$ .

Для известных в настоящее время радиоактивных ядер его значения различаются на многие порядки величин — от долей секунды до сотен миллиардов лет. К последним и принадлежат три главных героя нашего рассказа — чрезвычайно долгоживущие радионуклиды актинидной группы таблицы Менделеева: торий-232, уран-235 и уран-238. Их периоды полураспада ( $1,4 \times 10^{10}$ ,  $7,1 \times 10^8$  и  $4,5 \times 10^9$  лет соответственно) сравнимы с возрастом Земли (около  $4,5 \times 10^9$  лет), и они, несомненно, ровесники нашей планеты. Для понимания многих вопросов и проблем атомной энергетики это обстоятельство является ключевым.

А теперь вернемся к некоторым базовым физическим характеристикам атомных ядер.

Массы протона и нейтрона (а только эти частицы и входят в состав ядер, ничего другого там нет) приблизительно равны:  $1,6726 \times 10^{-24}$  г и  $1,67501 \times 10^{-24}$  г. В тех случаях, когда различие между массой протона и нейтрона несущественно, они объединяются понятием «нуклон».

Как и для других объектов микромира, для масс нуклонов и ядер вводится специальная единица — атомная единица массы (а. е. м.). Она принята равной  $1/12$  массы атома углерода  $^{12}\text{C}$ . Поскольку масса электронов в сравнении с массой ядер пренебрежимо мала, в этих величинах масса ядра углерода  $^{12}\text{C}$  составляет точно 12 а. е. м., масса протона — 1,0073, нейтрона — 1,0087. С округлением до целого числа масса ядра в а. е. м. всегда совпадает с массовым числом ядра,  $A = Z + N$  (конечно, всегда целой величиной). Но лишь с округлением — в точности эти величины никогда не совпадают (кроме, понятно, «эталонного» ядра  $^{12}\text{C}$ ). Это несоответствие и является основой физики атомного ядра.

Как и многие рассмотренные ранее единицы микромира, а. е. м. является величиной условной, вводимой лишь для удобства. А теперь рассмотрим иную шкалу масс ядер, имеющую глубочайший физический смысл. Лишь с ее введением будет ясен смысл атомной энергетики как физической науки.

Ранее, когда мы рассматривали энергетические эквиваленты физических понятий, мы ввели принцип эквивалентности массы и энергии ( $E = mc^2$ ). Применять эту формулу для описания привычных нам бытовых явлений макромира неудобно — значения энергетических эквивалентов масс оказываются чудовищно огромными. Но вот для описания процессов, происходящих в ядрах атомов, это как раз то, что нужно. В такой системе единиц энергетический эквивалент массы нуклона равен примерно 931 МэВ. Как мы увидим, эта энергия вполне сопоставима с той, которая выделяется в ходе внутриядерных процессов.

Рассмотрение этих процессов мы начнем с того, что обратим внимание на несоответствие массы ядра углерода  $^{12}\text{C}$  (12 а. е. м.) и суммарной массы входящих в него 6 протонов и 6 нейтронов. Эта по-

следняя оказывается заметно больше 12 — примерно 12,1 а. е. м. Неужели мы ошиблись?

Нет, никакой ошибки нет. Вот вам иллюстрация: предположим, что некий школьный коллектив собрался после уроков в кино, для чего каждый участвующий выделил некоторую часть денег, выданных родителями на еду. После этого оставшаяся у каждого часть денег, естественно, будет меньше первоначальной, но зато та их часть, которая предназначена для похода в кино, превращает разрозненных до этого тинейджеров в коллектив, объединен-

ный одной целью (походом в кино). Так же и с нуклонами в ядре: чтобы создать ядро как единую, связанную систему (для чего, естественно, нужна энергия связи  $E_{\text{св}}$ ), они жертвуют частью своей массы. Для ядра углерода  $^{12}\text{C}$





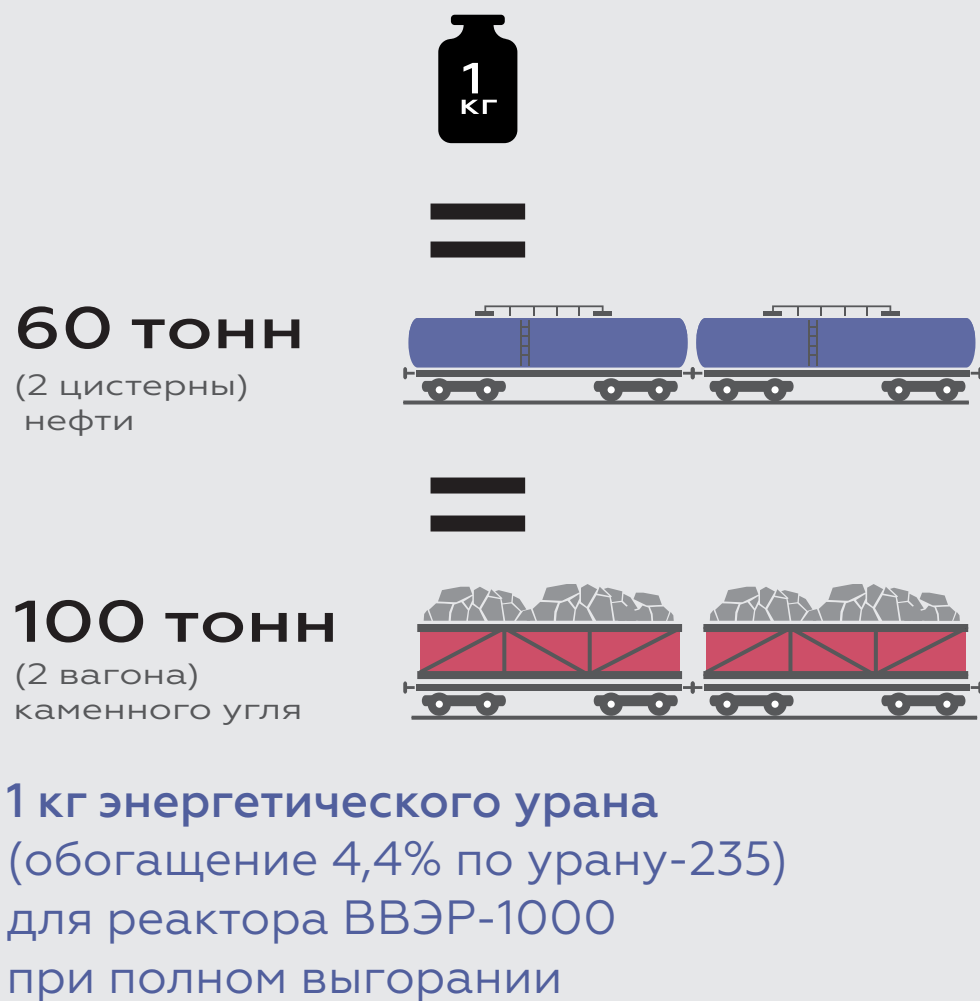


Рисунок 2.4. Эффективность ядерного топлива

И тут выявляется интереснейшая особенность ядер-осколков — физические закономерности протекания реакции деления приводят к тому, что эти ядра перегружены нейтронами и обладают при этом высокой энергией внутреннего возбуждения.

Конечно, делиться далее они не будут, исходя из общих энергетических соображений, — слишком мала масса осколков, вспомним [рис. 2.2](#). Но этой энергии возбуждения хватает, чтобы каждый осколок испустил два-три новых нейтрона (в среднем за 10 делений ядер урана-235 испускается 24 новых нейтрона).

Отсюда сразу две замечательные возможности. Во-первых, эти новые (вторичные) нейтроны можно использовать для деления других ядер урана-235. Нетрудно понять, что перед нами открывается возможность запустить самоподдерживающийся процесс, называемый цепной реакцией деления. И во-вторых, регулируя количество этих нейтронов (для чего существуют специальные материалы-поглотители), этой цепной реакцией можно управлять, добиваясь в каждый момент требуемого уровня мощности, что и происходит в ядерном реакторе.

К сожалению, есть у осколков деления и неприятная особенность — очень высокая искусственная радиоактивность. Именно с ней связано большинство негативных последствий ядерных и радиационных аварий. Среди осколков деления есть такие, действие которых на организм человека может вызвать тяжелые поражения. Чтобы избежать этого, требуется обеспечить гарантированное отсутствие их попадания во внешнюю среду. Это важнейшее требование безопасности ядерных технологий, которое выполняется строжайшим образом.

# ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

## Глава 3

уходили на охлаждение породы и ее заполнение новой порцией воды. И все повторялось — вновь и вновь, на протяжении примерно полумиллиарда лет, при этом выгорело около пяти тонн урана-235. А дальше это выгорание, высокий, в сравнении с ураном-238, темп радиоактивного распада урана-235 и возможное, вследствие геотектонических процессов на месторождении, уменьшение поступления в пласт воды сделали свое дело: однажды реактор остановился, чтобы не запуститься уже никогда. Ни на одном урановом месторождении в мире, кроме Окло, следов работы природных ядерных реакторов не нашли — хотя и искали. Не исключено, что их нигде и не было: все-таки сочетание всех необходимых для этого условий, которое сложилось в Окло, можно смело назвать уникальным. А может, и были, но изменения на поверхности нашей планеты и в ее недрах, произошедшие за миллиарды лет ее истории, навсегда скрыли от нас эти следы — память об удивительных событиях, которые, увы, никогда больше не повторятся.

А нам здесь очень уместно вспомнить слова великого Леонардо да Винчи: «Одна лишь природа — наставница высших умов».





На одной из встреч с молодежью, организованной Информационным центром по атомной энергии (ИЦАЭ), автору задали вопрос: «Передаётся ли радиация по наследству?» — а на другой — не менее экзотический: «Зачем нам свалки радиации?»

Любые вопросы всегда есть отображение их предмета в сознании, а вот что есть это отображение в упомянутых случаях, автор в ходе дискуссий в ИЦАЭ и пытался понять. И сразу выяснилось, что дело не в физике, технике или радиобиологии. Из туманных объяснений слушателей следовало, что речь идет о каком-то образе дьявола, о котором лишь известно, во-первых, что это очень страшно, а во-вторых, с атомной энергетикой, несомненно, связано. При этом незыблемость «несомненности» обычно выводилась за поле обсуждения — из-за чего ядерные технологии приобретали имидж, сравнимый с таковым для черного кота из средневековых примет: черный кот не потому страшен, что черный, и не потому, что кот, а потому, что дьявола сопровождает. Поэтому начнем, как всегда, с основных определений и базовых понятий. И снова вспомним Декарта: «Если мы сойдемся в определениях, то избежим половины разногласий».

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Итак, радиацией в обиходе называют ионизирующие излучения (ИИ) — потоки частиц достаточно высокой энергии, каждая из которых способна, с некоторой долей вероятности, при взаимодействии с веществом удалить электрон из его атома. Такой процесс и называется ионизацией.

При ионизации электрически нейтральный атом, лишившись электрона, превращается в положительный ион. Выбитый же электрон может на короткое время «прилипнуть» к другому атому, образовав уже отрицательный ион. Именно на ионизацию тратится почти вся энергия частиц ядерного излучения при их взаимодействии с веществом.

Энергетическим порогом ионизации является величина порядка энергии связи в атоме электронов его внешних электронных оболочек, на которых электроны слабее связаны с ядром. Как мы знаем из главы 1, для них энергия связи составляет единицы/десятки электронвольт (эВ) — напомним,  $1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$ . С учетом этого энергетического порога ионизирующим является большинство излучений, сопровождающих радиоактивный распад и ядерные реакции, а также жесткое рентгеновское излучение.

А вот радиоволны всех диапазонов и свет в оптическом интервале длин волн к ИИ не относятся. Мне недавно посчастливилось пережить несколько веселых минут при чтении статьи в газете, где к ИИ было отнесено и излучение мобильных телефонов. Наверное, это было написано после того, как автору статьи сказали по мобильнику какую-то гадость...

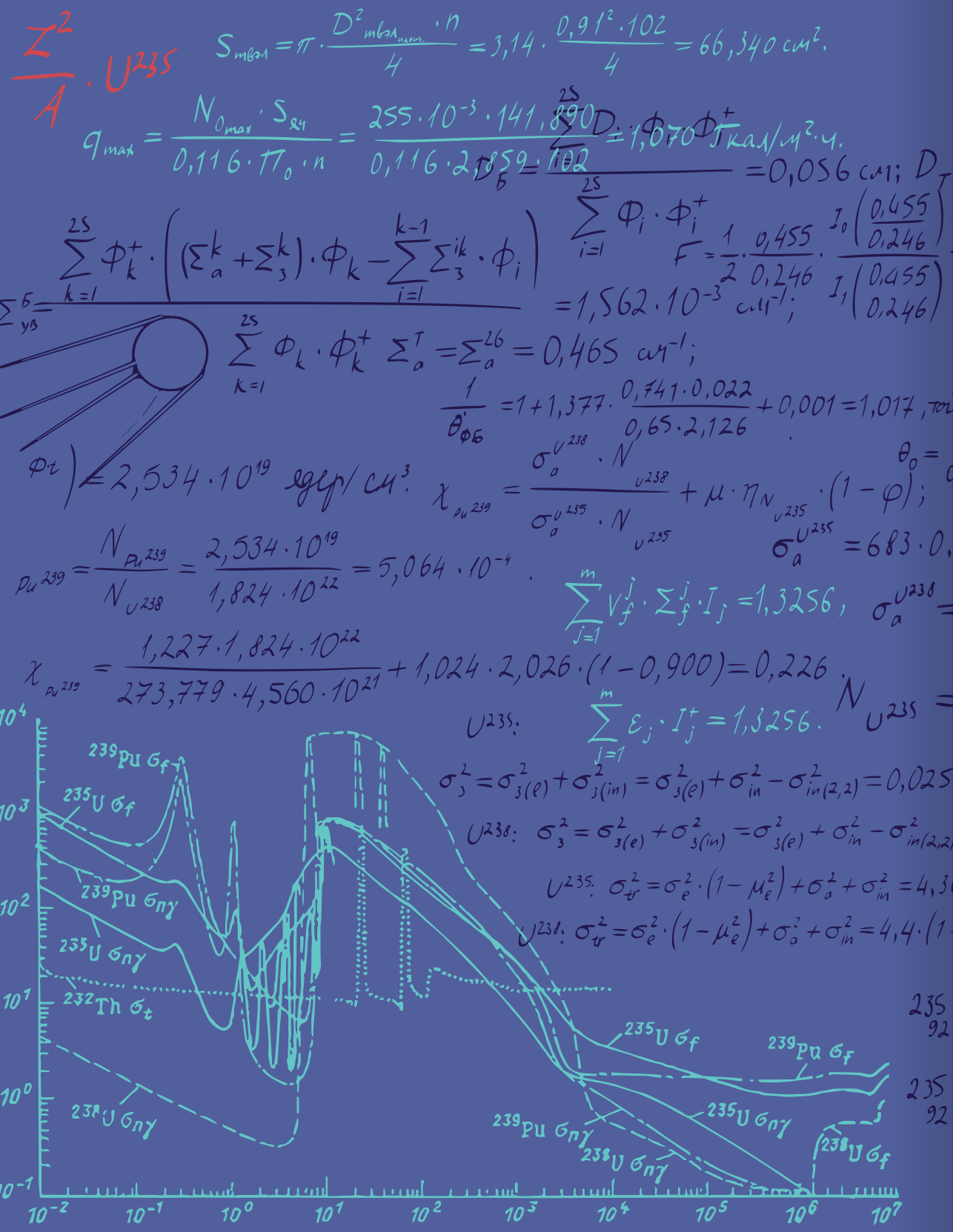
Ионизированное состояние атомов сохраняется недолго — спустя доли секунды нейтральность вещества восстанавливается. Такой процесс, обратный ионизации, называется рекомбинацией. Но и этих долей секунды хватает, чтобы молекула, в структуру которой входит «небезучий» атом, разрушилась, — ведь целостность молекул обеспечивается электронами именно внешних электронных оболочек. Конечно, это относится и к молекулам, из которых состоит организм человека.

Само по себе разрушение некоторого их количества чем-то ужасным вовсе не является. Оно происходит и при протекании биологических процессов, и под воздействием факторов внешней среды, к которому наш организм в ходе многих веков эволюции успешно адаптировался. К числу этих факторов принадлежит и естественная радиоактивность, с которой мы встретимся позже. А на место разрушившихся молекул приходят образовавшиеся вновь. Этот процесс, непрерывно протекающий в равновесном режиме, и является основой живой жизни.

По большому счету, для нейтрализации информационных провокаций — и не только применительно к атомной энергетике — надо, во-первых, приучить людей верить не провокаторам, а специалистам (об этом уже говорилось). Но для этого специалистам надо аргументированно, уважительно разговаривать с людьми, терпеливо и настойчиво учить и убеждать их. А во-вторых, действовать на опережение. Надо же понимать, что молчание не то что в дни, а и в часы развертывания таких провокаций люди будут интерпретировать однозначно — как замешательство, как раздумья о том, что можно сказать, а чего нельзя. И уж во всяком случае, зачем же забывать, что умышленное распространение заведомо ложной информации есть уголовно наказуемое деяние, которое никому не должно сходить с рук.

# ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ. ОБЩЕСТВО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА — СРЕЗ НЕПРОСТЫХ ОТНОШЕНИЙ

## Глава 4



Эту, последнюю, главу нашей книги мне хотелось бы начать с проблемы, о которой уже упоминалось во введении. С глубоко-го очень актуального и сейчас высказывания бывшего гене-рального директора МАГАТЭ Ю. Аmano: «Главное для атомной энергетики – обретение общественного доверия». И здесь главные вопросы: что способствует укреплению этого дове-рия, а что мешает? Что нужно сделать для того, чтобы обще-ство увидело атомную энергетику именно такой, какая она и есть в действительности? Со всеми ее плюсами и минуса-ми, достоинствами и недостатками – и без масок ангела или дьявола.

Но начинать приходится, к сожалению, с невеселого – с констатации того факта, что при обсуждении ядерных вопросов в обществе и СМИ мы часто имеем дело не с достоверной информацией, не с изложением фактов и событий так, как есть, а с представ-лением их в таком зеркале, для которого и понятие «кривое» можно считать комплиментом.

В качестве примера – три дословных высказывания:

«При растворении радиоактивности в воде она увеличивается в тыся-чу раз» (журналист).

«Российский гражданин должен получать дозу излучений, равную нулю» (политик).

«От лучевой болезни вследствие чернобыльской аварии погибло 300 000 человек» (телеведущая).

Весь этот клинический бред приведен мной здесь наудачу в том смыс-ле, что высказываний и цитат подобного рода можно без труда привести и три, и тридцать три, и сто тридцать три.

Как профессионалу-атомщику реагировать на подобную галиматью? Смеяться, покручивая пальцем у виска? Можно, конечно... Но это будет смех с ощутимым привкусом настороженности. И понят-но почему: нет полной уверенности в том, кому в итоге поверят при обсуждении проблем атомной энергетики – ему или авто-рам высказываний подобного рода.

Отсюда и главный вопрос, который встает перед обществом (и конеч-но, не только в отношении атомной энергетики): кому верить, а кому нет. И какие смысловые фильтры должен поставить пе-ред своим сознанием человек нашего времени, чтобы не стать



в своих воззрениях, решениях и действиях паяцем, жалкой ма-рионеткой в чужих руках.

Начнем с очевидного. Наш век — эпоха профессионалов. Безвозвратно ушли в прошлое времена универсальных знатоков и мастеров — специалистов во всех областях человеческих знаний и технологий, таких как Леонардо да Винчи и Ньютон. Более того, структурирование знаний и технологий продолжается и сейчас, утверждая единственно возможный в наше время (во всяком случае, в естественнонаучной и инженерной средах) принцип — доверять профессионалам. Иначе мрак, беспросветность. Мало того, что начинаются поиски общих путей развития и способов решения конкретных проблем на заведомо ложных направлениях. Печальный опыт истории свидетельствует вполне однозначно: непонимание этой непреложной аксиомы делает общество беззащитным перед возможностью трагического перехода от недоверия к специалистам к их травле, а заодно и травле целых направлений естествознания и техники.

Конечно, из сказанного вовсе не следует, что специалисты безгрешны, как ангелы, и ошибаться не могут. Могут, хотя вероятность того, что они ошибутся все разом, исчезающе мала. Однако гораздо худший выбор — доверять дилетантам, а хуже всего — в ситуации, когда специалисты дружно высказывают противоположное мнение.

Нельзя сказать, что общество этого вообще не понимает. Мы лечим зубы у стоматолога и наверняка плотно захлопнем рот, если бормашина окажется в руках даже сверхпопулярного журналиста. Мы доверяем опытному водителю и, скорее всего, как ошпаренные выскочим из автобуса, если узнаем, что по сложной горной дороге его будет вести даже сверхбоязливый телеведущий. Мы шьем костюмы у опытного портного и в страшном сне не рискуем натянуть на себя наряд, сработанный даже суперрейтинговым политиком.

Но атомная техника и энергетика, увы, исключение. При их обсуждении журналисту, телеведущей и политику слишком часто доверяют больше, чем профессионалу-атомщику.



Крупный отечественный специалист по ядерной энергетике профессор А.Ю. Гагаринский в своей прекрасной книге «Люди и атом», метко называя это явление «пирамидой перевернутого доверия», приводит по-своему замечательное высказывание на общественных слушаниях некоего противника строительства АЭС: «Как я вам буду верить, когда вы за это деньги получаете?»

Аргумент из уст «атомофобов» в дискуссиях, кстати, достаточно распространенный. Но разве стоматолог, водитель и портной за свою работу не получают деньги? Получают. И профессионал-атомщик тоже. Но вот его оппоненты, что очные, что заочные, «независимые эксперты», степень независимости которых часто определяется лишь глубиной неприязни к ядерным технологиям, — они-то чем живут? За независимость как таковую никто ведь по определению не платит (теоретически, во всяком случае), а эти эксперты своим внешним видом никак не напоминают нищих дервишей. А ответ на этот вопрос «я получаю деньги за то, что я против вас всех» выглядит, согласитесь, довольно странно. И немедленно вызывает новые вопросы: а от кого получаете? И под каким забором вас как независимого эксперта нашли — и кстати, кто нашел?

Но вернемся к главной проблеме: чего и как в идеале мы хотим добиться от общества при формировании его доверия к ядерным технологиям?



С одной стороны, в нашей стране отношение общества к атомной энергетике в общем выглядит вполне благоприятным. По данным на 2019 год, позитивно к ней относится около трех четвертей населения и более половины считают ее при этом «зеленым», чистым видом производства энергии. Но с другой — нельзя и отрицать, что это отношение может быть и благоприятным, но при этом весьма настороженным.

Что это означает? Для меня вот что: при всем позитивном отношении к атомной энергетике в России происшествия на АЭС, да и вообще на ядерных объектах (пусть и самые незначительные) будут рассматриваться обществом в свете поступающей к нему информации «под увеличительным стеклом» — с очевидно повышенным вниманием, если не тревогой. А по сравнению с происшествиями на неядерных объектах — назовем вещи своими именами — часто и предвзято, необъективно.

Между прочим, такое отношение в нашей стране к ядерным технологиям отнюдь не является каким-то особенно обидным для них — в мире оно бывает и гораздо худшим. В той же Германии, да и в некоторых других странах стараниями антиатомных «экологов» атомная энергетика приобрела устойчивый образ технологического сатаны.

Понятие «эколог» неслучайно взято здесь в кавычки. Экология сама по себе есть наука о взаимосвязях во внешней среде и месте человека в ней — наука чрезвычайно интересная и совершенно необходимая обществу. Между прочим, говорить, как это делается сплошь и рядом, о «плохой экологии» ничуть не более разумно, чем о «плохой физике», «плохой математике» и т. д. И эта наука не имеет ничего общего с шумной и агрессивной деятельностью упертых и технически безграмотных противников атомной энергетике — часто к тому же откровенно работающих на заказ.

К сожалению, приходится констатировать, что так обстоит дело далеко не только в среде рядовых обывателей. Вот высказывание видного германского политика федерального уровня конца нулевых годов нашего столетия. Рассматривая различные энерготехнологии по выбросам в атмосферу парниковых газов (об этом мы говорили в главе 1), он заявил: «Атомная энергетика не производит парниковых газов (что совершенно правильно, мы об этом уже

знаем. — А. К.), но она опасна сама по себе (! — А. К.)». Когда слышишь такое, поневоле вспоминается дискуссия между гарпунщиком Недом Лендом и Конселем, слугой профессора Аронакса, из романа Жюль Верна «20 000 лье под водой». На вопрос Конселя Ленду, откуда он взял, что киты живут по тысяче лет, тот спокойно ответил: потому что это известно всем. Принципиальной разницы в уровне аргументации германского политика и гарпунщика Ленда я в данном случае не усматриваю. Опасно — и всё, и все это знают, и обсуждать тут нечего. Всё, приехали.

Отсюда и моя просьба к читателям. Друзья мои, перед тем как формулировать свое мнение, просто для себя любимого, или перед походом на очередную тусовку под лозунгом «мы против», включите мозги! Даже, в общем-то, неважно, по поводу строительства АЭС или чего-то еще. Ведь мы в XXI веке живем, а в наше время отношение к чему бы то ни было (а тем более повод к действиям) предполагает разумную внутреннюю аргументацию, включая и обретение доверия к профессионалам. А если ее пока нет, подумайте, что лучше. Либо ее приобрести (пусть и не сразу), либо в ее отсутствие поддаться инстинкту стада и исполнять роль покорного болванчика в играх ваших вожakov и активистов. Для вас это чужие игры, в которых вы, ваши судьбы и ваш задор — лишь дешевая разменная монета!

Но вернемся к вопросу о неадекватности восприятия общественным мнением атомной техники и энергетике. Случайно ли, что именно их постигла столь злая судьба?

Конечно же, нет. В таких вопросах случайностей не бывает, и сходство идеологических платформ антиатомных кампаний в различных странах мира только подчеркивает это. Но при их обсуждении мало лишь отмечать ущербность аргументации оппонента (или вообще отсутствие таковой). Надо иметь встречную аргументацию. Поэтому предпосылки как минимум осторожного отношения к атомной энергетике значительной части общества и, как следствие, нарушения принципа доверия к специалистам должны не только молча отмечаться, но и анализироваться.

И вот первая предпосылка. Вся история мировой науки и техники однозначно свидетельствует: степень общественной приемлемости любой технологии будет очень долго и сильно зависеть

от того, как они в первый раз показали миру свое лицо. А для ядерных технологий эта премьера обернулась кошмаром Хиросимы и Нагасаки. Такие трагедии обеспечивают обществу почти что генетическую память.

Вот и атомная энергетика оказывается в представлении очень многих людей обгащенной заревом ядерного оружия, обеспечившего человечеству в первый раз за всю его историю возможность самоуничтожения. В данном случае совершенно неважно, что современная атомная энергетика как таковая к ядерному оружию отношения не имеет никакого — ни организационного, ни технологического. Как известно, серы боятся не потому, что она опасна сама по себе, а потому что ею черт пахнет...

Разумеется, фундаментальный физический принцип действия атомной бомбы и ядерного реактора один и тот же — цепная реакция деления тяжелых ядер (что это такое, мы знаем из главы 2). Однако базовой физической общности совершенно недостаточно для заключений об общности основных закономерностей анализируемых процессов.

Например, в космической ракете и турбореактивном самолете используется один и тот же базовый принцип движения — реактивный. Но из этого вовсе не следует, что на турбореактивном самолете, как и с помощью ракеты, можно достигнуть Луны. Помимо совершенно различных масштабов энерговооруженности этих машин, есть и принципиальное препятствие: в двигателях самолета в качестве рабочего тела и окислителя используется воздух, в космическом пространстве отсутствующий. Точно так же обстоит дело с атомной бомбой и ядерным реактором. При использовании одного и того же базового физического способа получения энергии существуют принципиальные различия в технической реализации этого способа и, как следствие, в закономерностях его протекания.

Ну давайте по аналогии бороться еще и с уютным потрескиванием печки на даче! Ведь там горят дрова с протеканием химической реакции экзотермического окисления углерода — точно такой же, как при опустошительных лесных пожарах!

Но есть важное замечание. Именно, повторяюсь, масштабное развитие атомной энергетики в мире в наши дни совершенно исключает

с использованием скоординированных технологических, политических и иных мер любую возможность его переключения на создание ядерного оружия — прошу здесь поверить мне на слово.

Так вот, такое положение дел должно обязательно сохраняться и впредь. Гарантия нераспространения ядерного оружия — это непреложная аксиома существования современной цивилизации. Применительно же к обсуждаемому нами вопросу (формирование доверия широких масс населения к атомной энергетике) надежное обеспечение нераспространения уничтожает одно из наиболее значимых общественных заблуждений — глубоко ошибочную уверенность в неразрывной связи мирного атома с атомом военным. И дело здесь, конечно, не в экстремальной опасности в этом смысле именно атомной энергетике. В конце концов, топка упомянутой печки вовсе не освобождает дачника от необходимости выполнять требования по соблюдению противопожарной безопасности.

А вот и вторая предпосылка, также отнюдь не добавляющая популярности атомной энергетике. Именно она в общественно значимых вопросах до недавних пор была окутана столь же непроницаемой завесой секретности, как и военно-ядерный комплекс. При этом секретилось все подряд — что нужно и, к сожалению, что не нужно.

С точки зрения современного открытого информационного общества в этом уже хорошего мало. Однако ситуация многократно усугублялась тем, что эта завеса тайны в течение многих лет прорывалась лишь в тех случаях, когда ядерные технологии (и не только в атомной энергетике) являли миру негативные последствия неумелого обращения с ними из-за человеческого незнания, а гораздо чаще — безграмотности и халатности.

В условиях тотальной секретности эти аварии возникали вдруг, как бы из ничего, и потому воспринимались обществом особенно остро и тяжело. И для обретения атомной энергетикой общественного доверия имели в высшей степени негативное последствие — даже безотносительно к особенностям конкретной аварии. Ведь удар наносился по очень уязвимому месту человеческой психологии. Люди начинали думать: на сей раз попытались утаить угрожающую нам опасность — попытаются и в дру-

гой раз. Я вспоминаю черныбыльские события: дорого, ох как дорого обошлось тогда российским атомщикам нарушение единственно возможного в такой ситуации принципа диалога с обществом: «Не молчи, говори правду». К счастью, этот горький урок был со временем в нашей стране усвоен.

И наконец, третья (возможно, и самая значимая) предпосылка, кардинально ухудшающая «общественное лицо» ядерных технологий даже и сейчас. Это атомная радиация, ионизирующие излучения, наличие которых нередко приходится учитывать в ходе их промышленной реализации.

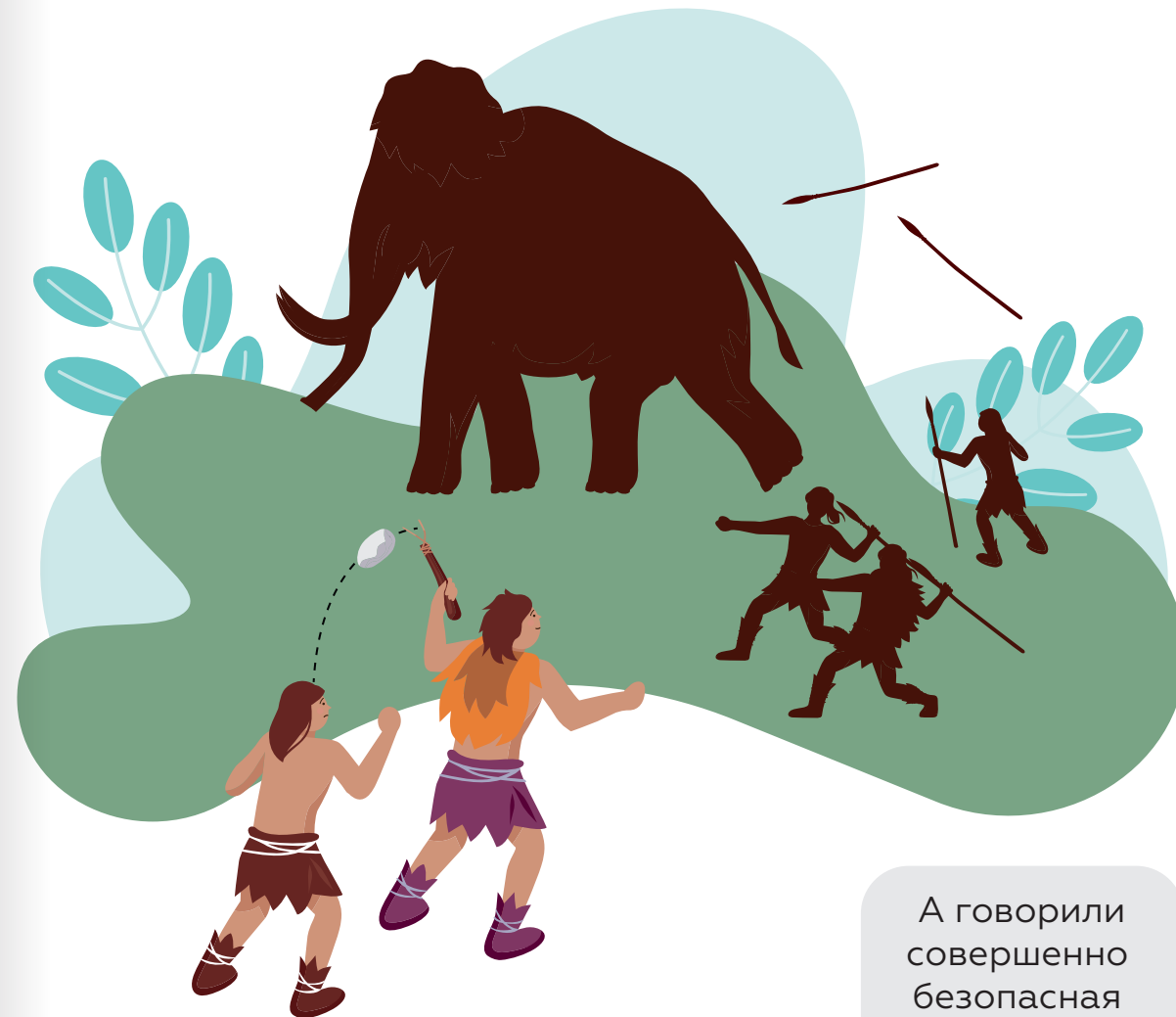
Мы подробно говорили о радиации в главе 3. Но причина массового патологического страха перед ней (на грани радиофобии, а иногда уже и за этой гранью) вовсе не в ее наличии как таковой. Она в синергическом влиянии двух факторов. Напоминаю, что синергией называется многофакторное воздействие, при котором одновременное влияние всех факторов превышает сумму их влияния по отдельности.

Вот эти факторы. Первый (биологический): хорошо известно, что воздействие на организм человека интенсивных потоков ионизирующих излучений действительно может стать угрозой для его жизни и здоровья, а у человека нет органов чувств, позволяющих обнаружить такие потоки («радиация не имеет ни вкуса, ни цвета, ни запаха...»). Второй (информационный): в условиях тотальной секретности на все атомное человек начинает думать, что воздействию этих проклятых облучений он подвергается уже давно, но ему об этом никто не говорит.

А вот теперь констатируем печальный итог: совместное воздействие всех этих предпосылок и привело к неприятному для атомной энергетики результату — к тому, что общество неадекватно оценивает относительную опасность ядерных технологий в сравнении с иными технологиями.

Что здесь имеется в виду?

Следует четко понимать, что абсолютно безопасных технологий не существует вообще. Предъявление такого требования любой технологии, ядерной в том числе (что, кстати, всегда с головой выдаст дилетанта), вполне равнозначно требованию полного отказа от нее. Абсолютно безопасна единственная технология — несущая



А говорили совершенно безопасная технология...

ществовавшая. Даже технология каменного топора, куда нас столь настойчиво зовут наиболее продвинутые экоактивисты, и та в этом смысле довольно опасна. Ведь, порвав жилу мамонта и сорвавшись с ручки, топор может покалечить, а то и убить кого-нибудь из числа соплеменников.



УДК 539.1  
ББК 22.383  
К60

Издание осуществлено при поддержке  
Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

**Колдобский А. Б.**

К60 Атомная энергия : Первое знакомство. — М. : Кучково поле Музеон, 2020. —  
128 с. : ил.

ISBN 9 78-5-907174-38-2

Оригинал-макет подготовлен



Дизайн, иллюстрации: *Марина Миллер*

Корректор: *Лилия Катренко*

Верстка, допечатная подготовка: *Марина Рогова*

Цветокоррекция: *Сергей Панфилов*

Координатор проекта: *Анастасия Евдокимова*

Подписано в печать 08.09.2020

Формат 170 × 220 мм

Тираж 2000 экз.

Заказ № JT-20-1113

© Колдобский А. Б., текст, 2020

© ООО «Кучково поле Музеон»,  
оригинал-макет, издание, 2020

© Автономная некоммерческая организация  
«Информационный центр атомной отрасли»,  
все права, 2020

Отпечатано в типографии

■ Типография Ситипринт • [www.cityprint.ru](http://www.cityprint.ru)